



CONVENTION ON WETLANDS
CONVENTION SUR LES ZONES HUMIDES
CONVENCIÓN SOBRE LOS HUMEDALES
(Ramsar, Iran, 1971)

Secretaria de la Convención Ramsar

Informe

Misión Ramsar de Asesoramiento No. 82

Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta

Enero 2017

INDICE

1	Introducción General.....	Página 4
1.1	Los Humedales de Importancia Internacional y disposiciones de la Convención.....	4
1.2	Los conceptos de cambio en las características ecológicas, uso racional y servicios ecosistémicos.....	5
1.3	Misiones Ramsar de Asesoramiento (MRA).....	6
1.4	Aplicación de la Convención Ramsar en Colombia.....	6
2.	Programa de trabajo de la Misión.....	7
2.1	Objetivo de la Misión.....	7
2.2	Programa de Actividades.....	7
3.	Aspectos de Línea Base del Sitio Ramsar.....	7
3.1	Aspectos generales, criterios de designación, otros aspectos.....	7
3.2	Servicios eco-sistémicos.....	8
3.3	Aspectos físicos.....	11
3.3.1	Clima y geomorfología.....	11
3.3.2	Geología.....	16
3.3.3	Hidrología superficial.....	18
3.3.4	Hidrología subterránea.....	27
3.3.5	Suelos.....	31
3.4	Uso del suelo.....	32
4	Estado actual del sitio (factores de deterioro naturales/antropogénicos pasados presentes).....	32
4.1	Componente físico.....	34
4.1.1	Geomorfología.....	34
4.1.2	Hidrología superficial.....	35
4.1.3	Hidrología subterránea.....	36
4.1.4	Suelos.....	37
4.2	Componente ecosistémico.....	37
4.2.1	Flora y vegetación.....	37
4.2.2	Fauna ictica.....	39
5.	Modelo conceptual hidrodinámico y ecosistémico del Delta de Ciénaga Grande de Santa Marta.....	41
6.	Evaluación del cambio en las características ecológicas.....	44

6.1 Aspectos físicos.....	44
6.1.1 Hidrología superficial.....	44
6.1.2 Hidrología subterránea.....	44
6.1.3 Suelos.....	46
6.1.4 Geomorfología.....	46
6.1.5 Salinidad.....	46
6.1.6 Calidad del agua.....	47
6.2 Aspectos ecológicos.....	47
6.2.1 Estado trófico.....	47
6.2.2 Flora y vegetación.....	49
6.2.3 Fauna íctica.....	52
7. Vacíos de información.....	55
8. Conclusiones.....	56
9. Recomendaciones.....	57
10. Referencias bibliográficas.....	59

Misión Ramsar de Asesoramiento No. 82

Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta

1. Introducción General

La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional o Convención Ramsar es un tratado intergubernamental que proporciona el marco para la acción nacional y la cooperación internacional para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. A marzo de 2016 hay 169 Países Parte en la Convención y 2,231 Humedales de Importancia Internacional, con una superficie total de 214,936,005 hectáreas.

La Convención basa su acción en tres pilares, el uso racional de todos los recursos de humedales en cada país, la designación de humedales de importancia internacional y su gestión, y la cooperación internacional.

1.1 Los Humedales de Importancia Internacional y disposiciones de la Convención

Las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales tienen el deber, con arreglo al párrafo 4 del artículo 2, de designar por lo menos un sitio para ser inscrito en la Lista de Humedales de Importancia Internacional al firmar la Convención o depositar su instrumento de ratificación o de adhesión, de conformidad con las disposiciones del Artículo 9.

Según el artículo 1, párrafo 1 "son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas; o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros" y "podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal" (artículo 2, párrafo 1).

La Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional, de conformidad con el Artículo 2 del texto del tratado, es la piedra angular de la Convención de Ramsar y su principal objetivo es crear y mantener una red internacional de humedales que revistan importancia para la conservación de la diversidad biológica mundial y para el sustento de la vida humana a través del mantenimiento de los componentes, procesos y beneficios/servicios de sus ecosistemas. Igualmente, tiene como fin promover la cooperación entre las Partes Contratantes, y los interesados directos locales en la selección, designación y manejo de los sitios Ramsar.

La designación de sitios para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional "deberá basarse en su importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos" (párrafo 2 del artículo 2). Según el artículo 3 párrafo 1 de la Convención, las Partes están obligadas a "elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la Lista y, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales de su territorio".

En el artículo 3 párrafo 2 de la Convención, se estipula que cada Parte Contratante tomará las medidas necesarias para informarse lo antes posible acerca de las modificaciones de las condiciones ecológicas de los humedales situados en su territorio e incluidos en la Lista, y que se hayan producido o puedan producirse como consecuencia del desarrollo tecnológico, de la contaminación o de cualquier otra intervención del hombre. Las informaciones sobre dichas modificaciones se transmitirán sin demora a la Secretaría en el marco del Artículo 8.

En el anterior sentido, las Partes Contratantes se comprometen con la designación de los sitios Ramsar a administrar dichos sitios de forma tal que se mantengan las características ecológicas de cada uno de ellos y, de esa manera, mantener las funciones ecológicas e hidrológicas esenciales que redundan en última instancia en sus "productos, funciones y atributos".

El Registro de Montreux es un registro de los humedales inscritos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, en los que se están produciendo, se han producido o pueden producirse cambios en las características ecológicas como consecuencia del desarrollo tecnológico, la contaminación u otra intervención del ser humano. El Registro se lleva como parte de la Lista de Ramsar.

1.2. Los conceptos de cambio en las características ecológicas, uso racional y servicios ecosistémicos

El cambio en las características ecológicas está definido en el contexto de la Convención como el que se produce en cualquiera de los componentes (biológico, químico, físico), procesos ecológicos o servicios del humedal inducidos por la acción humana.

Por su parte, el concepto de uso racional es uno de los tres pilares de la Convención y hace referencia al mantenimiento del carácter ecológico a través de la implementación de un enfoque por ecosistemas en el contexto del desarrollo sostenible.

En el marco de la Convención Ramsar las Partes Contratantes, aprobaron mediante la Resolución IX.1 Anexo A.j los aspectos referentes a los servicios ecosistémicos de los humedales de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. En este contexto se definen como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas Tabla 1. Estos incluyen la provisión de servicios tales como alimentos, agua, servicios de regulación como control de inundaciones, sequías, degradación de tierras y enfermedades. Servicios de soporte como formación de suelos y ciclos de nutrientes; servicios culturales como recreación, espirituales o religiosos así como otros beneficios no materiales.

Suministro de servicios Productos obtenidos de los ecosistemas	Regulación de servicios Beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas	Servicios culturales Beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas
<ul style="list-style-type: none"> • Alimento • Agua potable • Combustible • Fibra vegetal • Bioquímicos • Recursos genéticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación del clima • Control de enfermedades • Regulación del agua • Purificación del agua • Polinización 	<ul style="list-style-type: none"> • Espirituales y religiosos • Recreación y turismo • Estético • Inspiracional • Educativo • Sentido de identidad • Patrimonio cultural
Servicios de soporte		
Servicios necesarios para la producción de todos los otros servicios del ecosistema		
Formación de suelos	Ciclado de nutrientes	Producción primaria

Tabla 1. Servicios ecosistémicos de los humedales, definidos en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005).

1.3 Misiones Ramsar de Asesoramiento (MRA)

En el párrafo 18 de la Resolución X.13 (2008), las Partes Contratantes reafirmaron el compromiso “de aplicar plenamente los términos del Artículo 3.2 relativos a la obligación de informar sobre las modificaciones y conservar o restablecer las características ecológicas de sus sitios Ramsar, incluso mediante todos los mecanismos apropiados para abordar y resolver tan pronto como sea posible los asuntos por los que un sitio haya podido ser objeto de un informe en cumplimiento del Artículo 3.2; y, una vez resueltos dichos asuntos, presentar un nuevo informe para que las influencias positivas en los sitios y los cambios en las características ecológicas puedan reflejarse fielmente en los informes presentados a las reuniones de la Conferencia de las Partes, a fin de exponer con claridad el estado y las tendencias de la red de sitios Ramsar.”

En el marco de la Convención, se concede especial atención a la prestación de asistencia a las Partes Contratantes en el manejo y la conservación de los sitios designados de la Lista cuyas características ecológicas se vean amenazadas. Esta labor se lleva a cabo mediante la Misión Ramsar de Asesoramiento (MRA), un mecanismo de asistencia técnica adoptado oficialmente mediante la Recomendación 4.7 de la Conferencia de las Partes de 1990. El principal objetivo de este mecanismo es ofrecer asistencia a los países desarrollados y en desarrollo indistintamente con el fin de que resuelvan los problemas o las amenazas que hicieron o hacen necesaria la inclusión del sitio en el Registro de Montreux.

Tras recibir una solicitud de una Parte Contratante, la Secretaría conviene en organizar la MRA con las autoridades competentes y determina el tipo de experto que hará falta incluir en el equipo de la misión. El proyecto de informe de la Misión que consigna conclusiones y recomendaciones se transmite a las autoridades competentes que han solicitado la MRA para su revisión y la versión revisada definitiva del mismo se convierte en documento público, que puede servir de base para tomar medidas de conservación en el sitio.

1.4 Aplicación de la Convención Ramsar en Colombia

Colombia se adhiere a la Convención Ramsar el 18 de Junio de 1998 e incluye como primer Humedal de Importancia Internacional al Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta. A la fecha cuenta con 6 sitios Ramsar o Humedales de Importancia Internacional que cubren 708,684 hectáreas.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es la Autoridad Administrativa de la Convención desde el punto de vista técnico y agencia implementadora en Colombia.

A través del Fondo de Humedales para el Futuro, Colombia ha recibido apoyo financiero por un valor de USD\$540,000 para la implementación de proyectos orientados hacia el fortalecimiento de capacidades y designación de sitios Ramsar. Igualmente, por el Fondo de Pequeñas Subvenciones se han financiado proyectos por un valor de CHF80,000.

En cuanto a otros procesos de implementación, Colombia hace parte de las Iniciativa Regionales para la Conservación y Uso Racional de Humedales Alto Andinos, de Manglares y Corales y lidera la Iniciativa regional para Humedales Amazónicos que operan en el marco de la Convención.

Colombia es el representante regional por Sur América en el Comité Permanente 2016-2018.

2. Programa de Trabajo de la Misión

2.1 Objetivo de la Misión

La Directora de Bosques, Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Ambiente de Colombia y Punto Focal Ramsar envió en Noviembre de 2015 comunicación a la Secretaría de Ramsar informando de las acciones tomadas en el sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y solicitó una Misión Ramsar de Asesoramiento con el fin de apoyar en la búsqueda de soluciones a la problemática que presenta actualmente el sitio.

Como respuesta a la solicitud del Gobierno de Colombia, y de acuerdo a las competencias de la Secretaría, la Misión Ramsar de Asesoramiento se realizó del 21-27 de agosto de 2016 con el fin de proporcionar recomendaciones al Gobierno de Colombia respecto a la problemática ambiental que presenta el sitio y que permitan el mantenimiento de sus características ecológicas.

El presente informe presenta una serie de conclusiones y recomendaciones a los estamentos de gobierno y tomadores de decisiones con base a la información técnica suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, complementada por las presentaciones técnicas y visita al Sitio Ramsar.

2.2. Programa de Actividades

La Misión se realizó del 22-27 de agosto de 2016 y contó con el apoyo del personal directivo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en cabeza del Viceministro así como profesionales del Ministerio y de diferentes instancias gubernamentales nacionales y regionales. En este sentido la Secretaría de Ramsar agradece al gobierno de Colombia a través de los anteriores estamentos sus oficiales y expertos técnicos todo el apoyo prestado para el desarrollo de la Misión.

La Misión estuvo coordinada por la Secretaría de la Convención Ramsar a través de la Consejera Principal para las Américas, e hicieron parte de la misma un experto en hidrogeología, y otro en ecología acuática, limnología y recursos acuáticos. El gobierno de Colombia asignó un grupo de expertos técnicos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para acompañar la Misión.

La Misión revisó la información provista por el Gobierno de Colombia durante la visita así como la proporcionada a partir de las reuniones técnicas con los expertos. Los documentos consultados se encuentran listados en la bibliografía y el programa de la Misión en el anexo 1. Igualmente, se realizó una visita aérea y por carro al sitio Ramsar.

3. Aspectos de Línea Base del Sitio Ramsar

3.1 Aspectos generales, criterios de designación, otros aspectos

El Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta fue designado como Humedal de Importancia Internacional el 18 de junio de 1998 cubriendo un área de 400.000 ha aproximadamente.

El Sistema Delta Estuarino Ciénaga Grande de Santa Marta, está localizado en el Departamento del Magdalena, Norte de Colombia. En términos político administrativos, la región incluye parcialmente, nueve municipios: Aracataca, Ciénaga, Cerro de San Antonio, El Piñón, Pivijay, Pueblo Viejo, Remolino, Salamina y Sitio Nuevo.

A la fecha la Autoridad Administrativa Ramsar de Colombia ha entregado la Ficha Informativa Ramsar actualizada del sitio la cual se encuentra en revisión por parte de la Secretaria.

De acuerdo a la Ficha Informativa Ramsar, 1998, el sitio fue incluido en el listado de Humedales de Importancia Internacional de la Convención atendiendo a los siguientes criterios:

1. Criterio como humedal único o representativo

El Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, constituyen los humedales estuarios más importantes del país, debido a su área, ya que es la laguna costera más grande de Colombia y a su papel en la economía del país. Su valor socioeconómico está representado, por los recursos pesqueros y las actividades agropecuarias de las cuales dependen las poblaciones asentadas de la región.

2. Criterio general basado en plantas y animales

Además, de la importancia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, para las aves residentes y migratorias y los recursos pesqueros, según Correa (1984) y Naranjo (1986) es un área importante para los reptiles como la babilla (*Caiman crocodilus fuscus*, *Caiman (Crocodylus acutus)*, Iguana (Iguana iguana); mamíferos como los monos (*Alouatta seniculus*, *Cebus spp*), Chigüiro (*Hydrochaeris hydrochaeris*) y Manatí (*Trichechus manatus*). Esta diversidad de especies se debe a los diferentes tipos de vegetación como los manglares, bosque inundado, bosque decíduo tropical y la vegetación herbácea y acuática, la cual suministra diferentes hábitats, cobertura y alimento para estas especies.

3. Criterio específico basado en aves acuáticas

Esta región, constituye el área más importante del caribe colombiano para aves acuáticas, con grandes concentraciones de playeros residentes y migratorios provenientes del Neartico (Botero, 1982). Es también de acuerdo a Simón (1981), una zona de particular importancia para los Anatidae que invernan en esta área, debido a que esta región es importante en la dinámica migratoria de muchas poblaciones, provenientes de Norte América y que usan esta región durante el invierno en el norte como base intermedia de sus vuelos hacia el sur u como sitio de reproducción para muchas aves del norte de Colombia con ciclos migratorios más restringidos.

3.2 Servicios eco-sistémicos

De acuerdo a la propuesta de Ecosistemas del Milenio, los servicios ecosistémicos/ambientales son los bienes y beneficios que obtienen las personas de los ecosistemas. Estos incluyen los servicios de regulación, provisión y culturales que directamente afectan a las personas, además de los servicios necesarios para mantener los procesos ecológicos (soporte).

Entre los servicios ecosistémicos más relevantes del humedal Ciénaga Grande de Santa Marta podemos destacar los siguientes (Figura 3.1):

Regulación:

- **Protección contra fenómenos naturales:** el CGSM tiene una superficie de 400,000 ha, esta área está conformada por más de 20 lagunas, con diferentes niveles de sedimentación y salinidad, de las cuales la Ciénaga Grande es la de mayor tamaño (45,000 ha). Sobresalen, los ecosistemas de manglares más relevantes y de mayor extensión del Caribe Colombiano (Ficha informativa de los humedales Ramsar-CGSM). La capacidad de los humedales de amortiguar las crecidas permite el normal desarrollo de los procesos ecológicos y las actividades de las comunidades locales.
- **Hábitats de biodiversidad:** Este humedal mantiene una rica diversidad biológica; sustentada en su variedad de ambientes y nichos para un gran número de especies de peces, invertebrados, aves, reptiles y mamíferos, nativos, residentes y migratorios.
- **Purificación del agua:** el humedal CGSM recibe aguas residuales sin tratamiento provenientes de los asentamientos humanos localizados dentro del humedal y cuenca hidrográfica, así como también de la ganadería extensiva localizada en sus márgenes. La actividad agrícola intensiva de industrias bananeras, palmeras, caña de azúcar entre otros, genera abundantes productos químicos que son transportados por los cursos de agua al CGSM (ej. fertilizantes, pesticidas). Dicha carga de contaminación biológica es abatida parcialmente por los procesos biogeoquímicos que ocurren en el interior del humedal, principalmente por el consorcio entre las plantas acuáticas y bacterias.
- **Retención de sedimentos y nutrientes:** en la cubeta y cuenca hidrográfica que alimenta el CGSM se realizan actividades de ganadería extensiva, agricultura, obtención de madera para la construcción de viviendas. Actividades que de manera sinérgica aportan sedimentos al humedal. Es en este contexto donde se desarrolla una de las funciones más importantes del CGSM, la retención y reciclamiento de sedimentos y nutrientes que ingresan desde la cuenca hidrográfica, proceso que ocurre transfiriendo esos materiales a la trama trófica.
- **Recarga acuíferos:** Los cuerpos de agua de CGSM, incluyendo la laguna de Ciénaga Grande constituyen un importante fuente de abastecimiento de aguas subterráneas para los acuíferos y además permiten contener la intrusión salina en el borde costero, lejos de los suelos agrícolas y ambientes dulceacuícolas.
- **Cambio Climático Global:** el CGSM tiene en su extensión numerosos cuerpos de agua y vegetación en diferentes grados de ecológicos, los cuales mediante los flujos de carbono, autotróficos y heterotróficos, capturan el CO₂ atmosférico y lo transforman en materia orgánica, en la forma de microalgas, producción de peces o bosques de manglares. Estos procesos son una de las principales medidas de mitigación al Cambio Climático, ya que reducen el contenido de CO₂ atmosférico.

Provisión:

- **Producción de alimento:** el CGSM es un área de interés social y económico por su producción pesquera, que sufre parte del mercado del norte de Colombia. De allí se extraían ostras y caracoles, ecológica y socioeconómicamente importantes que eran cerca de la mitad de la

biomasa desembarcada. Los bancos de ostras servían como hábitat para una variada fauna (crustáceos, moluscos y poliquetos) que utilizaba el sustrato duro y que era alimento de varias especies ícticas. Otros recursos han sido principalmente peces y crustáceos, como la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*), que, junto con *Mugil incilis* y *Cathorops mapale*, representaba entre los años 1994- 1996 alrededor del 80% de la captura total de pescado en la CGSM (Santos-Martínez y Vilorio, 1998). En la actualidad capturas se basan especies dulceacuícolas como la mojarra lora. De los 3.600 habitantes de los pueblos palafíticos, el 44% está dedicado directamente a la actividad pesquera. También existe cacería con fines de subsistencia, comerciales y deportivas, las cuales han ya exterminado varias especies. Debido a la presión ejercida a través de la caza sobre la babilla y el caimán, éstos han ido reduciendo su población; por ello se vienen aplicando restricciones legales que contribuyan a evitar su total eliminación y a restringir la actividad de cazadores que viven exclusivamente de esta actividad.

- Producción de productos y fibras naturales: El aprovechamiento forestal de los manglares es una de las actividades relevantes realizadas por los habitantes costeros desde el pasado. Estas actividades se complementan con prácticas agrícolas, establecimiento de plantaciones de coco y cultivos de plátano, maíz, caña de azúcar; además del comercio, la ganadería, la elaboración de artesanías, el desarrollo de pequeños proyectos de acuicultura, así como la producción de sal en áreas antes dominadas por bosques de manglar (INVEVAR, 2004). A través de comerciantes locales e intermediarios, los productos de la pesca artesanal, así como la leña y carbón obtenido de los manglares por parte de sus habitantes se intercambia en los mercados locales y regionales y, en el caso de la producción pesquera industrial, entra a formar parte de los volúmenes comercializados también en el exterior.
- Producción de aguas: el aumento de la agricultura intensiva (bananos y palmas) en el CGSM y áreas vecinas, ha traído como consecuencia un aumento de la demanda de recursos hídricos, superficiales y/o subterráneos, los cuales son obtenidos desde los tributarios que alimentan el CGSM, directamente desde las lagunas, o bien, a través del bombeo de agua subterránea.

Culturales:

- Turismo: Los paisajes de la Ciénaga Grande de Santa Marta y los pueblos palafíticos Nueva Venecia, Trojas de Cataca y Buenavista están siendo convertidos en atractivos turísticos, a través de la construcción de un parador en el municipio de Pueblo Viejo y un muelle de embarque y desembarque en el corregimiento de Nueva Venecia. Lo anterior, sumado a la rica biodiversidad y paisajística, constituyen un servicio ecosistémico importante para el humedal.
- Conocimiento científico: el humedal de CGSM ha concentrado una creciente atención, no tan solo por su valor ecológico y ambiental, sino que también por el interés de rehabilitar y conservar los bienes y servicios ecosistémicos que provee. Lo anterior se ha traducido en un abundante producción de conocimiento científico, orientado a entender sus propiedades estructurales y funcionales, y como estas son modificadas por amenazas de origen antrópico (INVEVAR, 2014, 2015).

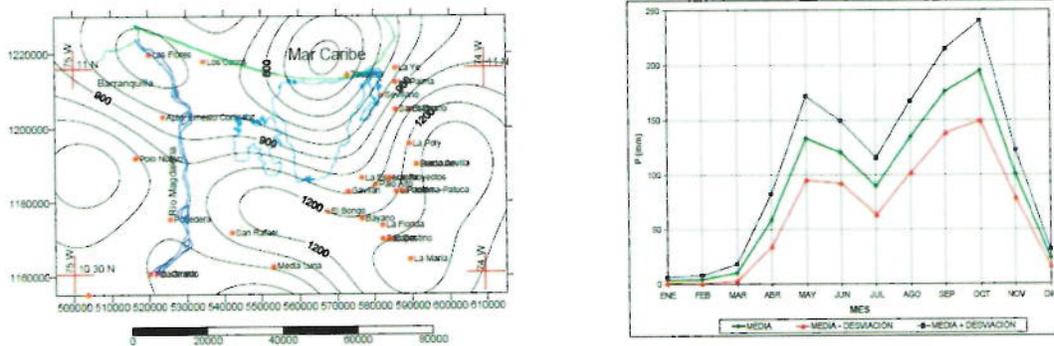


Figura 3.2 (a) Isoyetas de precipitación anual y (b) Ciclo anual de precipitación.

Las variaciones de temperatura a lo largo del año son poco significativas y la humedad relativa varía poco, oscilando en el rango entre 75 y 85%. La radiación solar es muy intensa por la ausencia de cobertura de nubes en las horas diurnas (Mesa, Poveda y Carvajal, 1997). Si bien, la distribución espacial de la lluvia presenta cierta uniformidad, se observan gradientes importantes, principalmente en sentido norte-sur, ocasionados por efectos costeros locales debidos a la diferencia entre las tasas de calentamiento o enfriamiento entre cuerpos de agua y tierra firme, induciendo gradientes térmicos que causan inestabilidad en la atmósfera, un fenómeno conocido como brisas marinas. No obstante, los cambios más marcados en la distribución de la lluvia se dan al Este de la CGSM, cerca de la Sierra Nevada, relacionados con los patrones de viento que circundan el macizo (Mesa, Poveda y Carvajal, 1997).

Mejía (2002) reporta gran concentración de Sistemas Convectivos de Meso-escala en el valle del Río Magdalena y el piedemonte entre las llanuras de la región Caribe, atribuidos a la orientación de las montañas respecto a los flujos sinópticos, combinado al efecto del ciclo diario de radiación solar con la circulación de vientos locales entre valles y montañas, que en el caso particular de la CGSM son reforzados por la acción de las brisas marinas. La temporada seca, normalmente entre diciembre y abril, se atribuye a la intensa acción de los vientos Alisios del NE, con subsidencia y altas presiones asociadas. El resto del año, los Alisios se debilitan cobrando importancia las brisas marinas como mecanismos efectivos de generación de lluvia al arrastrar aire húmedo hacia el interior (Mesa, Poveda y Carvajal, 1997).

El forzamiento climático externo y los fenómenos hidrológicos locales determinan la variabilidad espacio temporal de la precipitación y las variables relacionadas con la evaporación: magnitud y dirección de los vientos sinópticos (los alisios), la humedad, la nubosidad, radiación solar y temperatura. Del mismo modo, condicionan el régimen fluvial del Río Magdalena y de los ríos que drenan la vertiente occidental de la SNSM hacia la CGSM. Se estima que la evaporación es del orden de 150 mm/a, lo cual representa entre el 10% y hasta el 50% de la precipitación en la región.

La evapotranspiración es la salida directa del agua desde el suelo y los cuerpos de agua hacia la atmósfera y su determinación es fundamental en la simulación de balances hídricos del complejo lagunar. Esta variable posee una variabilidad espacio temporal mucho menor que la precipitación, y por esta razón, su determinación se debe realizar a nivel mensual para su posterior desagregación a intervalos de tiempo menores acordes con los modelos de balance que serán utilizados. Se estima que la evapotranspiración en la CGSA es de alrededor de 1000 mm por año (aunque este es un parámetro

incierto). La evapotranspiración representa un flujo muy importante en el ciclo hidrológico, es superior a la evaporación y, en ocasiones, puede ser inclusive superior a la precipitación, lo cual crea déficits en el balance hídrico.

Geomorfología

Geomorfológicamente la franja litoral del departamento del Magdalena, se encuentra caracterizada por diversos tipos de geoformas como costas con rocas no cohesivas, cohesivas, costa lodosa y/o lagunar, sistemas deltaicos, costa urbanizada, playas y otros depósitos arenosos. Las costas con rocas no cohesivas se caracterizan por estar formadas de rocas sedimentarias terrígenas del Neógeno, materiales limo-arcillosos y en menor proporción arenas y conglomerados, este tipo de material resulta poco resistente al ataque de las olas en la base del acantilado (Martínez, 1993), ya que son poco consolidados, altamente deleznable y por lo regular se encuentra afectados por fracturas.

En el departamento del Magdalena se aprecia esta geoforma en acantilados de diferente altura en costas muy accidentadas con entrantes y salientes, muy susceptibles a los procesos de erosión (Posada y Henao, 2008); Mientras que las costas con rocas cohesivas están conformadas por rocas metamórficas, ígneas intrusivas o volcánicas y sedimentarias terrígenas distribuidas preferencialmente en la Sierra Nevada de Santa Marta, definidas por acantilados de rocas duras, en general poco propensas a la erosión (Posada y Henao, 2008).

En el departamento del Magdalena las costas lodosas están presentes en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM); sin embargo, las pequeñas lagunas costeras han ido desapareciendo por la tala y los rellenos antrópicos especialmente en este sector.

Estas geoformas se encuentran estrechamente relacionadas con geoformas depositacionales arenosas como playas, espigas y barras litorales, localizadas a lo largo de la línea de costa actual, o playas antiguas localizadas detrás la berma junto con cordones de dunas y la llanura costera; en el Magdalena pueden apreciarse con mayor facilidad entre los ríos Don Diego y Cañaveral; en el Parque nacional Natural Tayrona se plasman en pequeñas playas presentes en todas las bahías, incluyendo las de Santa Marta, El Rodadero y Bello Horizonte, y también aparecen desde Ciénaga hasta Tasajera (Posada y Henao, 2008).

Los sistemas deltaicos por otra parte, conforman extensas superficies planas a ligeramente inclinadas hacia el mar, dentro de las cuales se presentan ambientes lagunares, pantanos de manglar, entre otros. Las áreas deltaicas reúnen varias geoformas propias de las costas bajas y en general, representan ambientes de depósito con crecimiento del área terrestre como es el caso del delta del río Magdalena, el cual forma un sistema lagunar que se extiende por cientos de kilómetros a lado y lado de su cauce entre el cual se encuentra asociada la CGSM.

Por último, una geoforma producto de las acciones antrópicas, son las costas urbanizadas que se encuentran conformadas por las ciudades y pequeñas poblaciones que han crecido cerca o en la zona costera, en donde el uso natural de la tierra y las geoformas originales han sido alteradas para dar paso al crecimiento urbano, la infraestructura de servicios portuarios y de vías y las obras de defensa o protección contra la erosión. Santa Marta, es una de las ciudades costeras más importantes que ocupan un área representativa dentro de la costa, junto con Riohacha, Barranquilla y Cartagena; no obstante existen decenas de poblaciones más pequeñas que crecen a

lo largo de la línea de costa como es el caso de Ciénaga, a veces sin una planificación eficiente, alterando gravemente con su presencia las condiciones de equilibrio de la zona costera (Posada y Henao, 2008).

Geomorfológicamente, en el departamento del Magdalena, las costas con rocas no cohesivas se encuentran formadas por rocas sedimentarias terrígenas del Neógeno y colinas o terrazas con materiales similares, donde se aprecian acantilados de diferente altura, muy susceptibles a los procesos de erosión (Posada y Henao, 2008). Estas costas están conformadas generalmente, por rocas poco resistentes al ataque de las olas en la base del acantilado (Martínez, 1993) y se caracterizan por ser frágiles, poco consolidadas, altamente deleznable y afectadas por fracturas.

A lo largo de la línea de costa, se extienden en forma paralela las playas y otros cuerpos conformados principalmente por sedimentos no cohesivos, su longitud y ancho son variables aunque por lo general tienen más de 500 m de longitud y amplitud entre 10 y 200 m, aproximadamente. Esta clasificación comprende playas, playones, espigas y barras, que son acumulaciones predominantemente arenosas localizadas a lo largo de la línea de costa actual, o playas antiguas localizadas detrás la berma junto con cordones de dunas, la llanura costera e incluso pantanos de manglar o lagunas. En el Magdalena pueden apreciarse con mayor facilidad entre los ríos Don Diego y Cañaveral; en el PNN Tayrona se plasman en pequeñas playas presentes en todas las bahías, incluyendo las de Santa Marta, El Rodadero y Bello Horizonte, y también aparecen desde Ciénaga hasta Tasajera (Posada y Henao, 2008).

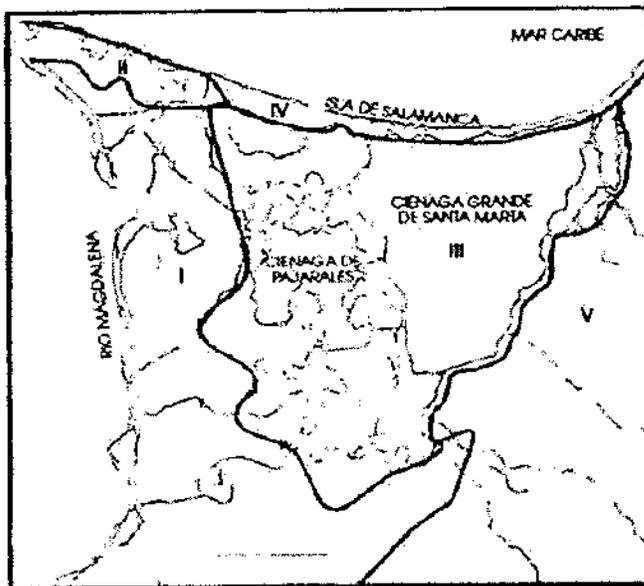


Figura 3.3 Subdivisión de unidades geomorfológicas en la llanura deltaica del río Magdalena. I. Llanura de inundación del río Magdalena. II. Sistema lagunar del delta actual. III. Sistema lagunar marginal. IV. Playa e isla barrera. V. Llanura de inundación piedemonte. (Según Bernal, 1996).

La geomorfología en la planicie de inundación del río Magdalena en el sector donde se ubican las obras hidráulicas (caños) de soporte a la CGSM, está caracterizada por los cinco elementos geomorfológicos más importantes (ver figura 3.3):

- Cuerpos lagunares;
- Área de bosque de manglar y de vegetación de pantano que rodea los cuerpos lagunares y que delimita la zona pantanosa o de frecuente inundación;
- Antiguos cursos del río Magdalena;
- Diques naturales que bordean y conforman los causes, antiguos y actual, del río; y
- Bacines, o áreas plano-cóncavas, normalmente rodeadas por albardones y que representan artesas naturales.

En la figura 3.4 se indican los principales cuerpos lagunares permanentes. Rodeando todos los cuerpos lagunares se encuentra una extensa zona de vegetación de pantano y mangle que llega a bordear la CGSM. El límite sur de esta zona define la posible interacción entre el complejo lagunar y el río Magdalena, la cual es de mucho interés en este análisis:

El borde occidental de esa zona representa el límite entre la zona pantanosa, de frecuente inundación y suelos orgánicos, por un lado, y tierra firme, por el otro, caracterizado por orillares de antiguos cauces, albardones naturales, de suelos granulares finos, relativamente consolidados y topográficamente algo elevados; es decir el límite occidental de la planicie de inundación.

Existen varios cursos antiguos (del Holoceno) que se desprenden del curso actual del río Magdalena, entre los cuales destacan el Salamina al sur, otro localizado entre Remolino y Sitio Nuevo, actual caño Aguas Negras, pero que se desvía hacia el norte y noroeste terminando en el canal caño Clarín Nuevo. Otro más, tal vez el más reciente, une el sector de Palermo con la costa actual.

Los diques naturales (o albardones) son depósitos de sedimentos que se forman como resultado de la deposición del material grueso que transporta las aguas de desbordamiento de los ríos aluviales. Como los materiales más gruesos se depositan primero, los diques tienden a dar origen a suelos de alta mayor permeabilidad, buen drenados y fértiles. Por lo tanto, tienden a ser explotados y su posición topográfica, a mayor nivel que el resto de la planicie, atrae el asentamiento de viviendas protegidas de las inundaciones.

Durante el vuelo de la zona realizado como soporte a la misión RAMSAR, se observó la presencia continua de albardones a casi todo lo largo de la orilla derecha del río Magdalena.

Por último, los bacines se identifican como geoformas plano-cóncavas, o artesas naturales, donde tiende a retenerse las aguas de desbordamientos dando origen con frecuencia a ciénagas de poca profundidad y de extensión muy variable entre invierno y verano. En el área de análisis este tipo de geoforma se identifica en sectores que han sido rodeados de albardones, que impiden o dificultan el drenaje hacia el exterior. Estos bacines detienen las aguas de desbordamiento fomentado el depósito de sedimentos finos. Por lo anterior dan origen a suelos finos de tipo arcilloso, de baja permeabilidad y normalmente con un alto contenido de humedad.

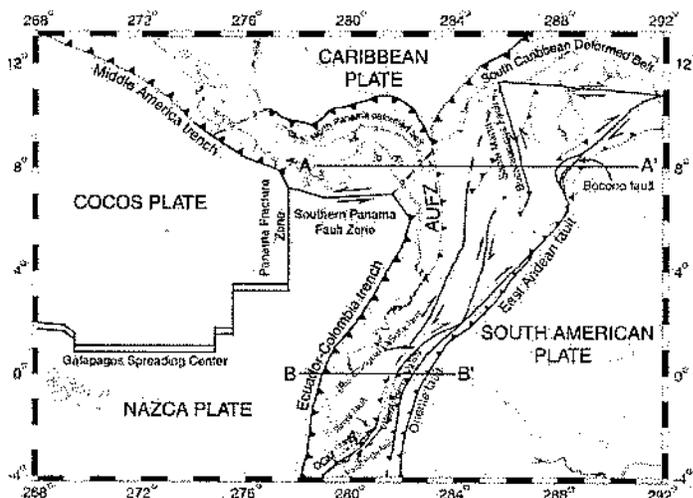


Figura 3.5. Interacción de las placas tectónicas Nazca, Suramericana y Caribe. Tomado de Trenkamp et al., 2002.

Los estudios geológicos que describen el delta del río Magdalena generalmente lo hacen dentro de un contexto de carácter regional. Según los estudios geológicos consultados (citados por Deeb Sossa, 1993), la génesis geológica del área se encuentra asociada a tres grandes factores: a) los cambios del nivel medio del mar, b) el transporte litoral de sedimentos, desde Santa Marta al sur por la corriente costera marina, y c) la continua sedimentación del río Magdalena.

Para entender mejor estos procesos, se hace aquí una breve reseña de la evolución geológica del país para llegar a la región más local del análisis, empezando por la era Terciaria (eoceno, mioceno y plioceno) y terminando en la era Cuaternaria (pleistoceno y holoceno).

Al comenzar la era terciaria (hace 65 millones de años aproximadamente) la mayor parte de Colombia se hallaba cubierta por el mar. Tan solo emergían algunas islas, como anticipo de las actuales cordilleras, y el escudo de la Guayana. En el período del eoceno, de la era Terciaria (53-37 millones de años) ocurrió una fase de levantamiento andino.

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) parece haber formado parte de un mismo sinclinal con el eje de la Cordillera Central y las serranías de la Guajira. El fallamiento de este sinclinal, ocurrido durante el mioceno (26-12 millones de años), dio origen a la depresión momposina y predeterminó las condiciones que finalmente fijaron el cauce del río Magdalena. El levantamiento del macizo de la Sierra Nevada posiblemente se inició desde el mioceno (26-12 millones de años) y tuvo su fase más activa durante el plioceno (12 a 3 millones de años); su emergencia determinó el límite oriental del delta del río Magdalena.

A la iniciación de la era Cuaternaria (últimos 2.6 millones de años), los montes de María, la región de Cartagena, el sistema de colinas de Ariguani y la Sierra Nevada de Santa Marta, presentaban el aspecto de una serie de islas. Durante los primeros dos millones de años de la era cuaternaria (Pleistoceno) ocurrió una activa sedimentación en toda la llanura sumergida del litoral y se presentaron oscilaciones del nivel marino que provocaron transgresiones. Se estima que durante el Tercer Inter-glaciación ocurrió la transgresión más importante llegando el mar a tener unos 100 ó 200 metros por encima de su nivel actual y el río Magdalena desembocaba en un estuario, el cual se

iniciaba en donde hoy se encuentra la ciénaga de Zapatosa. Posteriormente (cuarto pluvio-glacial-Wisconsiniano, 25'000 a 11'000 años) se presenta una gran regresión del nivel marino (aproximadamente 100 metros por debajo del nivel actual); la deposición de sedimentos debió entonces incrementarse como resultado de un clima más lluvioso, y dio inicio la formación del cauce bajo reciente del río Magdalena.

Al comenzar el Holoceno (últimos 10'000 años) el mar asciende al nivel que presenta hoy y el delta del río Magdalena se halla formado por un conjunto de brazos que llegan al mar Caribe, incluyendo el canal del Dique y un conjunto de canales que desembocan en la Ciénaga Grande de Santa Marta, entonces una bahía.

Durante ese periodo el mar depositó agua salada en los sedimentos, la cual se infiltró hasta capas más profundas permaneciendo ahí por miles de años hasta que el agua dulce superficial y subterránea fueron empujando al agua salada hacia el mar hasta alcanzar un equilibrio hidrodinámico con el ciclo hidrológico anual.

Es durante ese último periodo, Holoceno, en el cual actúa de manera especial el transporte litoral de sedimentos, que forma una flecha o conjunto de barras el límite norte de la bahía cambiando las características de la misma hacia una ecorregión estuarina.

El desarrollo posterior es de consolidación de las principales geoformas, con interferencia por parte del hombre en fijar la desembocadura del río Magdalena, afectar el sistema natural de drenaje (especialmente el asociado al desbordamiento) y explotar los recursos naturales del área.

3.3.3 Hidrología superficial

El delta estuarino del Río Magdalena y el complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) corresponde a la región comprendida al Norte con el Mar Caribe, y al Oeste con el Río Magdalena. Al Occidente, el plano deltaico se mezcla con el plano lateral de inundación del Río Magdalena. A lo largo del Suroeste el plano estuarino se extiende bajo los ríos Tukurinca, Aracataca y Fundación, incluyendo la cuenca del caño Ciego. Al Este, existe un límite claro entre el plano estuarino y la terraza aluvial alta conocida como "Zona Bananera". Hacia el Norte los límites se prolongan mar afuera, hasta el comienzo del banco continental. Para efectos de este análisis se incluirá la descripción hidrográfica de los últimos 110 km del Río Magdalena, así como los ríos localizados al oriente de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM).

La SNSM con sus picos nevados y su abundante escorrentía estacional es el origen del sistema de drenaje principal de agua dulce hacia el sistema lagunar. Se localiza al oriente del complejo lagunar de la CGSM con colinas y promontorios del flanco occidental de la SNSM e involucra las cuencas media-baja del flanco occidental de su vertiente con entrega final de sus aguas en el sistema lagunar la CGSM, a lo largo de éstas se encuentran los ricos abanicos aluviales que dan origen a la Zona Bananera de Santa Marta.

Los ríos más importantes para el complejo lagunar de la CGSM son en su orden: el río **Fundación**, el cual hace los mayores aportes de agua al sistema, el **Aracataca**, **Tukurinca**, **Sevilla** y **Frío**.

La zona del delta de la CGSM es un complejo deltaico estuarino que se caracteriza por presentar una compleja red hidrográfica, la cual está conformada por humedales, principalmente por ríos,

numerosas ciénagas, caños y arroyos, de gran importancia, tanto si se trata de cuerpos de agua permanentes o temporales.

La mejor manera de describir el comportamiento hídrico del Complejo Lagunar de Pajalal y de la Ciénaga Grande de Santa Marta, en el área de análisis es por medio de la función de sus entradas y salidas de agua tomando a la CGSM como un reservorio dinámico con cambios de almacenamiento sujetos tanto al ciclo hidrológico anual (natural) como a los cambios impuestos por el hombre (antropogénicos). Desde ese punto de vista y dados los aportes de agua de ríos provenientes de la vertiente occidental; de la Sierra Nevada de Santa Marta, la zona Bananera también forma parte del área de análisis, presentando el límite oriental de la misma. Los aportes del Río Magdalena hacia el Complejo Lagunar implican el análisis del trayecto comprendido entre la ciudad de Calamar (donde se presenta la difluencia del Canal del Dique) y la desembocadura de Bocas de Ceniza. De esta manera el río Magdalena se constituye en el límite occidental del área de análisis.

Para la descripción hidrográfica de las aguas superficiales de la zona de análisis se tuvieron en cuenta las unidades geomorfológicas siguientes:

- Planicie aluvial y Río Magdalena (fig. 3.6).
- Complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga Pajalal (fig. 3.7)
- Piedemonte de Sierra Nevada de Santa Marta (5 ríos principales) (fig. 3.8)

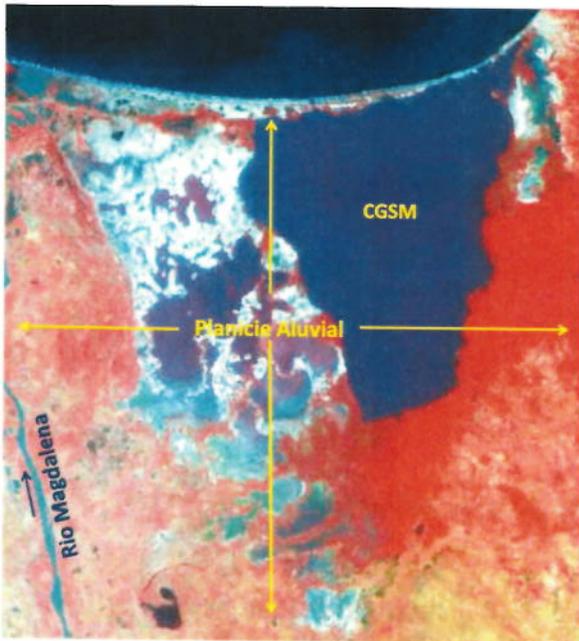


Figura 3.6: Planicie aluvial y Río Magdalena sobre imagen Landsat tomada en enero de 1987 (modificada de Muñera et al., 2003).

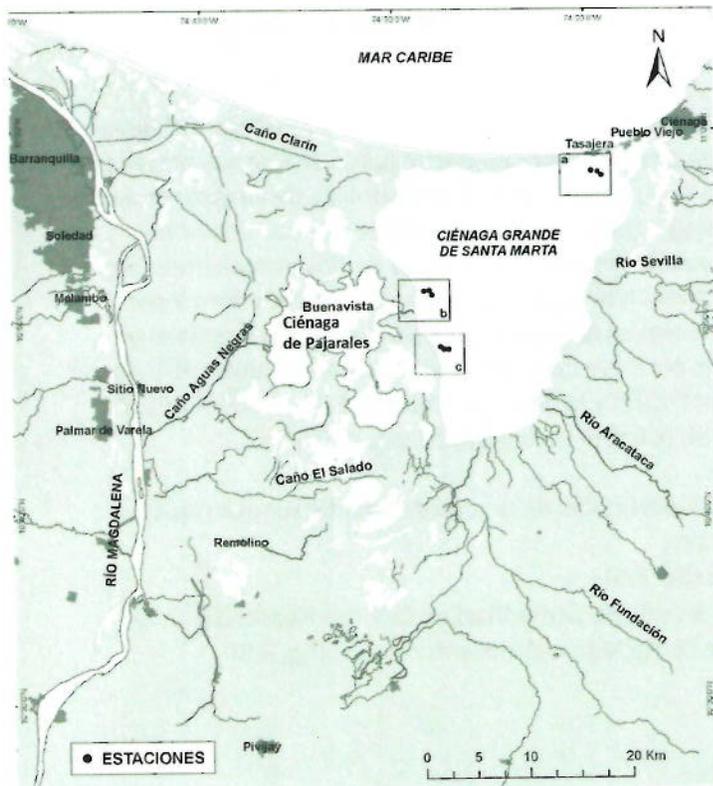


Figura 3.7. Complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga Pajara.

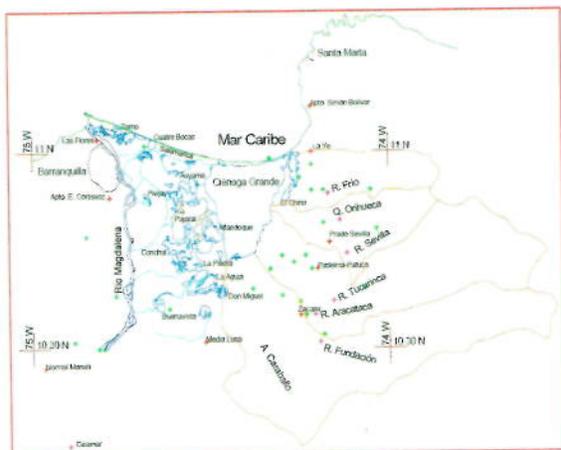


Figura 3.8 Piedemonte de Sierra Nevada de Santa Marta (5 ríos principales).

Río Magdalena

El Río Magdalena se encuentra ubicado en la región occidental del complejo deltaico estuarino, de la CGSM, siendo el principal responsable de los procesos hidrodinámicos de la ecorregión. La cuenca del Río Magdalena ocupa un área de 257'440 km², que representan el 22.8% del territorio colombiano. Recorre 1540 km desde su nacimiento a 3'685 msnm en el Macizo Colombiano hasta Bocas de Ceniza en su desembocadura al Mar Caribe, a lo largo de 10 departamentos.

Como la más importante arteria fluvial del país, el Río Magdalena, se constituye en vía receptora de todos los procesos naturales y antrópicos que ocurren en su cuenca hidrográfica, generando consecuencias sobre la dinámica del propio valle aluvial y por ende repercutiendo en el delta exterior derecho que involucra al complejo Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

El último tramo de 110 km del Río Magdalena, se encuentra comprendido entre la población de Calamar y su desembocadura. Este último tramo se desarrolla recostado a una formación del terciario, la cual está ubicada al Oeste de un depósito de sedimentos aportados por el río en los últimos dos millones de años que llenaron la antigua bahía limitada al Este por la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y que hoy constituye el Complejo Lagunar de la CGSM. En este proceso de formación del depósito, el curso del Río Magdalena sufrió numerosos cambios, abandonando brazos y abriendo otros nuevos hasta estabilizarse en su condición actual. Algunos de estos brazos, antiguos del río son los que en la actualidad conforman los caños que alimentan de agua dulce el Complejo Lagunar (CORPAMAG, 1994).

Sobre el periodo consultado de mediciones, que cubre de 1941 a 2014, se observan variaciones de los caudales promedio mensuales de un mínimo de 2757 m³/s en el mes de abril a un máximo de 11959 m³/s en el mes de diciembre.

Según mediciones a la altura de Calamar, ubicada a 110 km de su desembocadura, el caudal medio del Río Magdalena se ha estimado en 7100 m³/s, pudiendo bajar a mínimos anuales de 1520 m³/s y máximos de 18359 m³/s.

La figura 3.9 muestra los caudales mensuales medios, máximo y mínimos medidos en la estación hidrométrica Calamar para el periodo de 1941 a 2014.

En el límite occidental del área de la ecorregión se extiende 68 km hasta la desembocadura, con una pendiente muy suave de 0.000056 m/m en promedio en el sector de Calamar y de 0.000036 m/m en el sector de su desembocadura en Bocas de Cenizas en el Mar Caribe, (LEH-LF, 1992).

Del análisis del histograma de caudales medios mensuales multianuales en la desembocadura del Río Magdalena, se puede observar que durante los meses de febrero a abril, se presentan los caudales bajos, durante los meses de mayo a agosto los caudales medios y los caudales altos entre los meses de septiembre a enero. Presentándose entonces alternancia de temporadas secas con temporadas invernales de gran variación (Fig. 3.9).

Del análisis de la distribución interanual de los caudales, es notable su considerable variación año a año, presentándose variaciones periódicas que comprenden aproximadamente tres años de caudales altos, tres años de caudales normales y tres años de caudales bajos. Los caudales altos cada seis o siete años ocasionan crecidas cíclicas que elevan en cerca de un metro el nivel de las aguas en el complejo de ciénagas, incluida la CGSM.

De esta manera, la entrada de agua dulce proveniente del río al Delta tiene ocurrencia durante el periodo de aguas altas dependiendo del volumen aportado, de su nivel y de la duración del mismo. Este flujo regional constituye el cargue de la zona hidrológica del Delta.

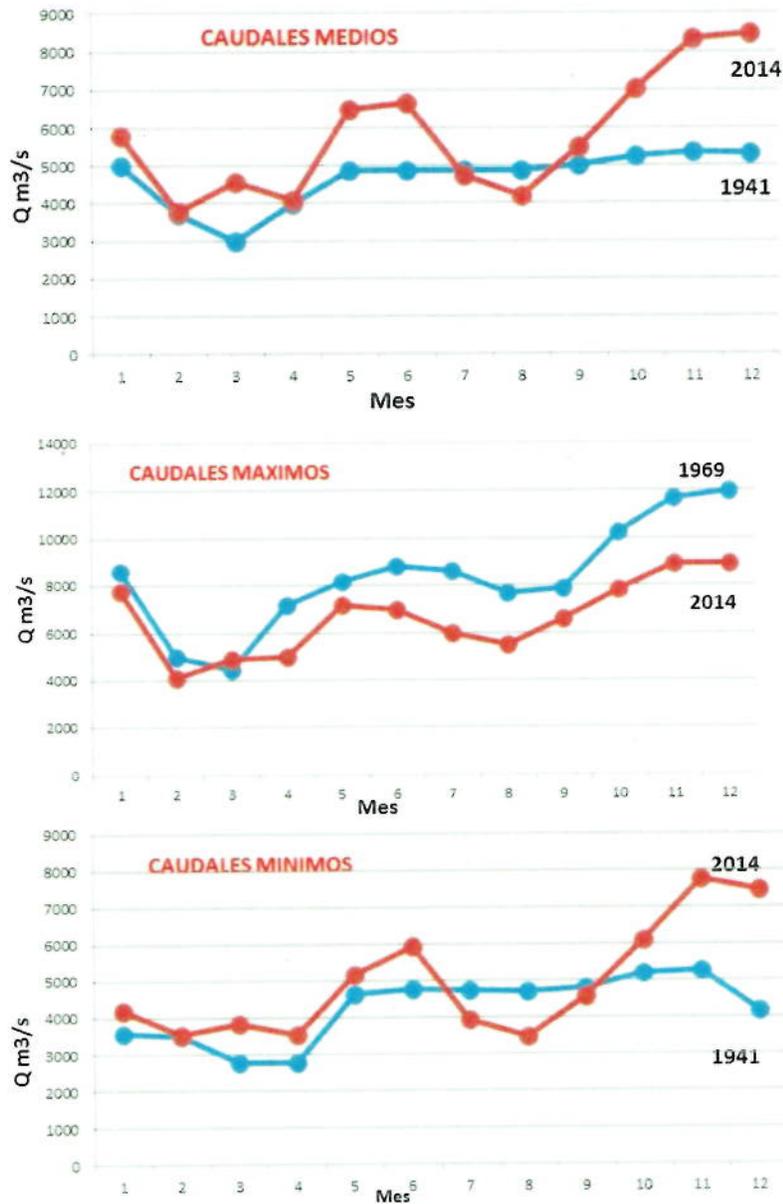


Figura 3.9. Caudales mensuales medios, máximo y mínimos medidos en la estación hidrométrica Calamar (IDEAM, 2016.).

El flujo regional de aguas bajas se presenta como un drenaje de aguas desde las ciénagas y humedales, ya que el agua recargada en invierno regresa en parte al río, perdiéndose un porcentaje por evapotranspiración; no obstante este recargue ha disminuido notablemente por la intervención del hombre sobre los canales naturales de drenaje. Igualmente el área irrigada para el periodo de aguas altas ha disminuido por la sedimentación de los caños.

El intercambio de aguas entre el mar y la zona deltaica se realiza a través de la flecha litoral de la Isla de Salamanca, como depósitos sub-superficiales condicionados por la permeabilidad del sustrato y los

flujos subterráneos y mediante un flujo superficial permanente en el extremo oriental a través de la Boca de la Barra (Botero, 1988 citada en CORPAMAG, 1994).

Complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Ciénaga de Pajarales

La CGSM es la laguna costera más grande de Colombia, su extensión es de aproximadamente 4286 Km² con una profundidad promedio de 1,8 m sin exceder los 2,3 m. Su volumen se ha estimado en 722 millones de m³, actualmente cuenta con una sola conexión con el Mar Caribe a través de la Boca de La Barra.

La CGSM constituye un ecosistema de muy elevada productividad biológica, recibiendo subsidios de energía y materia de otros ecosistemas que contribuyen al sostenimiento de su productividad.

El estudio de la dinámica de la CGSM adelantado por el CIOH en el año 1999 presenta como la máxima profundidad encontrada en la Ciénaga de 7.5 m en el sitio denominado la Barra donde se establece comunicación directa de la ciénaga con el mar, así mismo en este sitio se presentan las corrientes más significativas de la ciénaga. Las mínimas profundidades con un promedio general de 0.5 m se encuentran ubicadas al sur sobre la desembocadura del Río Fundación y al noreste en cercanías de la ciénaga de Sevillano, al noroeste se observan zonas donde la profundidad promedio es de 1.6 metros, igual en la desembocadura del río Aracataca.

Al occidente está conectada con el Complejo Lagunar de Pajarales (extensión aproximada de 643 km²) por medio de caños, siendo el principal el Caño Hondo o Grande, que comunica los dos cuerpos de agua de mayor tamaño del sistema. En caño Grande que comunica con la ciénaga de Pajarales se encuentran profundidades de 6.5 metros, las ciénagas de Pajarales, la Redonda, la Auyama, la Luna, el Tigre, presentan profundidades entre 0.5 y 1 metro en algunos sitios aislados se alcanzan profundidades de 1.5 metros.

Además del ingreso de aguas provenientes del Río Magdalena a través del caño Clarín, actualmente, la CGSM recibe aportes de agua de los ríos de la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, siendo los más importantes de sur a norte: Fundación, Aracataca, Tucurínca, Sevilla y Frío. Para estos ríos es característico un periodo de bajos caudales entre los meses de enero, febrero y marzo que representan el 40 – 50% del volumen anual escurrido, no obstante estos caudales son captados en cerca del 80% para fines de riego en la Zona Bananera durante este periodo, y cerca de un 20% con el mismo fin en los meses restantes del año. Según INDERENA-SODEIC (1987) el 60% del agua que se capta de esta vertiente es consumida para riego y otros usos, regresando el 40% a los drenajes naturales.

El intercambio de aguas entre el mar y la CGSM se hace mediante un flujo superficial permanente en el extremo nororiental a través de la Boca de la Barra, la cual tiene un ancho de 180 m aproximadamente y una profundidad promedio de 6.0 m. La Boca de la Barra se constituye entonces en el hito morfológico y físico más importante en el comportamiento hidráulico de la CGSM, y también en su comportamiento hídrico y salino, puesto que a través de esta boca se realiza el intercambio entre agua dulce y aguas saladas, al influjo de las mareas y los aportes hidrológicos de la laguna. El volumen involucrado durante un evento de marea es del orden de 10 millones de m³ (Nota: hay discordancia entre reportes, el reporte Corpamag, enero de 2002, indica 20 mil millones) que comparado con el volumen de la CGSM (722 millones de m³) no es muy significativo, pero lo es en términos acumulativos. Así la acción de la marea sobre el sistema está bastante determinada por la condición hidrológica imperante en el mismo. El ingreso de agua dulce desde el Río Magdalena y los ríos de la vertiente occidental de la SNSM, así como de la precipitación directa, hace que el agua de la Ciénaga tenga una salinidad variable tanto

temporal como espacialmente, la cual depende de la localización y magnitud de las fuentes de agua fresca y de los mecanismos de circulación y mezcla dentro de la laguna. Durante el periodo de lluvias y de aguas altas del Río Magdalena, aumenta el nivel de la Ciénaga, es muy poco el ingreso de agua del mar y solo se tiene influencia en la CGSM en inmediaciones de la Boca de la Barra mientras que durante los periodos secos y periodos de aguas bajas en el Río Magdalena, debido al gran flujo vertical de evaporación y evapotranspiración, descienden los niveles y se favorece el ingreso acumulativo del agua de mar a la mayoría de cuerpos de agua del sistema.

La cantidad de agua de mar que ingresa en este periodo seco es un poco mayor a la requerida para atender el déficit (ver sección 5), ya que una buena parte del agua dulce de los ríos de la Ciénaga sale directamente al mar por la Boca de la Barra, sin alcanzar a mezclarse adecuadamente; esto está determinado por el patrón de circulación en la Ciénaga y por los efectos de la estratificación de densidades:

Las características geométricas de la CGSM favorecen la estratificación horizontal al interior de la misma y es posible que esto se combine con un efecto de estratificación vertical en la Boca de la Barra que es más estrecha. Así se tienen las condiciones para la existencia de dos capas de flujo que difícilmente se mezclan, que no siempre tienen la misma velocidad y en algunos casos ni siquiera la misma dirección.

Durante este periodo se presenta un aumento de la salinidad en el Complejo Lagunar, la cual es indispensable para la subsistencia del manglar y de otras especies. Sin embargo este flujo unidireccional de agua salobre de la CGSM al complejo de Pajalar por periodos muy largos, genera una acumulación progresiva de sal. Este proceso de acumulación de sal está enmarcado en una condición de estanqueidad de la masa de agua ya que el recurso que ingresa eventualmente por precipitación o eventualmente por alguno de los caños, fluye en una capa sobre el agua salada y se evapora rápidamente, o se le del sistema; igualmente cuando ingresa agua salobre de la Ciénaga con menor concentración de sal que la existente en la laguna, se desplaza por la superficie y se evapora rápidamente dejando su contenido de sal en la laguna (CORPAMAG, 1994).

A esta condición se asocia la presencia de ácido sulfhídrico, la proliferación de algas cianofíceas, la falta de circulación de nutrientes y de biomasa, etc. En estas circunstancias el medio físico, no responde a las necesidades de las especies, muchas de las cuales están habituadas a las determinadas por el ciclo anual, y pueden causar su migración o su muerte lo que repercute en la cadena trófica y en la calidad misma del agua.

Piedemonte de Sierra Nevada de Santa Marta (5 ríos principales)

La SNSM con sus picos nevados y su abundante escorrentía estacional es el origen del sistema de drenaje principal de agua dulce hacia el sistema lagunar.

Se localiza al oriente del complejo lagunar de la CGSM con colinas y promontorios del flanco occidental de la SNSM e involucra las cuencas media-baja del flanco occidental de su vertiente con entrega final de sus aguas en el sistema lagunar la CGSM, a lo largo de éstas se encuentran los ricos abanicos aluviales que dan origen a la Zona Bananera de Santa Marta.

El piedemonte de la SNSM caracterizado en el Estudio Hidrogeológico de la Zona Bananera de Santa Marta, como la Planicie Aluvial Ciénaga – Fundación cuenta con una extensión de aproximadamente 112'000 hectáreas de suelos en su mayoría con aptitud agrícola, perteneciendo

50'400 hectáreas de éstas al Distrito de Riego de Prado Sevilla, cuya instalación se remonta a comienzos del siglo XX cuando la compañía Frutera de Sevilla dio inicio al desarrollo de la infraestructura de riego para el cultivo de banano tipo exportación.

En la actualidad, se reportan cerca de 13,000 Has de producción de banano. Los cultivos de palma africana han ido cobrando espacio posicionándose en el primer renglón productor de la zona, con cerca de 65, Has sembradas.

Como corrientes importantes, de segundo orden en la zona destacamos: las quebradas Orihueca, Latal, Guáimaro, La Aguja y los drenajes principales de los sistemas de riego.

A nivel de ciénagas reseñamos la Ciénaga del Chino y la ciénaga de Sevillano localizadas al nororiente de la CGSM.

Los ríos más importantes para el complejo lagunar de la CGSM son en su orden (fig. 3.7):

- Fundación
- Aracataca
- Tucurínca
- Sevilla
- Frio

La figura 3.10 muestra el ciclo anual de los caudales de estos ríos. En la tabla 9 (mencionada pero no presentada en el reporte de Corpamag, 2002) se relaciona los caudales medios, mínimos y máximos de los ríos de la Zona Bananera a nivel mensual multianual.

Se cuentan además varios otros cuerpos de agua superficial así como otros los drenajes principales y secundarios respectivamente en los distritos de riego localizados en la parte más baja del piedemonte que pertenecen al patrón de drenaje natural de la zona.

Al sistema de cuerpos de agua en la denominada Zona Bananera, se deben agregar los reservorios construidos en las fincas bananeras con miras a contar con alternativas de riego para los periodos de verano cuando el recurso es insuficiente y las aguas provenientes de pozos (agua subterránea) han sido sustituidas por aguas superficiales en razón a su calidad, como aguas duras y salobres no deseables para el adelanto de las labores de riego y procesamiento de la fruta en las empacadoras.

Adicionalmente, estos reservorios cumplen una función mitigadora a los efectos de sobreexplotación del acuífero en la zona identificados en el estudio hidrogeológico mencionado antes, de especial relevancia en cuanto a la contención del avance de la cuña salina en los suelos del área como consecuencia de dicho fenómeno.

La tabla 3.1 Información sobre disponibilidad de caudales de los ríos que llegan a la C.S.G.M (información proporcionada durante la Misión Ramsar por Corpamag). Estos datos aunque son oficiales, no concuerdan con los datos más "oficiales" publicados de esos ríos que Corpamag menciona en su reporte de 2002 pero que no incluye en el mismo.

Tabla 3.1: Información sobre disponibilidad de caudales de los ríos que llegan a la C.S.G.M.

Cuenca/corriente	Caudal medio anual de oferta (lps)	Reglamentación/ Estimación	Caudal ecológico (lps)	Caudal concesionado	Use del agua	Caudal remanente disponible (lps)
Aracataca	9386	Resolución#1470 30/08/2005	22%= 2072	3962.15	Agrícola, ganadería, abastecimiento	3351.85
Frío	6560	Fuente: INDERENA	23% = 1508	4948.84	Agrícola, ganadería	56.18
Fundación	(20800*) 15745	Resolución#280 12/05/1970*	20%= 3149	7464.62	Agrícola, ganadería, abastecimiento	4981.38
Sevilla	6700	Fuente: INDERENA	25%= 1675	4830.87	Agrícola, ganadería	194.13
Tucurínca	10986	Fuente: INDERENA	25%= 2746.5	5167.2	Agrícola, ganadería	3072.3

De la tabla anterior se desprende que los cinco ríos principales de la SNSM ofrecen un caudal medio anual total de 1'556 millones de m³ por año. De ese total resta disponible un caudal total anual remanente de 367 millones de m³ por año. Los caudales ecológicos reciben 351 millones de m³ por año, mientras que las concesiones toman el 53.4 % del total, o sea 832 m³ por año, los cuales son insuficientes para la CGSM.

Según reporte de las asociaciones de usuarios del año 2000, de los canales del Distrito se extraen anualmente alrededor de 216'000 m³ de sedimentos (CORPAMAG, 2002), lo que da una idea de la necesidad de un Manejo Integral eficaz de las cuencas hidrográficas comprometidas para garantizar la preservación y recuperación de las áreas estratégicas en la sostenibilidad del recurso hídrico.

Río Aracataca

El análisis aquí presentado está basado en información de CORPAMAG del año 2002; en ese entonces era el río Aracataca el que contaba con la información más completa de su cuenca, según al Plan de Manejo Integral ejecutado por CORPAMAG en cooperación con la agencia CISP italiana, en el año 1998.

El régimen hidrológico se desprende de los análisis adelantados a la precipitación promedio estimada para la cuenca hidrográfica y el caudal promedio anual medido en la estación Ganadería Caribe, se observa una alta correlación entre caudal y precipitación, es decir, el caudal sigue la tendencia del régimen de precipitación de donde puede inferirse que los caudales del río Aracataca dependen básicamente de las lluvias que se producen bajo los 2500 m de altura aproximadamente y que la zona alta no estaría aportando agua en forma significativa.

Los valores de caudales mínimos se registran en los meses de febrero y marzo, mientras que los caudales máximos ocurren en septiembre y octubre, presentando a su vez mayor regularidad y menor variación anual.

A la altura de la Estación Ganadería del Caribe todavía no se ha hecho extracción importante de agua del río. La información de la Estación Puente Ferrocarril, donde ya se ha extraído agua para el acueducto de Aracataca y los canales Macaraquilla, Antioquia y Acapulco, muestra un caudal medio de 13.4 m³/s de

donde se colige que existe una diferencia entre las dos estaciones relacionadas de $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$, aproximadamente lo que corresponde al gasto de agua antes relacionado en este sector.

De acuerdo a Corpamag (2002) y siguiendo cálculos realizados por consultores en 1961, cuando estimaron un caudal medio para el río Aracataca de $28,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo 1950-1951, podría concluirse que durante los últimos 20 años, se ha dado una pérdida significativa del caudal de esta corriente.

Río Fundación

Con una longitud aproximada de 150 km, este río nace en la SNSM a una altura aproximada de 3000 msnm y vierte sus aguas en la parte sur de la CGSM (CORPAMAG, 1994).

Las aguas del río Fundación son aprovechables para el riego al cruzar la cota 100 msnm, derivándose los canales Corralito, Las Flores y ají. Aguas debajo de la población El Retén en el sector de Los Achiotos, el río se trenza creando una red de caños en dirección hacia el occidente, los cuales confluyen en la CGSM. Los caños más relevantes para esta red son caño Santa Lucía, caño Los Micos y caño Pueblo Viejo (CORPAMAG, 1994).

Río Tucurínca

Tiene una longitud aproximada de 70 km medidos desde su nacimiento a los 5000 msnm hasta su confluencia en el río Aracataca. Al entrar el río en el distrito de riego se derivan los canales Tucurínca Viejo, Tucurínca Nuevo y Roncador (CORPAMAG, 1994).

Río Sevilla

Con una longitud aproximada de 69 km medidos desde su nacimiento hasta su desembocadura en la CGSM. Los canales de riego que se derivan del río Sevilla son El Florida y Macondo. Al salir del Distrito de riego el río recibe los aportes de las quebradas Orihuela, Latal y Guaimaro.

Río Frío

Tiene una longitud aproximada de 56 km medidos desde su nacimiento hasta su desembocadura en la ciénaga del Chino. Al entrar en el Distrito de riego se derivan del Río Frío los canales Goenaga, Santa Inés y Tablazo.

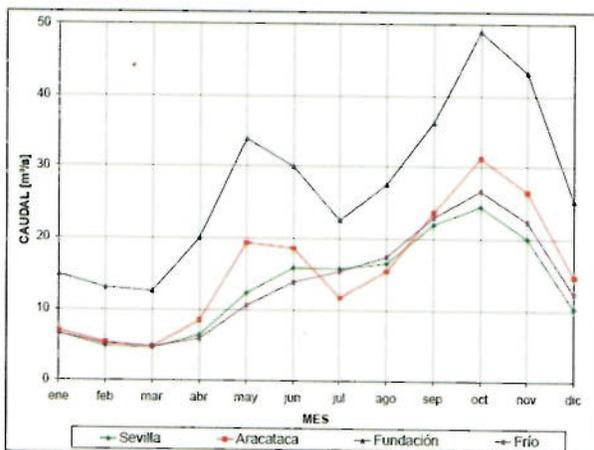


Figura 3.10. Ciclo Anual de Caudales en los ríos que drenan la vertiente occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.

3.3.4 Hidrología subterránea

Entre las Cordilleras andinas de Colombia con elevaciones de 5000 msnm, el pico más alto es la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) llegando a 5770 msnm; ese pico está situado en una gama aislada de la costa atlántica al norte de Colombia. La SNSM es la cabecera y fuente de numerosos ríos y acuíferos localizados al este, sur y oeste de la cordillera.

La SNSM está formada por rocas ígneas y metamórficas (INGEOMINAS, 1976); los Llanos bajos y depresiones al oeste de la SNSM están llenos de sedimentos espesos del terciario y cuaternario formando acuíferos importantes.

En esa región las capas espesas del cuaternario y sedimentos del terciario forman acuíferos locales aguas abajo del valle del río Magdalena, en el Valle de Cesar, y a lo largo del piedemonte de la SNSM, este último con conexión hidráulica a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estos acuíferos se asientan en rocas no consolidadas a semi-consolidadas con permeabilidades medias a altas. Esos acuíferos son de tipo aluvial con litologías esencialmente compuestas de arenas, gravas y arcillas con espesores que varían entre 25 y 200 m (Lobo-Guerrero y Gilboa, 1987).

Se estima que esos acuíferos se recargan principalmente por la lluvia y por la infiltración de los ríos, con tasas de recarga que oscila entre 140 y 700 millones de metros cúbicos por año. Esas tasas de recarga representan entre 3 y 10 % de la precipitación media anual y son importantes para el balance hídrico de la CGSM (ver modelo conceptual en la sección 5). Por su espesor, permeabilidad y recarga, esos acuíferos pueden proveer tasas de rendimiento de hasta 300 m³/h, o sea 85 lps.

La calidad del agua subterránea de esos acuíferos es en general buena, habiendo lugares en donde la calidad del agua es inferior por la salinidad. La salinización de los acuíferos proviene generalmente de horizontes más profundos (ej., rocas evaporitas) y representa un peligro permanente para ciertos acuíferos. En ocasiones, a esas salinidades "naturales" se le adiciona una salinidad de origen antropogénico como es el caso de los acuíferos localizados alrededor de la CGSM.

Algunos autores le dan poca importancia a las aguas subterráneas y acuíferos localizados alrededor de la CGSM, como es el caso de la zona Bananera argumentando que "el intercambio con el subsuelo se considera de segundo orden en el análisis, debido a la presencia de suelos arcillosos que conforman diques y basines con conductividades hidráulicas muy bajas" (Muñera et al., 2003). Sin embargo esos autores menospreciaron el flujo subterráneo directo entre el acuífero y la CGSM (ver modelo conceptual en la sección 5).

Piedemonte de la SNSM

En los años 1997 y 1998 se realizaron estudios hidrogeológicos y de contaminación de acuíferos de la zona Bananera de Santa Marta, por el INGEOMINAS (1998). Ese organismo ha caracterizado una unidad hidroestratigráfica denominada "Acuífero Cuaternario Terciario de Ciénaga – Fundación" (Q-T2) con un volumen de reservas de 29'700 Millones de metros cúbicos, de los cuales 23'660 están localizados entre Sevilla y Fundación, lo que significa que el potencial disponible de las aguas subterráneas en la Planicie Aluvial de Ciénaga Fundación, se concentra entre las poblaciones de Sevilla y Fundación, encontrándose

el acuífero **sobre-explotado** entre las poblaciones de Ciénaga -Sevilla. La base del acuífero es la Formación Zambrano sin capacidad acuífera.

La zona estudiada cubre una extensión aproximada de 1'100 km², comprendida dentro de la planicie aluvial de Ciénaga Fundación e incluye los municipios de Ciénaga, Aracataca, Retén, Fundación y Pivijay, conforme a los límites: norte, municipio de Ciénaga; sur, Río Fundación; este, estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta; oeste, borde oriental de las Ciénagas Grande, Chino y Sevillano El acuífero tiene un espesor promedio de 270 m y está comprendido entre las coordenadas siguientes (Fig. 3.11):

X_UTM	Y_UTM
570,413	1,218,110
600,402	1,218,210
555,598	1,158,090
600,581	1,158,220

Planicie Aluvial Ciénaga – Fundación

La unidad geológica del Terciario denominada informalmente como Formación Fundación, está en contacto discordante con los depósitos Cuaternarios suprayacentes. Estas unidades están en relación hidráulica formando una sola unidad hidroestratigráfica denominada Acuífero Cuaternario - Terciario de Ciénaga -Fundación (Q-T2). Las otras unidades identificadas en el área no presentan un potencial para la explotación de recursos hídricos subterráneos. Como base del acuífero se estableció la unidad definida como Formación Zambrano (T1) compuesta por arcillolitas con niveles de yesos.

El acuífero tiene un coeficiente de almacenamiento entre 0.05 y 0.001 según los cálculos en pruebas con pozo de observación, se calcularon transmisividades que alcanzan hasta 1800 m²/día, los gradientes hidráulicos están alrededor de 0.001 y las velocidades medias de flujo entre 1 y 5 m/día, las capacidades específicas de los pozos se dividieron en dos rangos, desde bajas a altas (0.1 - 5 lps/m) y muy altas (> 5 lps/m).

De los 344 pozos inventariados en la zona de estudio (datos de 1997) 189 pozos (55%) han sido perforados con el fin de servir como fuente alterna de agua para el riego de las plantaciones de banano, el 19% para abastecimiento público y doméstico, el 24% pozos para uso industrial en actividades de procesamiento de la palma africana y lavado del banano para exportación.

Estos pozos presentan diámetros que oscilan entre 8" y 12", son entubados en acero o hierro al carbón, con rejilla de acero galvanizado y alcanzan generalmente profundidades mayores a 30m. Entre las poblaciones de Ciénaga al norte y de Sevilla al centro, zona de cultivo de banano, se localiza el 77% del total de pozos inventariados, con una densidad de 3 pozos por cada 2 km². Hacia el sur entre las poblaciones de Sevilla y Fundación en el área cultivada con palma africana hay 79 pozos y la relación es de 1 pozo por cada 7 km².

En el área de estudio se inventariaron 205 aljibes cuyo propósito principal es el de servir como fuente de abastecimiento público y doméstico en las zonas donde la cobertura del acueducto es poca o nula, estas zonas generalmente están ubicadas en el dominio rural; en razón al bajo costo de los materiales (anillos prefabricados de concreto) y relativamente fácil construcción (manual).

Entre las poblaciones de Ciénaga y Sevilla la densidad de los aljibes es de 1 aljibe por cada 6 km² mientras que al sur entre Sevilla y Fundación la relación es de 1 Aljibe por cada 7 Km². La profundidad de estas captaciones varia a lo largo del área de estudio, predominando profundidades menores a 5 m con un 60% y en segundo orden con profundidades entre 5 - 10 m representando el 30% del total de aljibes. Presentan diámetros entre 0.6 -1.5 m. En un 60% los aljibes son bombeados manualmente. Generalmente están ubicados en los alrededores de las viviendas.



Figura 3.11. Acuífero Cuaternario-Terciario de Ciénaga-Fundación (Q-T2).

Estudios de geofísica e hidrogeoquímica han caracterizado las aguas subterráneas del acuífero **Q-T2** entre Ciénaga y Sevilla como zonas con contenidos en aguas saladas a salobres y en este mismo sector se caracterizaron aguas en los pozos del tipo clorurada sódica.

Esto refleja la presencia de una zona de intrusión marina en área del acuífero, con agua clorurada -sódica y bicarbonatada sódica limitada hacia el norte y noroeste del acuífero. La zona de intrusión, representa un peligro para el acuífero ya que penetra principalmente por las zonas de mayor permeabilidad como paleocanales dejados por los ríos que descienden de la Sierra Nevada como se observa en el sector del Río Frío, en la Región de Carital.

Las aguas subterráneas provenientes de las captaciones ubicadas sobre el acuífero **Q-T2** son principalmente bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, mientras que las aguas de las captaciones provenientes de la Formación Zambrano al sur son sulfatadas sódicas.

De acuerdo con los análisis físico - químicos se presenta un especial incremento del ión ferroso en algunas captaciones cercanas al piedemonte (sector de Río Frío y Varela) y su causa más probable está relacionada con las rocas y suelos residuales procedentes de los cuerpos ígneos y metamórficos de la Sierra Nevada, donde el agua a su paso se enriquece en este ión y se deposita cuando las condiciones de óxido - reducción le son favorables.

Así mismo, las arcillolitas de la Formación Zambrano se pueden constituir en una fuente de contaminación natural de los pozos profundos y generar contenidos anómalos en cloruros y sulfatos provenientes de la disolución del yeso y sales minerales de las rocas, es necesario identificar estos niveles y posteriormente proceder a aislarlos y cementarlos.

El 22% de los aljibes en el área presentan conductividades eléctricas anormalmente altas (> 1500 mSc/cm) lo cual puede ser causado por la infiltración de aguas residuales, o aguas provenientes del

lavado de corrales dada su cercanía a las viviendas e instalaciones de fincas. Más al sur, alrededor de Fundación, las conductividades eléctricas de los aljibes son aún más altas (>3000 mSc/cm) lo cual está probablemente relacionado con aguas procedentes del lavado de capas de yesos y otras sales del terreno.

Balance del acuífero Q-T2

Esos mismos estudios realizados en 1997 (INGEOMINAS, 1998) cuantificaron por primera vez el balance hídrico para el año 1997, en el cual se cuantificaron las entradas y salidas del acuífero planeando obtener una relación entre ambas variables en la zona de estudio.

La tabla 3.2 resume las entradas y salidas del acuífero Q-T2 utilizadas para obtener el balance hídrico.

Tabla 3.2: Variables de entradas y salidas de agua al acuífero.

ENTRADAS	SALIDAS
Recarga por infiltración natural de la lluvia	Bombeos
Recarga lateral por efecto de la infiltración desde las corrientes superficiales que descienden de la Sierra Nevada	Salidas a las corrientes superficiales
Recarga por excedentes de riego	Salidas por flujo subterráneo
Recarga por infiltración desde las redes de canales y corrientes superficiales	

Los resultados del balance indican:

- reservas totales en el acuífero = 29'700 Mm³.
- recursos hídricos que se incorporan al acuífero (recarga)= 129 Mm³/ año
- demandas localizadas donde se presentan menores recursos, como en los sectores de Ciénaga - Orihueca y Orihueca – Sevilla donde las recargas totales (naturales y artificiales), oscilan alrededor de los 64 Mm³/ año
- bombeos son de alrededor de 110 Mm³/ año.

En ese año INGEOMINAS (1998) concluyó que existía un desbalance que iba disminuyendo paulatinamente las reservas del acuífero y le llamo *sobreexplotación* del mismo.

Esos valores son desde luego aproximados, sin embargo esos ayudan a darse una idea de equilibrio, o falta de equilibrio hidrodinámico del acuífero Q-T2, así como para evaluar tanto los efectos en el uso del agua subterránea de ese acuífero tanto para el aprovisionamiento humano, como para los efectos potenciales que este tiene, o tendría, sobre los ecosistemas de la Ciénaga Grande de Santa Marta (ver sección 5).

3.3.5 Suelos

Rodeando todos los cuerpos lagunares del delta se encuentra una extensa zona de vegetación de pantano y mangle que llega a bordear la Ciénaga Grande de Santa Marta. Esta zona tiene especial relevancia para los estudios, diseño y mantenimiento de los caños localizados al poniente de la

CGSM. El límite sur define el extremo de la posible interacción entre el río Magdalena y el complejo lagunar, es por ello que en el diseño de los caños se excluyó el caño Schiller.

El borde occidental de esa zona representa el límite entre la zona pantanosa, de frecuente inundación y suelos orgánicos, por un lado, y tierra firme por el otro, caracterizado por orillales de antiguos cauces, albardones o terrenos naturales; de suelos granulares finos, relativamente consolidados y topográficamente algo elevados; ese es el límite oriental de la planicie de inundación.

Los suelos y la morfología de esa zona son muy interesantes desde el punto de vista de su función y de la importancia que relevan para la zona deltaica. La identificación geomorfológica de los antiguos cursos del río Magdalena se obtiene observando la disposición de los terrenos o diques de orilla que se pueden observar tanto por medio de fotografías aéreas como directamente en el terreno. Esos albardones son depósitos de sedimentos que se forman como resultado de la acumulación y depósito del material grueso que transportan las aguas de desbordamiento de los ríos aluviales. Como los materiales más gruesos se depositan primero, los diques tienden a dar origen a suelos de alta permeabilidad, bien drenados y fértiles. Tienden por lo tanto a ser explotados y su posición topográfica, a mayor nivel que el resto de la planicie, atrae el asentamiento de viviendas protegidas de las inundaciones.

Las condiciones del subsuelo en esa zona y sobre todo a lo largo de los canales corresponden básicamente a suelos típicos de llanura aluvial en ríos "maduros", en los cuales predominan limos y arenas finas. La estratigrafía somera de la región consiste básicamente en un depósito superior de limos con espesor variable entre 2 y 4 m en la mayoría de los casos; y un depósito inferior de arenas finas, localizado inmediatamente abajo el estrato limoso, y cuya presencia ha sido detectada a profundidades de entre 4-6 metros.

3.4 Uso del suelo

Al interior del Sitio Ramsar el uso del suelo es principalmente agrícola y pecuario, y se realizan actividades agrícolas extensivas de palma africana y banano. Durante la Misión se indicó que actualmente están cultivadas 65,000 ha de Palma Africana y 13,00 de banano.

Así mismo se desarrollan importantes actividades pesqueras, ya que de los 3.600 habitantes de los pueblos palafitos, el 44% está dedicado directamente a la actividad pesquera. En la zona circundante el uso del suelo también es agrícola y pecuario (FIR, 1998).

De acuerdo al Plan de Manejo (Ministerio del Medio Ambiente, 2004) en el sitio Ramsar se identifican 6 unidades de uso: Agroindustrial, agrícola de subsistencia, pesca y transporte, pastos manejados, servicios ambientales y urbano.

4. Estado actual del sitio (factores de deterioro naturales/antropogénicos pasados presentes)

En el Sitio Ramsar de acuerdo a la FIR, 1998 se indican a continuación los principales factores de afectación:

Como consecuencia de la construcción de la vía Barranquilla-Santa Marta, en el periodo 1956-1960, se redujeron las posibilidades de intercambio entre el sistema lagunar y el mar únicamente al sector de la Boca de la Barra. Paralelamente, el aporte de agua dulce a partir del río Magdalena se redujo gradualmente como resultado de la colmatación y del taponamiento de los canales río-ciénagas y

ciénagas-ciénagas. La colmatación del sistema de canales fue el resultado del incremento de la carga de material particulado en el río Magdalena, generado a través de la deforestación y el vertimiento de materiales a lo largo de la cuenca. El taponamiento de los caños en el sector occidental, buscaba controlar las inundaciones, desecar las ciénagas menores y evitar la salinización de los suelos agrícolas.

La anterior situación fue agravada por la construcción de las vías Medialuna-Pivijay-Salamina y Palermo-Sitionuevo-Salamina cuyos taludes interrumpieron flujos menores y donde se construyeron obras de drenaje para los caños menores sin cumplir las especificaciones necesarias (Pro-Ciénaga, 2001).

El deterioro ambiental de las cuencas de los ríos provenientes de la Sierra y el empleo de agua para el distrito de riego en la zona bananera, han conducido al incremento del material particulado y a la reducción del aporte de agua dulce al sistema lagunar. Estos factores, originaron la hipersalinización de los substratos del manglar y los sistemas acuáticos ocasionando la muerte del manglar y la reducción de su capacidad natural de regeneración. Además, ocasionaron de acuerdo al Proyecto Pro ciénaga (1995) la pérdida del hábitat reproductivo, cobertura y alimento para la fauna terrestre y la reducción de las aves migratorias.

En cuanto a los peces, la reducción de algunas especies, es debida no sólo a la muerte del manglar sino también como resultado de actividades pesqueras inapropiadas en el área y disturbios generales en la zona costera.

Otros de los factores de deterioro que se presentan en el Sitio Ramsar es la falta de infraestructura sanitaria de los asentamientos humanos localizados en los alrededores de la Ciénaga y en el interior es un factor de contaminación permanente de sus aguas y de las especies que allí viven.

A todo lo anterior es necesario agregar la contaminación generada por agroquímicos provenientes de los distritos de riego de la Zona Bananera, que utilizan las aguas de los ríos que desembocan en la Ciénaga y bajan de la Sierra Nevada y los acarreados por el río Magdalena desde el interior del país (Pro ciénaga, 2001).

Desde el punto de vista social se presentan conflictos y procesos de competencia entre las personas que usan los mismos recursos como suelos, peces, agua y aquellos que usan diferentes recursos pero su actividad afecta la actividad de otros (ganaderos con los usuarios de los caños, los pescadores con los agricultores industriales que causan la contaminación del sistema).

En 1991, se inició la primera fase del proyecto de Cooperación Técnica con Alemania a través de la GTZ (Pro-Ciénaga) cuyo objetivo era la elaboración de una estrategia para la Recuperación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, tanto ambiental como socioeconómicamente. El principio básico de solución fue restablecer los aportes de agua dulce desde el río Magdalena al complejo laguna de la Ciénaga Grande de Santa Marta, con la convicción de que con un manejo hidráulico se pueden mantener niveles de concentración convenientes para su recuperación ambiental y generar flujos para la limpieza de los suelos. Para alcanzar esta recuperación ambiental, acercando las condiciones actuales a las naturales originales (condiciones de vida aceptables para la fauna y la flora, no significa necesariamente la recuperación del estado original, sino una solución al problema de manglar), se construyó un sistema hidráulico de regulación, que alimenta al complejo lagunar con agua dulce del río Magdalena (Pro ciénaga, 2001).

Algunas de las principales actividades adelantadas en el marco del Proyecto de Recuperación de la Ciénaga Grande de Santa Marta fueron: la apertura de los caños Clarín, Torno-Almendros, Renegado y Aguas Negras, estudios de oferta pesquera y estudios socio económicos del área del proyecto, ejecución de un componente de monitoreo ambiental del área del complejo lagunar, evaluación de los efectos ambientales esperados de las obras hidráulicas y estudios ecológicos, acuáticos y terrestres sobre fauna y flora del área del proyecto.

Tal como se menciona en el Plan de Mantenimiento y Operación de las Obras Hidráulicas construidas en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Pro-Ciénaga, 2001) el sistema instalando debe operarse siguiendo las indicaciones establecidas en el modelo previsto para lograr las salinidades óptimas para la recuperación del bosque de manglar y en general de todo el sistema. Esto implica que es necesario adelantar de manera permanente el monitoreo de los cambios que se estén produciendo en el complejo lagunar para definir los volúmenes de agua que deben introducirse desde el río Magdalena, especialmente a través de los caños Aguas Negras y Renegado, que para el efecto están dotados de estructuras de control. Igualmente, se menciona que es imperativo contar con un Plan de Mantenimiento de las obras construidas con el fin de garantizar en el mediano y largo plazo la recuperación del complejo lagunar y el riesgo de no adelantarlos sería la pérdida de la inversión realizada y el fracaso en las intervenciones para la recuperación del sistema.

Durante la Misión de Asesoramiento se informó por parte del Ministerio de Ambiente del proyecto de la ampliación de la carretera que conecta Barranquilla con Santa Marta para lo cual se ha establecido un cronograma preliminar para establecer la viabilidad de la construcción de la carretera. A continuación se presenta un análisis más detallado de los componentes físicos y ecológicos del sitio.

4.1 Componente físico

4.1.1 Geomorfología

Como se vio en la sección 3.3.1, en el departamento del Magdalena las costas lodosas están presentes en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM); sin embargo, las pequeñas lagunas costeras han ido desapareciendo por la tala y los rellenos antrópicos especialmente en este sector. Estas geoformas se encuentran estrechamente relacionadas con geoformas depositacionales arenosas como playas, espigas y barras litorales, localizadas a lo largo de la línea de costa actual, o playas antiguas localizadas detrás la berma junto con cordones de dunas y la llanura costera. Una geoforma producto de las acciones antrópicas, son las costas urbanizadas que se encuentran conformadas por las ciudades y pequeñas poblaciones que han crecido cerca o en la zona costera, como es el caso de Ciénaga, en donde el uso natural de la tierra y las geoformas originales han sido alteradas para dar paso al crecimiento urbano, la infraestructura de servicios portuarios y de vías y las obras de defensa o protección contra la erosión. Santa Marta, es otra de las ciudades costeras más importantes que ocupan un área representativa dentro de la costa, junto con Riohacha, Barranquilla y Cartagena; no obstante existen decenas de poblaciones más pequeñas que crecen a lo largo de la línea de costa, a veces sin una planificación eficiente, alterando gravemente con su presencia las condiciones de equilibrio de la zona costera.

De las cinco unidades geomorfológicas de la llanura deltaica del río Magdalena (ver sección 3.3.1) las que más se han afectado por factores de deterioro naturales y antropogénicos tanto pasados como presentes, son la unidad II, o llanura de inundaciones del río Magdalena, y la unidad IV, o Playa e Isla Barrera (Fig. 3.3).

4.1.2 Hidrología superficial

Se describe el estado actual de los dos sistemas hidrológicos superficiales: la llanura de inundación al poniente y los ríos de la vertiente de la Sierra Nevada de Santa Marta al oriente.

La llanura de inundación se delimita como la región comprendida entre el Río Magdalena y el Complejo Lagunar de Pajaral y de la CGSM, y desde la cuenca del caño Ciego hasta la cuenca del caño Clarín Nuevo con una extensión de 643 km².

La formación de esa planicie es el resultado de la deposición de los sedimentos acarreados por el Río Magdalena, al desplazarse de oriente a occidente. A través de esa planicie se efectúan los aportes de agua dulce hacia las ciénagas durante los períodos de crecientes, generándose la variación estacional en la salinidad de sus aguas. En la planicie de inundación se identifican dos paleocauces del Río Magdalena como rastros de su desplazamiento hacia el occidente. Estos paleocauces corresponden a las actuales cuencas de los caños Ciego y Aguas Negras.

El área del complejo lagunar corresponde a terrenos bajos anegadizos sujetos a los desbordamientos naturales periódicos del Río Magdalena, los cuales han sido limitados o “controlados” mediante la construcción de la carretera Palermo – Sitio Nuevo y las acciones tendientes a la incorporación de tierras a la producción agropecuaria. Esta desecación de los suelos y la interrupción de los flujos de aguas superficiales permiten la intrusión de la cuña salina. Los campesinos de la región han tratado de controlar al reflujos de agua salada de las ciénagas en sitios como el caño La Ceja y el sector de los Rieles, por medio de borduras construidas de tierra.

Entre 1958 y 1965 culmina la construcción de la carretera Ciénaga-Barranquilla. En ese mismo periodo se abandona el mantenimiento de los caños localizados al poniente de la CGSM.

En cuanto al sistema fluvial de la vertiente de la Sierra Nevada de Santa Marta al oriente, décadas de deforestación para implementar cultivos de café y marihuana han modificado considerablemente la morfología, escurrimientos e infiltración de las aguas de los ríos ahí localizados. Más aun, la palma africana y las extractoras de aceite han surgido como alternativa a la caída del banano, acelerando así ese problema.

Todo ello se traduce en un deterioro grave de las condiciones ambientales de la CGSM y al mismo tiempo empeora la situación socioeconómica de las comunidades dependientes de ella. Los caños se secan casi completamente en el verano. Se produce una alta presión sobre el recurso pesquero. La hipersalinización y la muerte del manglar deterioran la ciénaga de Pajaral. La agroindustria de la zona oriental crece y arroja cada vez más residuos y agroquímicos al sistema.

Los caudales medios disponibles de los ríos principales de la vertiente de la SNSM (ver tabla 3.2) han sido reglamentados desde los años setentas. Con el tiempo, los caudales que llegaban a la CGSM se han reducido un 24% de los caudales disponibles. Los caudales concesionados para usos agrícola, de ganadería y de abastecimiento toman el 54 % de los cuales disponibles; la reglamentación permite dejar un 23% como “caudal ecológico” el cual al parecer no es suficiente para ayudar en el control de la dinámica de las corrientes y de salinidad de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Por otro lado, la serie de datos de caudales del río Magdalena disponibles para la misión RAMSAR, cubriendo un periodo de 73 años (1941-2014), no muestran efectos notables que sean debidos a cambios climáticos. En ese periodo de mediciones realizadas en la estación Calamar, se observa que durante los meses de febrero a abril se presentan los caudales bajos, durante los meses de mayo a agosto los caudales medios y los caudales altos entre los meses de septiembre a enero. Esa parece ser una alternancia natural de temporadas secas con temporadas invernales de gran variación (ver fig. 3.9).

Del análisis de la distribución interanual de los caudales, es notable su considerable variación año con año, presentándose variaciones periódicas del ciclo hidrológico que comprenden aproximadamente tres años de caudales altos, tres años de caudales normales y tres años de caudales bajos. Los caudales altos cada seis o siete años ocasionan crecidas cíclicas que elevan en cerca de un metro el nivel de las aguas en el complejo de ciénagas. El análisis de tendencia sobre los 73 años de datos de caudales no muestra una variación significativa en función del tiempo, es decir el ciclo de escurrimientos del río Magdalena parece mantener su equilibrio natural.

En resumen, y a la luz de la información y datos analizados, las aguas superficiales (ríos) tanto al oriente como al poniente de la CGSM no muestran cambios significativos en sus caudales en función del ciclo hidrológico natural de la región. Sin embargo, los volúmenes de agua dulce de esos ríos que normalmente deberían descargar en las ciénagas Pajara! y Grande de Santa Marta, no descargan en su totalidad ni con la frecuencia cíclica natural. El efecto antrópico en ambos lados del delta ha sido el factor principal de la disminución de esos flujos.

4.1.3 Hidrología subterránea

En la sección de los aspectos de línea base, se vio que el balance de las aguas subterráneas del acuífero Q-T2 mostraba ya una sobreexplotación del mismo (sección 3.3.4).

Ese desbalance disminuye paulatinamente las reservas del acuífero y es a ello a lo que se denomina sobreexplotación del acuífero. Este fenómeno es grave y los efectos que se generan sobre la calidad del agua subterránea y en las propiedades físicas del acuífero pueden ser irreversibles; tales como salinización y subsidencia (aunque esta última no se ha claramente observado ni documentado). Por otro lado, está claro que esa sobreexplotación conlleva al avance de la intrusión marina (agua salada) la cual se representa por la salinización de los pozos y el abandono de los mismos, sin embargo este hecho genera la nueva perforación de pozos y el avance posterior de la intrusión.

De los tres sectores estudiados en el acuífero Q-T2, se observó que el sector de Ciénaga - Orihueca es el más afectado, con un 43% de sobreexplotación. El sector Orihueca - Sevilla tiene una moderada sobreexplotación; y el Sevilla-Fundación se encuentra en equilibrio. Sin embargo, esos análisis tienen ya casi 20 años desde que se realizaron, por lo que existe una muy alta probabilidad de que la sobreexplotación haya aumentado.

Igualmente, como se notó en la sección anterior, la deforestación del piedemonte de la SNSM ha traído como consecuencia una disminución de recarga del acuífero Q-T2 que normalmente se realiza por infiltración directa de la lluvia o por la conexión hidráulica agua superficial/agua subterránea.

4.1.4 Suelos

El principal factor de deterioro de los suelos es la sedimentación de los mismos.

La sedimentación no solo es un proceso de ocurrencia natural (transporte de sedimentos por las vías fluviales) sino también una consecuencia de la acción humana. Existe evidencia de aumento acelerado de la sedimentación en los sectores este y sur debido a la acción humana de esas zonas, la cual se ha acelerado en los últimos 150-200 años (Wiedermann, 1973).

Un aumento acelerado y reciente de la sedimentación sugiere un incremento en sus fuentes de abastecimiento desde las áreas aguas arriba. Ese incremento es el resultado de la erosión acelerada de la SNSM y de la provincia de Piedemonte al este de la CGSM. Desde finales del siglo XIX, la United Fruit Company inició el desarrollo de la "Zona Bananera" en esa área (1899). Según autores citados por Wiedermann (1973) las grandes áreas de bosques fueron destruidas durante los últimos 100 años para abastecer de madera a la manufactura del azúcar, abriendo al mismo tiempo nuevas áreas para las granjas y el ganado, lo cual promueve la erosión de los suelos que se han colmatado y salinizado.

Esos procesos antrópicos han tenido consecuencias importantes en la dinámica fluvial causando deterioro de los suelos, la morfología, la infiltración y los caudales, tal y como se describe en las secciones 4.1.1 a 4.1.3.

4.2 Componente ecosistémico

4.2.1 Flora y vegetación

La flora de la zona posee numerosos listados de especies nativas y exóticas observadas o capturadas en diferentes localidades de la CGSM y de la isla de Salamanca, sin embargo, no se tiene una información integral, que refleje la riqueza de especies de flora que posee la ecorregión (INVEMAR, 2004).

Dentro de la flora presente en el humedal de CGSM las comunidades de manglares constituyen las formaciones vegetacionales más relevantes (INVEMAR, 2004), con 4 especies *Avicennia germinans* (mangle salado), *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle amarillo) y *Conocarpus erectus* (mangle bobo). El mangle salado forma bosques casi homogéneos en zonas altas y especialmente alrededor de las ciénagas donde la salinidad alcanza valores altos. El mangle rojo se encuentra principalmente en las márgenes de los cuerpos de agua y en las orillas de las bocas de los ríos de la Sierra Nevada. El mangle amarillo se encuentra también en los bordes del bosque y en zonas de salinidad intermedia (20-30%). El mangle bobo crece solamente en las desembocaduras de los ríos de la Sierra Nevada y es el menos abundante (Pro ciénaga, 1995). La presencia de estas especies está determinada por factores ambientales como los gradientes de salinidad, la exposición de las mareas y las características del sustrato, por lo que las hace vulnerables a los cambios en estos parámetros.

Otras formaciones vegetales presentes de importancia son: El bosque denso aluvial y estacionalmente inundado con especies como el *Samanea saman* (campano), *Ficus palida* (pivijay), *Ficus magdalenica* (copey), *Lecythis minor* (olla de mono); el Bosque denso caducifolio por la sequía, de baja altitud con especies como *Bulnesia arborea* (guayacan de bola), *Aspidosperma polyneuron* (carreto), *Scheea magdalenica* (palma de vino), *Astronium graveolens* (quebracho), *Gyrocarpus*

americanus (volador), *Spondias mombin* (hobo). También se encuentra vegetación herbácea graminoide alta leñosa y sobre sustrato húmedo o inundado la mayor parte del año con especies como *Typha domingensis* (enea), *Cyperus giganteus*, *Cyperus Neptunia prostrate*, *Juncus spp.*, *Eleocharis spp.*, *Thalia geniculata* (bijao o lengüevaca).

En relación al estado ecológico actual de la flora y vegetación, INDERENA (1978), consideró que las principales causas que explicarían es estado ecológico de la vegetación correspondería a la influencia de la salinidad en el área dependía de la penetración de agua marina a las ciénagas inmediatas al litoral y del contenido de sales en los suelos. Este fenómeno, se veía agravado por el régimen climático y en particular por la alta evapotranspiración, los vientos y la reducción del flujo de agua dulce, especialmente, durante los meses de bajos caudales del río Magdalena. Sin lugar a dudas, esto favoreció la generación de condiciones de hipersalinidad en las masas de agua, que se evidenciaron en los suelos por la aparición de costras salinas como resultado de la capilaridad ascendente. Igualmente, se hizo referencia al desplazamiento de dunas hacia el oeste, que comenzaron a sepultar o cubrir las raíces y parte de los troncos de árboles de mangle, que luego murieron, tal como sucedió en el área de recreación de Cangarú. Según INDERENA (1978), el desbalance hídrico generó nuevas condiciones ambientales que determinaron los siguientes resultados:

- Proceso de hipersalinización, que generó la muerte paulatina de los mangles en el sector oriental de la isla.
- Destrucción paulatina de la vegetación limnófito y de bosque inundable. Además se resalta que desde años atrás, se presentaba mortalidad masiva de peces dulceacuícolas primarios como el bocachico (*Prochilodus reticulatus*), por la insuficiencia de conexiones entre las ciénagas (al norte de la carretera) con el río Magdalena o el caño Clarín Nuevo.

Botero y Mancera-Pineda (1996), identificaron varios factores que estarían afectando las comunidades de manglares, entre ellos:

- Alteraciones físicas. Entre las cuales se encuentran: i) construcción de las carreteras Barranquilla-Ciénaga y Palermo sitio Nuevo, alterando la conectividad hidráulica entre los ecosistemas acuáticos; ii) construcción de diques y terraplenes para impedir el desbordamiento del río Magdalena y el flujo de agua dulce desde el río hacia el sistema de ciénagas; iii) Sedimentación-colmatación de los caños por deforestación en las cuencas; iv) Disminución del caudal de los ríos desde la SNSM por captación del agua para distritos de riego.
- Enriquecimientos con materia orgánica y/o nutrientes inorgánicos. Cuyo origen estaría dado por: vertimiento directo a la laguna o sus afluentes, de aguas servidas procedentes de las poblaciones aledañas y palafíticas; ii) acarreo de fertilizantes agrícolas y de materia orgánica por los ríos del SNSM y el río Magdalena que fluyen hacia la CGSM; y iii) lavado de los suelos de los pantanos de manglar muerto durante épocas de fuertes lluvias.
- Introducción de sustancias tóxicas. Lo cual se debe especialmente por los materiales que son transportados por el río Magdalena, el cual irriga una extensa zona minera, industrial, agrícola y ganadera, y los ríos de la SNSM que irrigan las zonas bananera, palmera y arroceras de piedemonte.
- Alteración directa o indirecta de la estructura de las comunidades: por actividades de tala, pesca y caza, y podría estar ampliándose además por la introducción de especies exóticas,

como Tilapia. Además de cambios en el hábitat derivado de los procesos anteriormente señalados.

La respuesta sinérgica de estos procesos sobre la vegetación, resulta en una extrema variabilidad en las tasas de pérdida de manglar en diferentes zonas del CGSM (Rivera-Monroy et al, 2006; Figura 4.1).

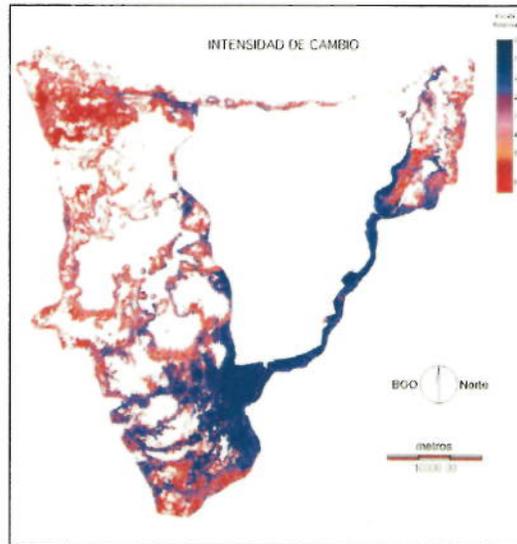


Figura 4.1. Estabilidad de las áreas de manglar en cuanto a su presencia/ausencia en el sistema lagunar marginal en el periodo 1985-1999. El valor de uno representa un cambio mínimo (azul) mientras que el valor de 6 (rojo) indica un cambio significativo. Fuente: Rivera-Monroy et al (2006).

En síntesis lo que ocurre con la vegetación de CGSM, es un fenómeno donde se conjugan procesos a diferentes escalas (local a global), de diferente origen (físico, químico y biológico), que sinérgicamente están provocando un cambio degenerativo en CGSM, comprometiendo su estado ecológico respecto de la condición ecológica informada cuando fue designado como sitio RAMSAR.

4.2.2 Fauna

Por su abundancia y diversidad, los invertebrados son uno de los grupos de mayor importancia en este ecosistema. Están representados por aproximadamente 98 especies, 66 géneros y 48 familias. Las especies de mayor importancia comercial fueron la ostra del mangle *Crassostrea rhizophorae* y el caracol *Melongena melongena*. La primera especie formaba extensos bancos localizados principalmente en la parte norte de la CGSM. Esta especie fue explotada por los habitantes de Palmira e Isla del Rosario. Durante los años de disminución drástica de la salinidad, su población también disminuyó en forma significativa (Mancera- Pineda y Mendo, 1996). Los crustáceos son así mismo, otro grupo muy importante a nivel ecológico y comercial en CGSM. Los cangrejos *Ucarapax* y *U. vocator* son los más abundantes en las áreas de manglar. A nivel comercial las jaibas *Callinectes sapidus*, *C. bocourti* y *C. danae*, son las especies de mayor explotación junto con los camarones de los géneros *Penaeus* y *Farfantepenaeus*. Un total de 122 especies de peces óseos y 8 cartilagosos han sido registrados para este ecosistema (San tos-Martinez y Acero, 1991). Dentro de las 49 familias de peces, las mejor representadas por su abundancia son Engraulididae (*Anchovia clupeioides*, *A. parva*, *Anchoa spp.*), Mugilidae (*Mugil incilis*, *M. liza*), Gerreidae (*Eugerres plumieri*), y Ariidae (*Cahoropss pixii*). Las especies estuarinas representan el mayor grupo (63%). Aunque la

mayoría de especies toleran amplios rangos de salinidad, bajas salinidades favorecen la ocurrencia de especies tales como *Triportheus magdalenae*, *Aequidens pulcher*, *Caquetaia kraussii*, *Oreochromis niloticus*, *Hoplias malabaricus* y *Sorubium lima*, entre otras.

Las aves son uno de los grupos animales más diverso y abundante en la región. Un total de 195 especies de aves han sido registradas para el sistema (Botero-Arboleda y Marshall, 1994), la mayoría son especies migratorias, que utilizan los humedales y ciénagas de la ecorregión CGSM para alimentarse y reproducirse. En este sentido en los monitoreos realizados por el Ministerio del Medio Ambiente en el periodo del 2000-2006 se corroboró la importancia del sitio como para las aves migratorias y residentes especialmente de la familia Anatidae reportándose 6 especies de las cuales cuatro son residentes (*Anas bahamensis*, *Dendrocygna bicolor*, *Dendrocygna autumnalis*, *Cairina Moschata*) y migratorias (*Anas clypeata* y *Anas discors*).

El pelicano (*Pelecanus occidentalis*), el pato cuervo (*Phalacrocorax brasilianus*) y las garzas blancas (*Egretta alba*, *E. thula*), son las especies más abundantes de manera permanente, ya que en épocas de migración dominan otras especies en la zona (INVEMAR, 2004). También se encuentran dos especies endémicas, el colibrí (*Lepidopygia lilliae*) y el tordo (*Molothrus armenti*).

Esta región, también es rica en réptiles como la iguana (*Iguana iguana*), babilla (*Caiman crodilus*), culebra cascabel (*Crotalus durissus*), boa (*Boa constrictor*), y la hicoitea (*Podocnemis scripta*). Con relación a los mamíferos, en esta área especialmente en el Santuario de Flora y Fauna de la Ciénaga Grande de Santa Marta se han reportado especies como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), Chiguiros (*Hydrochoerus hydrochaeris*), monos como *Alouatta seniculus* y *Cebus sp.* Según Naranjo (1986), en esta región con se encuentran el Caiman (*Crocodylus acutus*) y el manatí (*Trichechus manatus*).

Los cambios de las condiciones ambientales en la ecorregión CGSM han tenido un impacto notorio sobre las poblaciones de invertebrados marinos asociados a las raíces de mangle rojo, como son la disminución sustancial tanto de la riqueza, como de la abundancia de especies, permaneciendo aquellas que son de hábitos propiamente estuarios. Otro de los cambios presentados a nivel de la fauna de invertebrados, es la introducción de especies oportunistas como los cangrejos *Charybdis hellerii* originario del Indopacífico y de *Callinectes exasperatus*, colectado por primera vez en aguas del mar Caribe colombiano.

Los cambios ocurridos en la comunidad íctica asociada al sistema de manglar en la ecorregión CGSM, indica una clara dependencia de las variaciones en la hidrología que han ocurrido en el sistema antes y después de la intervención de las obras civiles en los caños comunicantes con el río Magdalena, así como también de la influencia de fenómenos climáticos globales (EL NIÑO) sobre las condiciones en aguas del sistema lagunar (INVEMAR, 2004). Aparentemente, aunque el número de especies ha experimentado variaciones, estas no son tan drásticas como los cambios sucedidos en sus abundancias; así lo revelan las capturas pesqueras artesanales. La salinidad juega al parecer un papel preponderante, dado que a una mayor salinidad corresponde un mayor número de especies pero con una abundancia relativamente baja, salvo notables excepciones, como la lisa. Por el contrario, la disminución de la salinidad corresponde con un menor número de especies, pero con abundancias muy superiores como el caso de la mojarra lora.

Los cambios registrados en la fauna acuática y terrestre responden a los mismos factores identificados para los bosques de manglares, a través de alteraciones en las condiciones del hábitat de las especies en

la CGSM.

5. Modelo conceptual hidrodinámico y ecosistémico del Delta de Ciénaga Grande

El fondo del complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta fue salinizado naturalmente desde el Holoceno (ca 10'000 a) cuando la región era una bahía y el mar inundaba por completo el área. El agua del mar se infiltraba en los sedimentos presentes en la zona creando acuíferos salados. El muy largo proceso geológico y geomorfológico de sedimentación que formó el delta hoy conocido, fue retirando las aguas saladas del delta hasta encontrar un equilibrio hidrodinámico y de salinidad; el "lavado" de la salinidad en el delta fue el resultado de las aguas superficiales provenientes de las inundaciones del río Magdalena, de los ríos que desciende del SNSM, así como del "empuje" hidrostático de los acuíferos que recargan en el SNSM y en el piedemonte del SNSM. Ese equilibrio se ha interrumpido por procesos antropogénicos desde hace más de 100 años.

Con esos antecedentes se puede realizar un análisis cuantitativo de esa dinámica, pero antes se requiere primero elaborar un modelo conceptual integrado del sistema deltaico de la Ciénaga Grande y sus afluentes. En este caso es conveniente realizar ese modelo por medio del concepto de reservorio, es decir considerar a la CGSM como un cuerpo hidrodinámico que responde a los elementos climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos y marítimos. La dinámica hidrológica de un tal cuerpo sería determinada por la interacción de esos elementos hasta alcanzar un balance (o equilibrio) hidrodinámico.

La dinámica hidrológica del complejo lagunar, es decir, el comportamiento de los niveles, salinidades y concentración de nutrientes y contaminantes en cada ciénaga, está relacionado con su distribución espacial, los flujos de intercambio entre éstas y la atmósfera, aportes de las sub-cuencas de drenaje, el intercambio con los cuerpos de agua vecinos a través de caños, el intercambio indirecto con el mar Caribe a través de la CGSM, la capacidad de almacenamiento dada en virtud de su superficie y profundidad media y los patrones de circulación.

Para entender mejor esta dinámica, se requiere un modelo de balance hidrológico que involucre esas relaciones complejas en forma conceptual y luego matemática y numérica. El modelo se podrá utilizar para efectuar simulaciones numéricas para períodos de tiempo con registros históricos de las variables hidrológicas relevantes en el balance. Como resultado de esta simulación se puede obtener la variabilidad de niveles y salinidades en cada cuerpo de agua del sistema.

El primer paso es entonces la realización de un modelo conceptual que integre todas las variables, procesos y sistemas que afectan a los ecosistemas del Delta de Ciénaga Grande. La figura 5.1 muestra ese modelo conceptual de manera esquemática con las variables, procesos y sistemas principales integrados.

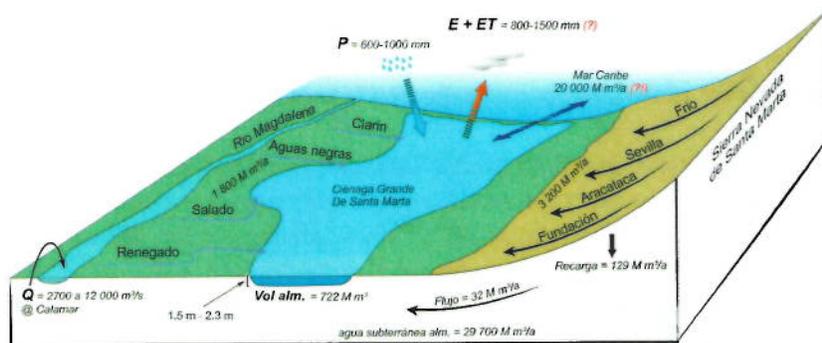


Figura 5.1. Modelo conceptual de la dinámica hídrica del Delta de Ciénaga Grande

Los valores de los diferentes parámetros mostrados en la figura 5.1 como flujos (caudales), o volúmenes (almacenamientos o láminas de agua), son algo inciertos pues la literatura y datos examinados por la misión RAMSAR detectó algunas incoherencias e inconsistencia entre los valores presentados por diferentes autores y en diferentes épocas. La mayor incertidumbre es del lado de los flujos intercambiados entre la CGSM y el mar Caribe a través de la Boca de la Barra.

Desde los años noventa se han realizado estudios diversos ya sea por separado o, en algunos casos, integrando más de una variable dentro del sistema deltaico. Por ejemplo existe una gran variedad de estudios sobre los aspectos de la dinámica marítima pero sin considerar los aspectos fluviales o hidrogeológicos de ambos lados del delta. Así mismo hay estudios que calculan las variables de la dinámica fluvial de un lado o del otro del delta, pero sin considerar la dinámica oceánica. De la información proporcionada a la misión RAMSAR, se destacan solo dos estudios que integran todas las variables que componen y que afectan el sistema deltaico lagunero, estos han sido los modelos elaborados para el diseño de obras hidráulicas (Deeb Sossa, 1992), o para establecer el balance hidrológico orientado a estudiar la dinámica del complejo Lagunar de la CGSM (Muñera et al., 2003). El modelo conceptual propuesto aquí y mostrado en la figura 5.1 integra la mayor parte de los datos recabados en esos diversos estudios.

Ese modelo conceptual permite tener una visión global e integrada de la problemática del complejo deltaico lagunar, la cual está caracterizada por los siguientes componentes:

- La región en donde se localiza el complejo deltaico lagunar sufre de un déficit hídrico, al ser la evaporación y/o la evapotranspiración superior a la precipitación en largos periodos del año. La figura 5.1 muestra un rango de precipitación de entre 600 y 1000 mm mientras que la E+ET es de entre 800 y 1500 mm. Los valores de esos parámetros tienen una incertidumbre media sobre todo en la estimación de la E+ET; unos autores estiman hasta 2000 mm de evaporación E (Deeb Sossa, 1992), mientras que otros estiman 800 mm (Muñera et al., 2003). De cualquier forma queda claro que sin los aportes de aguas dulces externos al complejo deltaico lagunar (aguas provenientes del Río Magdalena y ríos de la SNSM), el complejo sería permanentemente hipersalino.
- El intercambio de flujos ente el mar Caribe y la CGSM muestra 20'000 millones de m³ por año. Ese valor es el más incierto de todos, es bastante probable que se trate de un error en el reporte de donde se extrajo (CORPAMAG, 2002). Esa enorme cantidad de agua representa 20 km³ de intercambiados entre el mar y la CGSM lo cual es prácticamente imposible. Según los estudios detallados de Deeb Sossa (1992), el complejo lagunar entrega (exporta) al mar alrededor de 3'500 millones de m³ por año (un flujo más factible), el cual es un volumen muy similar al

aportado por la vertiente del oriente (SNSM). Ese balance de agua con el mar indica claramente que el sistema lagunar recibe un buen aporte de agua dulce en su totalidad.

- Las aguas superficiales y subterráneas provenientes de la Sierra Nevada aportan un flujo combinado de 3'226 millones de m^3 por año (aguas superficiales y subterráneas). Ese flujo es el segundo en importancia en el sistema; sin embargo el flujo neto que llega a la ciénaga ha ido disminuyendo por el desarrollo antrópico de la región descrito antes. Se estima que hoy en día ese flujo es de menos de 600 millones de m^3 por año.
- Los caudales del río Magdalena en la estación Calamar varían entre 2700 y 12'000 millones de m^3 por segundo. Por otro lado, las aguas superficiales derivadas del río Magdalena a través los caños y canales representan porcentajes ínfimos de esos caudales, entre tan solo 2% y 0.04%. El caudal que llega al complejo lagunar por el oeste es de 1800 millones de m^3 por año y es inferior al de la SNSM. Sin embargo, este no deja de ser importante para el control de la salinidad, sobre todo en la ciénaga Pajará que es a donde llegan primero las aguas de desbordamiento del río Magdalena.
- Los flujos del agua subterránea del acuífero Q-T2 indicados en el modelo conceptual (Fig. 5.1), son relativamente pequeños comparados con los flujos del agua superficial. No obstante, su volumen almacenado ("alm." en la Fig. 5.1) es substancial y la combinación del flujo subterránea (26 M m^3/a), la recarga anual (129 M de m^3/a) y su espesor (270 m), permiten un empuje hidrostático suficiente para mantener más o menos en equilibrio la interface de agua dulce/agua salada cerca de la costa. La disminución de las reservas del acuífero y de su flujo subterráneo como consecuencia de la sobreexplotación antrópica, se traduce en el avance de la cuña salada cerca de la costa por debajo de la Isla Salamanca.
- El volumen almacenado de la CGSM ("Vol alm." en la figura 5.1) está estimado a 722 millones de m^3 , el cual es relativamente pequeño dada la profundidad tan somera de la Ciénaga de tan solo 1.5 a 2.3 m.

En general, la Ciénaga Grande de Santa Marta es una laguna de descarga neta al mar, donde los flujos de salida (hacia el mar) exceden a los de entrada en una cantidad aproximadamente igual a la contribución neta de la vertiente de la SNSM. Los flujos de la vertiente del poniente (río Magdalena) son menores pero importantes para la Ciénaga del Pajará, para el control de la salinidad en esa área del sistema, y para mantener el equilibrio hídrico y de circulación del conjunto lagunar.

La figura 5.2 muestra el complemento del modelo conceptual de la figura 5.1 con las características ecológicas de la CGSM así como las interacciones y posibles efectos que los flujos, volúmenes y láminas de agua pueden tener sobre los mismos.

A partir del modelo conceptual de la dinámica hídrica (Figura 5.1), el cual contiene una estimación del volumen acumulado, aportes y pérdidas hídricas al CGSM, considerando la cuenca de avenamiento hidrológica e hidrogeológica, y además, los antecedentes que describen las características ecológicas del humedal CGSM (capítulo 3), se elaboró el modelo ecosistémico del CGSM (Figura 5.2). En el modelo, se describen los principales componentes abióticos, bióticos y procesos que determinan el estado ecológico del CGSM, el cual está gobernado por el balance hídrico global de la cuenca y el balance de sales, este último adquiere relevancia en el humedal a medida que disminuye el aporte hídrico desde la cuenca. Durante este periodo el humedal se estratifica como consecuencia de la menor recarga de aguas superficiales y subterráneas, generando condiciones de menor disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua y sedimentos, dando como resultado un proceso de eutrofización y salinización acelerado, por un fenómeno sinérgico de recarga interna y alteración de la conectividad natural con el mar.

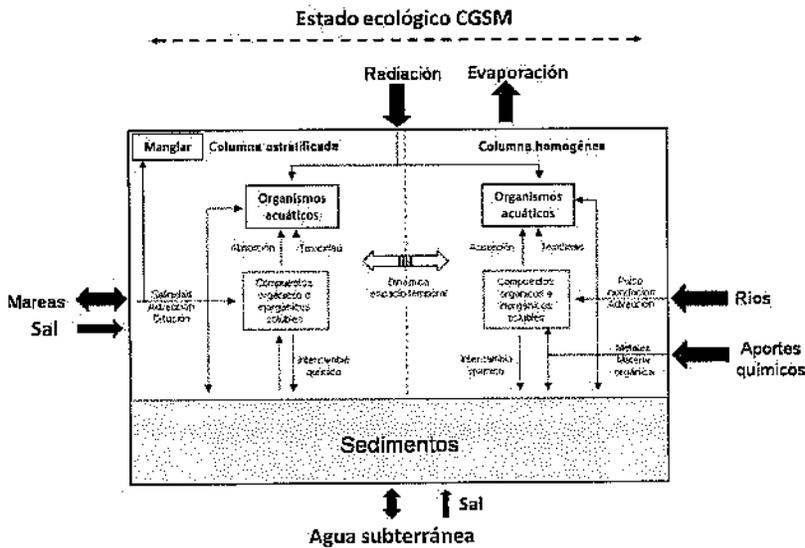


Figura 5.2. Modelo ecosistémico donde se integra el sistema hidrológico a escala de cuenca y el sistema ecológico del CGSM.

6. Evaluación del cambio en las características ecológicas

6.1 Aspectos físicos

6.1.1 Hidrología superficial

A partir de 1956 cuando se construyó la carretera Ciénaga-Barranquilla, se inició un proceso de degradación progresiva de la ecorregión, por la interrupción que hizo el terraplén de la vía, de los caños y canales que permitían el intercambio hídrico entre el mar y el complejo de ciénagas del Delta Exterior del río Magdalena. Se estableció una estrecha conexión (no más de 300 m) entre la ciénaga y el mar en la "Boca de la Barra" al nordeste del sistema y se cerró la boca natural que está ubicada a 1.6 km. al este. Esta situación fue agravada posteriormente por la disminución de los flujos de agua provenientes del río Magdalena debido a la sedimentación de los caños principales; a la construcción de la vía Palermo-Sitionuevo-Salamina cuyos taludes interrumpieron flujos menores y donde se construyeron obras de drenaje para los caños menores sin cumplir las especificaciones necesarias.

En resumen, el desarrollo de actividades humanas en toda la cuenca del Río Magdalena, pero fundamentalmente en la zona del delta, incluyendo al puerto de Barranquilla, ha jugado un papel preponderante en la evolución del complejo lagunar hacia su condición actual al propiciar algunas dinámicas e inhibir otras. Las principales actuaciones humanas que han originado alteraciones en la dinámica hidrológica y en los patrones de circulación por cambios en los aportes y distribución espacial de agua dulce, se pueden sintetizar en el incremento de los cambios en el uso del suelo durante los siglos XIX y XX al interior del país lo cual ha incrementado la carga de sedimentos en el Río Magdalena, así como los procesos de colonización del delta y el cierre o colmatación de caños.

6.1.2 Hidrología subterránea

Los cambios más marcados en los aspectos de la hidrología subterránea son sin duda alguna la sobreexplotación del acuífero identificado como Q-T2 (unidad hidro-estratigráfica denominada Acuífero Cuaternario - Terciario de Ciénaga -Fundación) y localizado en el Piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta (ver figura 3.1).

Los recursos hídricos que se incorporan al acuífero ascienden a 129 Mm³/ año aproximadamente, sin embargo, las demandas en el mismo están localizadas donde se presentan menores recursos, como en los sectores de Ciénaga - Orihueca y Orihueca – Sevilla donde las recargas totales (naturales y artificiales), oscilan alrededor de los 64 Mm³/año y los bombeos alrededor de 110 Mm³/año. Este desbalance va disminuyendo paulatinamente las reservas del acuífero y es a ello a lo que se denomina la sobreexplotación del acuífero.

Este fenómeno es grave y los efectos que se generan sobre la calidad del agua subterránea y en las propiedades físicas del acuífero son irreversibles, tales como salinización y subsidencia. La sobreexplotación conlleva al avance de la intrusión marina la cual se representa por la salinización de los pozos y el abandono de los mismos, sin embargo este hecho genera la nueva perforación de pozos y el avance posterior de la intrusión salina.

Las consecuencias de la sobreexplotación del acuífero Q-T2 han sido:

- Intrusión marina detectada al norte del acuífero entre las poblaciones de Ciénaga y Sevilla, esta ha sido reflejada por los análisis físico químicos del agua de los pozos, en los sondeos de geofísica y en los resultados del balance hídrico en el acuífero.
- Desaparición de manantiales al norte de la zona en donde se presentaban descargas por manantiales, Finca Manantial, sector de la Aguja, y que en la actualidad ya no se presentan.
- Disminución en el caudal de base de los ríos perennes, este rasgo es muy indicativo del aumento de la explotación de agua por medio de la perforación y explotación de pozos, lo cual disminuye el flujo hacia los ríos.
- Desaparición de corrientes superficiales, entre las corrientes principales se presentaban una serie de arroyos menores que descendían del piedemonte de la Sierra, pero en la actualidad ya no se presentan.
- Salinización paulatina de suelos; este fenómeno no fue comprobado en campo pero el reciclaje de aguas de riego genera un aumento en la salinidad de los suelos y su eventualmente su pérdida posterior por salinización.

La sobreexplotación en el acuífero Q-T2 está marcada por los siguientes aspectos:

- Concentración de pozos en sectores donde la recarga natural es baja en sectores de Ciénaga Orihueca y Orihueca - Sevilla.
- Niveles dinámicos en los pozos (hasta cotas -30 m) por debajo del nivel medio del mar.
- La demanda de recursos hídricos para el riego del cultivo de banano y en actividades de procesamiento de palma africana, el cual requiere de láminas de riego entre 1200 y 1400 mm/año (Ingeominas,1998).
- El bajo caudal procedente de las corrientes superficiales las cuales no cubren la demanda de los cultivos específicamente el banano. Sectores de Ciénaga - Orihueca y Orihueca – Sevilla.

Por otro lado, los análisis de vulnerabilidad y cargas contaminantes del acuífero Q-T2 han proyectado como resultado algunas zonas con grados de vulnerabilidad extrema, alta y moderada; estas zonas se distribuyen sobre los sectores de explotación intensiva del acuífero. En particular se destaca el sector entre Ciénaga – Orihueca en donde los coluviones que marcan el piedemonte en los alrededores de las

Quebradas Espíritu Santo, Mateo y La Aguja se extienden hasta la región de Ceibales y el Corregimiento de Sevillano, coincidiendo con la zona de intrusión marina lo cual agrava el cuadro hidrogeológico. Así mismo es importante destacar la presencia de nitratos en los pozos, con concentraciones entre 6 y 24 mg/l, indicando la posible contaminación de agroquímicos en las aguas subterráneas en las zonas de cultivo intensivo de banano.

6.1.3 Suelos

La zona de vegetación intermareal y mangle que llega a bordear la Ciénaga Grande de Santa Marta, tiene especial relevancia para los estudios, diseño y mantenimiento de los caños localizados al poniente de la CGSM.

El deterioro de las cuencas hidrográficas de los ríos que desembocan en la Ciénaga ha ocasionado que estos ríos aporten menores cantidades de agua dulce y mayores cantidades de sedimentos lo cual ha modificado la composición de los suelos naturales. La permanencia de colonos invasores también taponan los caños modificando aún más los suelos y la geomorfología de la zona de inundación.

El área de inundación ha sido ocupada en repetidas ocasiones por el cause del río Magdalena, el cual ha depositado material que transporta, principalmente durante periodos de desbordamiento, dando origen a una geomorfología cruzada, con orillales y paleocausas. Estos relictos de una actividad fluvio dinámica anterior, también han dado origen basines en donde se depositan materiales finos y arcillosos, y donde se observan ciénagas que han ido desapareciendo por la intervención el hombre, tal es el caso de la ciénaga Pivijay (Deep-Sossa, 1993).

6.1.4 Geomorfología

El análisis de los estudios geomorfológicos realizados en el pasado ha permitido delimitar adecuadamente la planicie de inundación, la zona de humedales y las geoformas principales. Esta información resultó particularmente valiosa para la identificación y análisis de canales o caños que se diseñaron en 1993 para ser utilizados en la derivación de aguas desde el río Magdalena. Sin embargo, 23 años más tarde se observan cambios importantes en los mismos.

La disminución de entrada de agua dulce al Complejo proveniente de río Magdalena, ha sido causada ya sea por la excesiva sedimentación u obstrucción de canales debido a procesos naturales, o bien por la acción de los propietarios situados en el Delta quienes han obstruido caños que permitía el flujo de agua dulce desde el río Magdalena a través de pasajes naturales. La construcción de la carretera Medialuna-Pivijay-Salamina, que afecto los caños Ciego y Salado junto con La construcción del carreteable Palermo-Sitio Nuevo ha sido otro factor que ha influido en la disminución del flujo de agua dulce al Complejo, debido a que las obras de drenaje construidas para permitir el paso del agua resultaron insuficientes.

6.1.5 Salinidad

La salinidad ha aumentado en varias áreas del complejo lagunar favorecida por:

- la sedimentación excesiva o la obstrucción de canales debido a procesos naturales, junto con el acarreo de limos en suspensión por el río Magdalena.

- La formación de mantos o costras salinas, debido a la capilaridad ascendente en suelos que estuvieron sometidos a encharcamientos temporales.
- Influencias externas como la obstrucción de caños que facilitan el flujo de agua dulce desde el río Magdalena, cambios inducidos en los patrones de drenaje y desecamiento de zonas intermareales próximos a bosques de mangle. (Sanchez, 1998).

A lo anterior se puede añadir (Gónima et al., 1998) la construcción de la carretera paralela a la margen oriental del río Magdalena entre Palermo-Sitio Nuevo en la década de los 70, con la consecuente obstrucción del flujo normal de agua del río hacia la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta pasando por la Ciénaga del Pajaraí.

Se ha observado y estimado por medio de balances y modelos, que el periodo de diciembre a mayo, es la temporada hidrológica de mínima precipitación y escorrentía de agua fresca. Es durante este periodo y especialmente durante los meses de marzo a abril, cuando pueden esperarse máximas concentraciones de sal en la ciénaga. Por el contrario, el periodo de junio a noviembre es húmedo y entre los meses de noviembre y diciembre se presentan las salinidades más bajas, siendo establecido para el periodo septiembre a diciembre una variación de salinidad entre el 2% y el 5% y entre enero a septiembre entre el 13% y el 25%. A pesar de las bajas salinidades registradas en algunos meses para el periodo evaluado, y de excesos de salinidad en periodos de fuerte sequía, la Ciénaga recupera muy rápidamente los valores medios más compatibles con el promedio multianual del 25% de la concentración marina.

6.1.6 Calidad del agua

Al consolidarse los aprovechamientos agroindustriales, se detectan altas concentraciones de algunos metales pesados y pesticidas en las ciénagas del complejo (organoclorados y organofosforados).

La falta de infraestructura sanitaria de los asentamientos humanos localizados en los alrededores de la Ciénaga y en el interior es un factor de contaminación permanente de sus aguas y de las especies que allí viven. A lo anterior se agrega la contaminación generada por agroquímicos provenientes de los distritos de riego de la Zona Bananera, que utilizan las aguas de los ríos que desembocan en la Ciénaga y bajan de la Sierra Nevada y los acarreados por el río Magdalena desde el interior del país.

6.2 Aspectos ecológicos

6.2.1 Estado trófico

En 1985 se registro por primera vez los florecimientos nocivos de dos especies de algas verdes azules en CGSM, causando mortalidad de peces y animales (Bula, 1985). Estos son los primeros indicios de cambios en el estado trófico en los humedales. (Wetzel, 2001).

Recientemente, en el informe INVEMAR (2015) se presentó una serie histórica de valores de oxígeno disuelto en el agua, los cuales muestran valores inferiores a $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 6.1), lo cual está relacionado con el hecho que a través de los tributarios de la SNSM que desembocan en la CGSM, se transportan cantidades considerables de materia orgánica, cuyo proceso de descomposición requiere de oxígeno disuelto. Los menores valores de OD medidos a lo largo del monitoreo están asociados a periodos de lluvias. A partir de 2001, se ha registrado una disminución progresiva del OD asociado a la

elevada carga de materia orgánica que ingresa al sistema proveniente del río Magdalena.

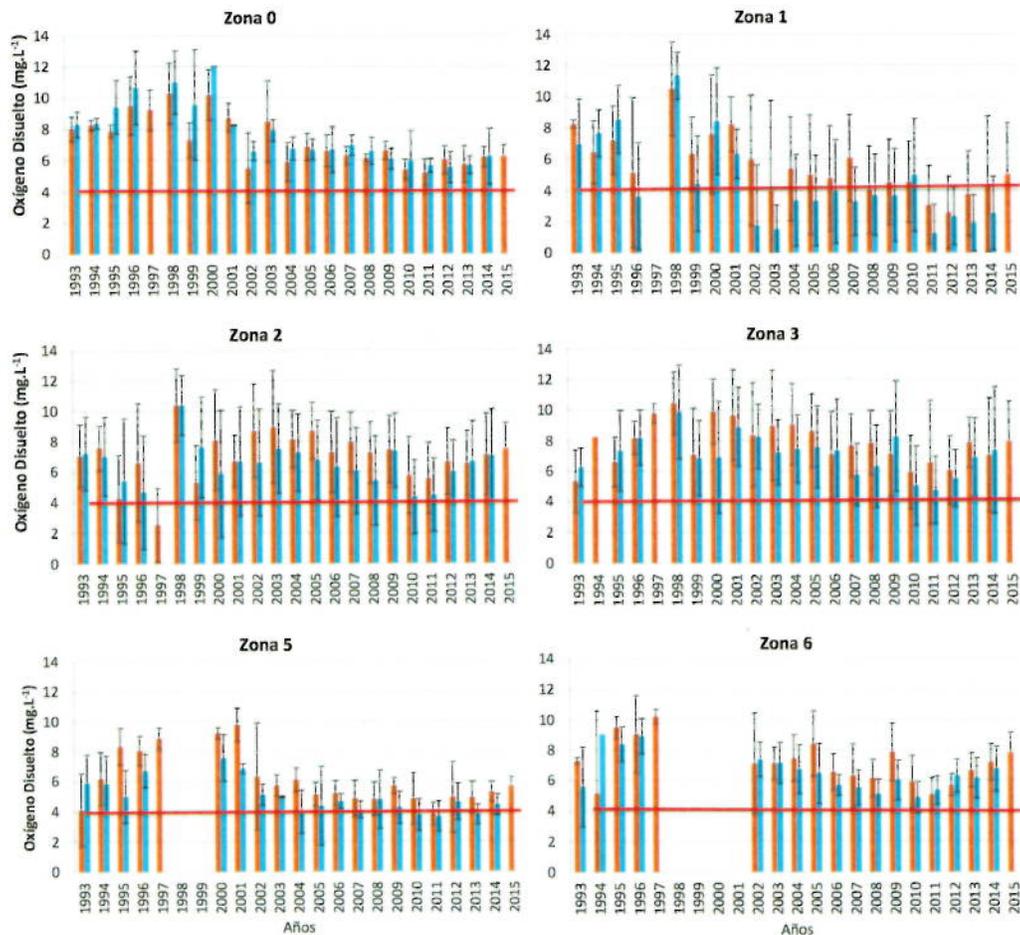


Figura 6.1. Valores históricos (1993 – 2015) de oxígeno disuelto del agua superficial (mg.L⁻¹) en seis zonas de la CGSM. Las barras naranjas representan la época seca y las azules la época lluviosa. Las barras negras corresponden a la desviación respecto al valor promedio en zonas donde se monitoreó más de una estación. La línea roja representa el límite permisible según la legislación colombiana (4,0 mg.L⁻¹). Fuente: INVEMAR (2015)

En relación a la variabilidad temporal de la concentración de clorofila a, cuya información y resultados pueden ser útiles para entender la condición del agua superficial de CGSM, ya que su concentración está relacionada con la biomasa y con eventuales florecimientos algales y procesos de eutrofización. La serie de histórica de clorofila desde 1993 a 2015 (Figura 6.2), muestra valores frecuentes que sobrepasan el umbral de 30 µg.L⁻¹, que da cuenta de un estado eutrófico-hipereutrófico (US EPA, 2002).

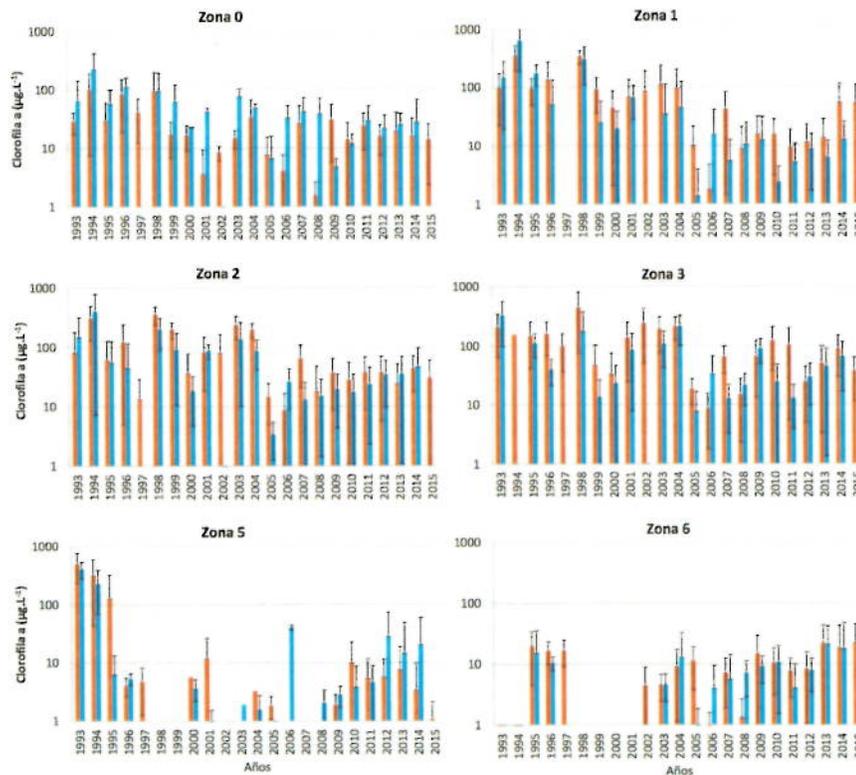


Figura 6.2. Valores históricos de clorofila *a* del agua superficial en seis zonas de la CGSM, desde 1993 hasta la época seca de 2015. Las barras naranjas representan la época seca y las azules la época lluviosa. Las barras negras corresponden a la desviación respecto al valor promedio en zonas donde se monitoreó más de una estación. Fuente: INVEMAR, 2015.

Los valores de oxígeno disuelto en el agua y clorofila *a* que se han registrado desde 1993, muestran cambios significativos en el estado trófico del CGSM, registrando rangos hipereutróficos. Cambios consistentes con las modificaciones en la composición de la flora y fauna acuática del humedal.

6.2.2 Flora y vegetación

Desde 1956 y con énfasis a mediados de los 70, la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta ha sido objeto de un grave proceso de alteración y deterioro de sus ecosistemas, evidenciado inicialmente por la hipersalinización de las aguas y suelos. Esta ecorregión, constituida por la planicie de inundación oriental del río Magdalena, el complejo de ciénagas de Pajarales, la Ciénaga Grande de Santa Marta, el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la isla de Salamanca (antes Parque Nacional y hoy constituida como Vía Parque Isla de Salamanca), sufrió la mortalidad masiva, paulatina y continuada de los árboles de mangle y la disminución de la productividad biológica de sus ecosistemas de manglar (Botero-Arboleda y Salzwedel, 1999; INVEMAR 2004).

El ecosistema lagunar y de bosques de manglar del Delta Exterior del Río Magdalena-Ciénaga Grande de Santa Marta, es uno de los sistemas de mayor interés social y económico de la costa norte colombiana, pues cerca de 4000 personas dependen directamente de recursos hidrobiológico del mismo (Díaz et al, 1995). En 1956, el total del bosque de manglar vivo y sano en la región abarcaba 52.000 ha, en los últimos 30 años, este bosque ha experimentado una mortalidad progresiva, que en la actualidad ha alcanzado niveles masivos. Díaz et al (1995) señala como causa principal de la muerte del manglar a la construcción de la carretera Ciénaga-Barranquilla y al cierre y/o colmatación de los caños provenientes del río Magdalena al complejo lagunar. La tasa de mortalidad se ha acelerado con el transcurrir del tiempo siendo para el lapso de 1987 a 1993 de aproximadamente 886 ha/año. En diciembre de 1993 se registraba un total de 21.778 ha de bosque muerto.

En un estudio desarrollado por INVEMAR (2004), se señala que en 1968 se advirtió el inicio del proceso degradativo de los bosques de mangle, en el sector occidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Se registraron las primeras zonas desprovistas de vegetación y playones salinos en las márgenes de los caños Clarín Nuevo, Bristol y Tambor y entre éstos y las ciénagas del complejo Pajarales. Así, se hicieron evidentes cinturones de mangle vivo formados principalmente por *Rhizophora mangle* que bordeaban las orillas de las ciénagas, y detrás de estos cinturones se extendían playones sin vegetación, o seguidos por árboles muertos. González (1991) estimó la cobertura de bosque de mangle para 1968 en 49.000 hectáreas (Figura 6.3)

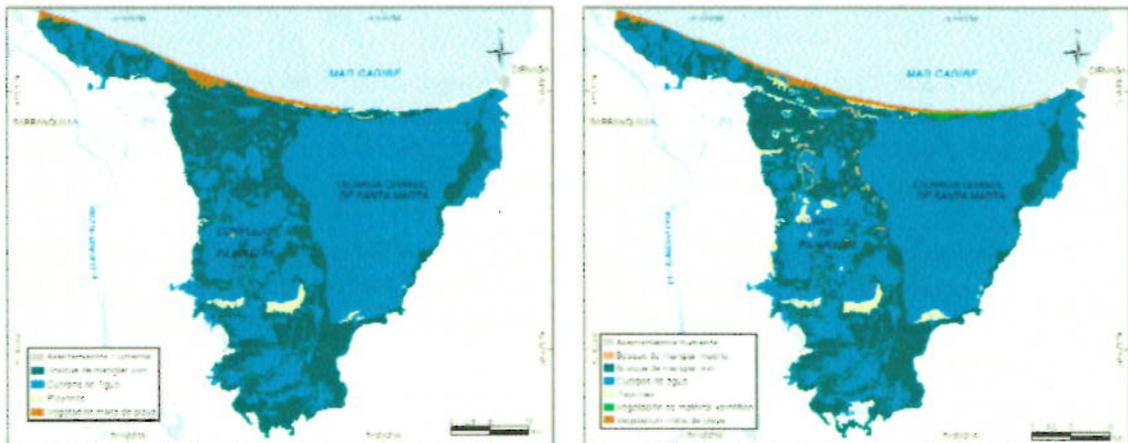


Figura 6.3. Mapa de la distribución del bosque de mangle y otros tipos de vegetación de la ecoregión de Ciénaga Grande de Santa Marta. a) 1956 y b) 1968. Fuente: INVEMAR, 2004.

De los estudios de Sánchez, (1988) se identificaron los siguientes factores como determinantes y causantes de la pérdida del balance halohídrico original en la isla de Salamanca:

- Capacidad insuficiente de los boxculvert de la carretera que cruza el Parque Nacional Isla de Salamanca y supresión de las rutas de flujo que permitían el paso de agua dulce suficiente al interior del parque.
- Condiciones macroclimáticas, con déficit hídrico (pluviosidad local con cuantía inferior a la evapotranspiración potencial anual calculada). Aumentos de la salinidad por evapotranspiración, determinada por una temperatura media isomegatérmica de unos 26 a 28 grados centígrados, elevada cuantía de brillo solar y frecuencia e intensidad de vientos.

- Sales contenidas en los suelos.
- Presencia de acuíferos salados e infiltración subterránea de agua desde el mar.
- Partículas de sal suspendidas en la atmósfera provenientes del mar y que eran transportadas por acción eólica o disueltas en el agua .

Los factores que favorecen la salinidad y que también han tenido su impacto en las condiciones ecológicas del manglar se han indicado en la sección 6.1.5.

Estudios recientes desarrollados por INVEMAR (2015), muestran la extensión total de manglar en los últimos 60 años y el cambio hacia una nueva tendencia al decrecimiento, siendo el año 2013 el punto de inflexión (figura 6.4). Desde 1956 hasta 1995, se observa la gran pérdida de cobertura de manglar debido a los bloqueos en los flujos hídricos, generados por la construcción de vías y otras obras de infraestructura que no tuvieron en cuenta mantener las conexiones hídricas del sistema; a partir de 1996, se muestra la ganancia y recuperación de la cobertura de manglar, gracias a las obras hidráulicas efectuadas en el proyecto PROCIENAGA, que tenían como objetivo recuperar los flujos hídricos, si bien en el año 2001 se presentó una clara disminución en la tasa de crecimiento; finalmente, entre el 2013 y 2015, se viene presentando un cambio en la tendencia de aumento de cobertura.

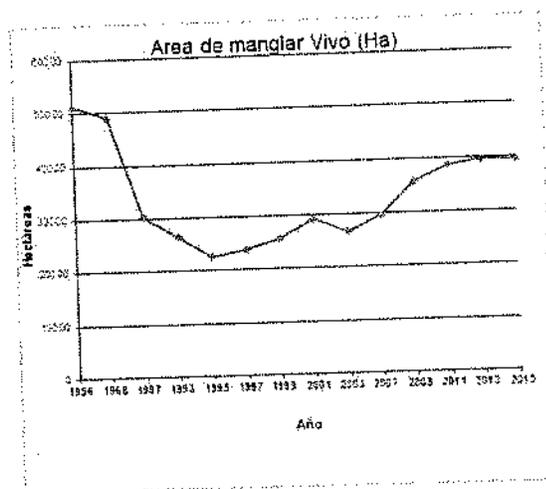


Figura 6.4. Cambios en la extensión de manglar entre 1956 y 2015. Fuente: INVEMAR 2015.

La pérdida de manglar ha tenido repercusiones significativas en todo el sistema lagunar-estuarino, no solamente por lo que pueda significar la disminución en su productividad primaria para la red trófica del ecosistema (Figura 6.5), sino lo que representa como pérdida de hábitat para un sin número de especies tanto acuáticas como terrestres y arbóreas (Botero y Mancera-Pineda, 1996).

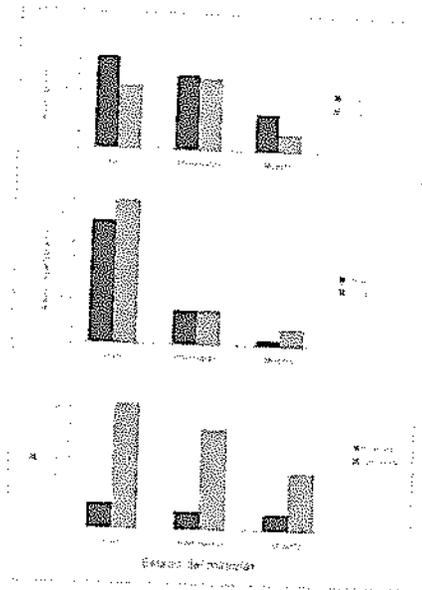


Figura 6.5. Riqueza de especies de peces, invertebrados y aves, asociados a manglar vivo, muerto y en estado intermedio de deterioro. Fuente: Botero y Mancera-Pineda (1996).

6.2.4 Fauna íctica (abundancia y distribución de especies, pérdida de hábitat para especies)

En la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta se han registrado unas 44 familias y 114 especies de peces, en una recopilación inicial de trabajos desde 1878 hasta 1985 (Álvarez y Blanco, 1985). Aún con los posibles problemas de identificación, esta estimación, ofrece un indicativo de cómo se componía la ictiofauna de este sistema lagunar antes que los manglares fueran severamente impactados y la hidrología de la CGSM se viera seriamente alterada, como sucedió a comienzos de los 90 (INVEMAR, 2004).

Otros estudios desarrollados en los años 1987 y 1988, dan cuenta de un total de 87 especies, 24 de ellas peces estuarinos. Estos son miembros de las familias Elopidae, Megalopidae, Engraulididae, Ariidae, Centropomidae, Carangidae, Gerreidae, Sciaenidae, Ehippidae, Mugilidae, Soleidae y Tetraodontidae (Santos y Acero, 1991). Posteriormente en 1992, se informa de 42 especies de 22 familias asociadas a las raíces del manglar de la CGSM en tres estados de deterioro ambiental (Santos, 1996). Hasta 1995 se había registrado un número total de 144 especies pertenecientes a 57 familias (Santos, 1996), que incluye peces marinos y dulceacuícolas ocasionales (65%) y dos tercios del total se encontraron en estado juvenil. Muchos son representativos de la composición de la ictiofauna asociada al manglar en el sistema y la mayoría (67%) corresponde a especies carnívoras. Casi toda esa ictiofauna depende directa o indirectamente del ecosistema de manglar, e interconectados por una compleja trama trófica. En un estudio realizado por Botero y Mancera-Pineda (1996), se determinó que entre los años 1987 y 1993, las poblaciones de peces disminuyeron en biomasa en un 70%, en abundancia en un 75% y en riqueza de la comunidad íctica en un 35% (Figura 6.6)

Entre los recursos pesqueros más importantes se destacaba la mojarra rayada (*Eugerres plumieri*), que, junto con *Mugil incilis* y *Cathorops mapale*, representaba entre los años 1994- 1996 alrededor del 80% de la captura total de pescado en la CGSM (Santos-Martínez y Viloria, 1998). Sin embargo, de 2000 a

2007 la ostra prácticamente desapareció como recurso (Figura 6.7) y la extracción de las tres especies de pescado descendió a 33% del total, con mayor disminución de *E. plumieri*, que pasó de un 23% del total en el período 1994-1996 a menos de 1% en 2007, de su pesquería, aunque no desapareció la especie. Siguió una reducción del esfuerzo pesquero en los artes que capturaban mojarra rayada (atarrayas y boliches) por desmotivación de pescadores ante la baja producción. Según lo indicado Viloria et al (2012), a pesar de la importancia de *E. plumieri* como recurso, la pesca no fue determinante en la disminución de la abundancia de la especie, sino una serie de eventos distintos en cascada: erosión en la SNSM, transporte de sedimentos por tributarios a la CGSM, enterramiento de los bancos y privación de alimento para la mojarra. Dada la importancia de *M. sallei* como alimento para la mojarra, la suerte de la ostra la siguió *M. sallei*, lo que afectó la capacidad de carga de la mojarra. Probablemente competencia por alimentarse en últimos bancos de ostra descubiertos, favoreció agregación de mojarra en áreas donde fueron presa más fácil para los pescadores, contribuyendo a la reducción de su población.

Un análisis integrado realizado por Invemar (2015) permitió identificar que los peces, moluscos y crustáceos, han respondido en forma diferente a las condiciones ambientales y el esfuerzo de pesca: I) La captura de peces, que mostró un impacto de corto plazo reflejado en un aumento significativo en 1999 y 2000 (Figura 6.8), no fue sostenible en los años subsiguientes con disminuciones y aumentos hasta 2006, a partir de cuándo se mostró una tendencia a la disminución que desde 2010 muestra valores relativamente constantes (4.755 t +/- 1.538 t); II) La captura de crustáceos representada principalmente por jaibas, ha mostrado una tendencia de aumento sostenido desde 2000 (795t +/- 101t), con un incremento promedio del 40% desde 2008 y hasta 2014; y III) la captura de los moluscos, representada exclusivamente por la almeja (*Polymesoda solida*), mostró un aumento sostenido entre 2002 (60 t) y 2005 (1.050 t), seguida de una disminución desde 2006 con una producción alrededor de las 200 t desde 2009. La composición interanual de la captura por especies de peces e invertebrados, permitió identificar cambios en la representatividad de las mismas, la cual entre 2002 – 2005 y 2014-2015, retornó a niveles similares al escenario anterior a las obras hidráulicas, con una pesquería sustentada en la extracción de especies estuarinas y marino-costeras. Sin embargo, entre 2006 y 2009, se presentaron aumentos en las capturas de especies dulceacuícolas como la mojarra lora, producto de la disminución de la salinidad en el ecosistema.

Entre los procesos que estarían afectando los hábitat de los recursos pesqueros, destacan la sedimentación y salinidad del agua en la CGSM (Viloria et al (2012), como factores naturales que afectaron los bancos. Sin embargo, mientras la salinidad puede variar, los sedimentos se acumulan y permanecen, dificultando la recuperación de las condiciones tróficas favorables para la ostra, para *M. sallei* y naturalmente para la mojarra. No se encontró evidencia de que la tilapia u otra especie invasora afectaran de algún modo a la mojarra rayada, o que compitiera con ella por alimento o espacio. En el análisis del colapso de otros recursos en sistemas lagunares similares a la CGSM, es necesario incluir, con visión ecosistémica, agentes bióticos y abióticos que razonablemente pueden perturbar su abundancia.



Figura 6.6. Cambios en la biomasa, abundancia y diversidad (número de especies) de la comunidad íctica de la CGSM entre los años 1987 y 1993). Fuente: Botero y Mancera-Pineda (1996)

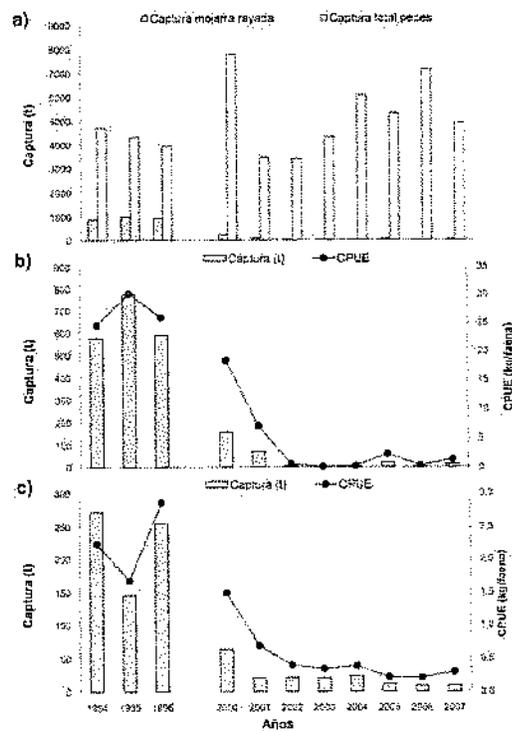


Figura 6.7. Variación interanual de la producción pesquera de la mojarra rayada en la Ciénaga Grande de Santa Marta. a) Capturas totales de peces contra captura mojarra rayada. b) Captura y abundancia relativa de mojarra rayada con boliche. c) Captura y abundancia relativa de mojarra rayada con atarraya. CPUE: captura por unidad de esfuerzo. Fuente: Viloria et al, 2012.

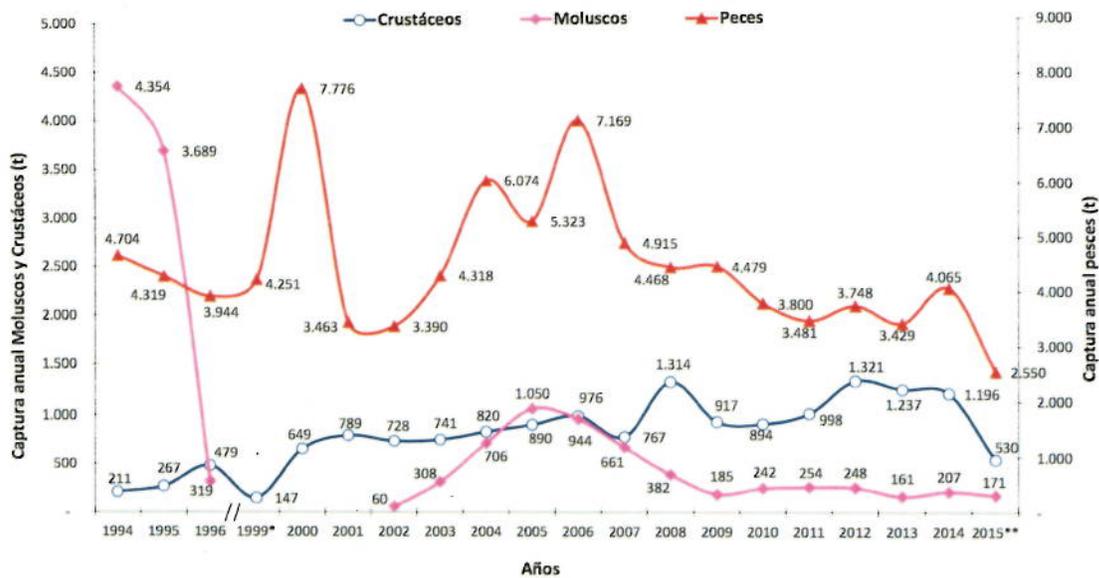


Figura 6.8. Tendencia de la captura total anual de peces, crustáceos y moluscos en la pesquería de la ecorregión CGSM. Fuente: INVEMAR (2015)

7. Vacíos de información

La revisión de los antecedentes disponibles y su integración a través de los modelos hídricos y ecosistémico, permitió establecer que los principales vacíos de información corresponden al balance hídrico de la cuenca hidrológica e hidrogeológica donde se encuentra inserto la CGSM, específicamente referido a los aspectos físicos siguientes:

- Caudales de intercambio de agua y sales, entre la CGSM y el mar, considerando la presencia de la Barra y sus modificaciones.
- Caudal de agua subterránea extraída desde las zonas agrícolas vecinas a la SNSM.
- Pérdida hídrica por evaporación y evapotranspiración desde la CGSM.

Lo anterior, es necesario para permitir el desarrollo de un modelo hídrico integrado de la cuenca, a partir del cual se puedan obtener estimaciones cuantitativas robustas de las entradas y salidas de caudal al CGSM, que puedan afectar el estado ecológico del humedal.

En términos ecológicos, se sugiere profundizar en los siguientes aspectos:

- Aportes de materia orgánica alóctona a la CGSM, desde fuentes difusas o directas.
- Aportes de nutrientes desde los sedimentos de los cuerpos de agua de la CGSM (recarga interna).

- Condiciones hidrodinámicas de los diferentes cuerpos de agua de la CGSM, considerando las conexiones hidráulicas entre ellas.
- Balance de sales, nutrientes y oxígeno disuelto en los diferentes cuerpos de agua de la CGSM.

Estos antecedentes analizados de manera integral y cuantitativa, permitirán identificar los procesos más importantes que explican el estado ecológico actual de la CGSM.

8. Conclusiones

De acuerdo a la Misión Ramsar y al análisis integral de los antecedentes disponibles para la CGSM, mediante un enfoque ecosistémico (físico-químico-ecológico) se plantean las siguientes conclusiones:

- a) Los elementos fundamentales en la dinámica hídrica del complejo deltaico de la CGSM son, en orden de importancia: (1) la conexión con el mar en la Boca de la Barra; (2) la conexión hidráulica con las vertientes de la Sierra Nevada de Santa Marta; (3) las conexiones con el Río Magdalena por la vía de los caños localizados al poniente; (4) el ciclo anual de los niveles y gastos del Río Magdalena con impacto directo en la llanura de inundación; (5) las variaciones anuales y decenales del ciclo hidrológico en la zona de influencia (lluvia, temperatura, evapotranspiración, caudales y variables climáticas); (6) el almacenamiento y los flujos de aguas subterráneas del acuífero Q-T2 localizado al oriente; y (7) los efectos antrópicos.
- b) El ingreso de agua dulce por el sistema de caños (naturales y artificiales) localizados al poniente del sistema lagunar de la CGSM dictan el comportamiento de la variación de la salinidad en las ciénagas.
- c) El ingreso de agua dulce proveniente de los ríos localizados al oriente del sistema lagunar de la CGSM es importante en la regulación hidráulica de la ciénaga grande de Santa Marta. El uso antrópico acelerado de esas aguas disminuyen los caudales disponibles para los ecosistemas de en la Ciénaga.
- d) El agua subterránea del acuífero Q-T2 (zona Bananera-Palmas) está sobreexplotado y es muy importante para mantener los flujos de base de varios de los ríos localizados al oriente de la CGSM. Más aun, el escurrimiento subterráneo más profundo de ese acuífero abastece a la Ciénaga GSM directamente y es primordial en su regulación hidráulica y concentración de la salinidad.
- e) Existen importantes incertidumbres en el balance hídrico del CGSM, en particular lo referido al caudal de intercambio entre el mar y la CGSM, así como las tasas de evaporación y evapotranspiración.
- f) El análisis de series hidrológicas de caudales del río Magdalena y de precipitaciones, permiten inferir que los cambios ecológicos observados en la CGSM tienen su origen fundamentalmente en efectos antrópicos. Las precipitaciones como principal recarga del sistema, se han mantenido relativamente constantes.
- g) Las obras de infraestructura hidráulica construidas para mantener los flujos desde el río Magdalena hacia la CGSM (caños), deben ser reevaluadas en términos de su capacidad para conducir los caudales requeridos para restaurar el estado ecológico del humedal, de acuerdo al

balance hídrico global de sistema, así como a los requerimientos financieros que permitan su mantenimiento.

- h) El proyecto de ampliación de la carretera Barranquilla-Santa Marta, requiere un enfoque integral teniendo en cuenta el estado actual de afectación de las características ecológicas del sitio Ramsar y analizar en detalle los efectos hidráulicos e hidrodinámicos del intercambio de agua y sales entre la CGSM y el mar, tanto superficial como subterráneo. Lo anterior, con motivo de no agudizar los actuales procesos de cambio en las características ecológicas en el humedal.
- i) Los aportes de agua subterránea desde la SNSM, ayudan a mantener en equilibrio la cuña de intrusión salina, evitando la salinización acelerada del acuífero, aguas y suelos del CGSM. En este contexto, es necesario evaluar el efecto sinérgico de la extracción de agua subterránea y superficial sobre el estado ecológico del humedal, desde las zonas agrícolas localizadas en la vertiente este del CGSM.
- j) El análisis del modelo conceptual de la dinámica hídrica presentado en el informe de la Misión de Asesoramiento, permite establecer al menos de manera preliminar, que los caudales requeridos para recuperar el estado ecológico de la CGSM, deberían ser de la misma magnitud que la recarga superficial que proviene desde la SNSM.
- k) El sitio Ramsar CGSM presenta fuertes cambios en sus características ecológicas (componentes de cobertura manglar, composición y abundancia de la comunidad fítica, estado trófico de las lagunas, salinidad del suelo y agua, cambios morfológicos e hidrológicos) los cuales responden a cambios espacio-temporales en los componentes del balance hídrico principalmente por la acción antropogénica.
- l) Los fuertes cambios en las características ecológicas del sitio Ramsar CGSM requiere la toma de medidas urgentes por parte del Gobierno de Colombia que permitan mantener y recuperar su carácter ecológico y alcanzar su uso racional de acuerdo a los objetivos de la Convención.

9. Recomendaciones

A continuación se presentan recomendaciones encaminadas al mantenimiento del carácter ecológico del sitio Ramsar CGSM

Aspectos de fortalecimiento e integración:

- a) Se sugiere la elaboración de una síntesis ejecutiva que integre todas las fuentes de información y datos más recientes (2016), lo cual serviría como referencia oficial y principal a considerar en cualquier forma de manejo, sea este, hidrológico, ecológico social u otro. Esa síntesis puede estar disponible al público en general de manera electrónica por Internet y deberá ser actualizada, por lo menos cada dos a tres años con información relevante tal como resultados del monitoreo, etc.
- b) Es de gran relevancia fortalecer la coordinación interinstitucional para el manejo y toma de decisiones respecto al Sitio Ramsar ya sea a través del Comité Interinstitucional o la

instancia más pertinente que considere el gobierno que permita la implementación coordinada de acciones prioritarias en el corto, mediano y largo plazo así como su seguimiento.

Aspectos de información:

- c) Es importante actualizar a la brevedad posible el modelo matemático del balance hidrológico integrado elaborado en 2003. Para ello se deberá tener más información de campo (caudales, niveles y bombeo de pozos, concentración de la salinidad) más detallada y más actualizada. Los esfuerzos de trabajo de campo son de extrema importancia para llegar a obtener una calibración más adecuada y confiable del modelo hidrodinámico. Este modelo permitirá evaluar cuantitativamente la factibilidad de las medidas de manejo propuestas, para recuperar el estado ecológico del humedal.
- d) Actualizar a la brevedad posible el balance del acuífero Q-T2 realizado en 1998 por medio de un modelo numérico tridimensional que permita cuantificar la interacción hidráulica con la CGSM y los efectos antropogénicos (usos del agua subterránea).
- e) Es de relevada importancia mantener actualizada la información sobre disponibilidad de caudales de los ríos que llegan a la CGSM y mejorar los sistemas de otorgamiento de concesiones de agua así como la realización de su respectivo seguimiento. Esto también se debería aplicar a las concesiones en el acuífero Q-T2.
- f) Se sugiere implementar un plan de monitoreo ecosistémico de carácter adaptivo e integrado que considere la puesta al día del modelo conceptual. El plan deberá incluir como mínimo el monitoreo de las siguientes variables: caudales de todos los ríos que interaccionan hidráulicamente con la CGSM, niveles de agua subterránea, concentración de la salinidad de las ciénagas y biomasa de microalgas (Clorofila a) con una adecuada representatividad espacial y temporal en espacio y tiempo. La frecuencia del monitoreo debería ser acorde a la tasa de los cambios que se observan en el humedal y tendientes a la instrumentación de la cuenca que permita un monitoreo semiautomático.
- g) Se sugiere la implementación de sistemas de alerta temprana de acuerdo a los lineamientos de la Convención y mediante la utilización de imágenes satelitales para monitorear la condición de cambios, tales como: usos del suelo (ej. LANDSAT, RadarSat2), cambios morfológicos y humedad de suelos (ej. SAR), cambios de almacenamiento de cuerpos de agua (ej. GRACE), parámetros hidroclimáticos (ej. MODIS).

Aspectos de manejo de las obras hidráulicas:

- h) Se sugiere reevaluar la operación de las obras hidráulicas de intercambio hídrico con el mar, para estimar los balances hídricos y de sales y elaborar un plan de mantenimiento de caños eficaz para mantenerlos abiertos y con gastos de diseño óptimo de acuerdo a los resultados del modelo matemático del balance hidrológico integrado.

Inclusión en el Registro de Montreux

- i) Dados los fuertes cambios en las características ecológicas del sitio Ramsar CGSM, se recomienda su inclusión en el Registro de Montreux.

10. Referencias bibliográficas

Álvarez, R. y J. Blanco. 1985. Composición de las comunidades ictiofaunísticas de los complejos lagunares y estuarinos de Bahía de Cartagena, Ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta. Caribe colombiano. Capítulo 25: 535-656. En: Yáñez-Arancibia (ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration. UNAM Press. Mexico. 653 p.

Audemard, F. y Audemard, F. 2002. Structure of the Merida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics* 345, 299-327.

Bernal, G., 1996. Caracterización geomorfológica de la Llanura deltaica del río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 25, 19-48.

Botero, L. y M. Marshall. 1994. Biodiversity with the living, dying, and dead mangrove forest of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia) Mote Marine Lab. Tech. Rep. 366. Sarasota, USA. Final Report: 1-34.

Botero, L., Mancera-Pineda, J.E. 1996. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurrido en los últimos 40 años en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia) *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 20: 467-474
Bula-Meyer, G., 1985. Florecimientos nocivos de algas verde-azules en dos lagunas del departamento del Magdalena. *Rev. Ing. Pes.*, vol 5, No. 1-2: pp. 89-99.

Cediel, F., Shaw, R. P. y Caceres, C. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean Block. En: C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics.* AAPG Memoir 79, 815- 848.

CORPAMAG. 1994. Inventario hidrológico. Proyecto Pro-Cienaga.

CORPAMAG. 1994. Aguas, inventario hidrológico. Plan de Manejo Ambiental del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

CORPAMAG. 2002. Componente hidrológico del sistema deltaico estuarino de la CGSM: Plan de manejo de la ciénaga grande de Santa Marta como sitio RAMSAR y reserva de la biosfera. Santa Marta D.T.C.H., enero de 2002.

Deeb-Sossa S. en C. 1993. Plan de recuperación del complejo lagunar de la CGSM. Diseño de obras hidráulicas. Informe final. Cálculos sedimentológicos. Anexo 5. Deeb Sossa S. en C.

Duncan, R.A. and Hargraves, R.B. 1984. Plate tectonic evolution of the Caribbean region in the mantle reference frame. *Geological Society of America Memoir*, 162, 81-93.

Gónima, L., J. E. Mancera-Pineda y L. Botero-Arboleda. 1998. Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. INVEMAR-Serie Publicaciones Especiales, 4, 52 p.

González-Afanador, E. 1991. El manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta: ecosistema en peligro de extinción. 21p. En: IGAC-Revista Colombia, sus gentes y sus regiones, 21: 2-21.

IDEAM, 2016. Serie de caudales del río Magdalena medidos en la estación Calamar. Base de datos enviados por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en septiembre 2016).

INDERENA 1978. Plan de emergencia para la restauración del Parque Nacional Isla de Salamanca. Mecanografiado. Bogotá, 42 p.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Andreis de Vives" INVEMAR. 2004. Los Manglares de la ecoregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente futuro. Serie Publicaciones Especiales N°11. Santa Marta.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Andreis de Vives" - INVEMAR. 2014. Evaluación de recursos pesqueros clave y medidas de manejo sugeridas para el Comité Ejecutivo de la Pesca. Concepto Técnico (CPT-VAR 015-14). Santa Marta, 54p.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Andreis de Vives" INVEMAR, 2015. Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe Técnico Final 2015, Volumen 14. Santa Marta.

INGEOMINAS, 1976. *Mapa Geológico de Colombia*, escala 1:1 500 000. INGEOMINAS, Bogotá.

INGEOMINAS, 1998. Evaluación hidrogeológica y contaminación de acuíferos de la zona bananera de Santa Marta, departamento de Magdalena.

LEH-LF, 1992, Citado por CORPAMAG (2002) sin proporcionar la referencia..

Lobo-Guerrero A., U., and Gilboa, Y., 1987. Groundwater in Colombia. *Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologiques*; 32, 2, 6/1987.

Mancera-Pineda, J. E., y J. Mendo, 1996. Population dynamics of the oyster *Crassostrea rhizophorae* from the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Fisheries Research*. 26: 139-148.

Martínez, 1993, Citado por Deeb Sossa (1993) sin proporcionar la referencia.

Mesa, O.J, G. Poveda & L.F. Carvajal, 1997. Introducción al clima de Colombia, Imprenta Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 390 PP.

Mejía J., 2002. Ciclo diario de la lluvia y ambientes atmosféricos en Sistemas Convectivos de Meso – Escala sobre Colombia y el Este del Océano Pacífico usando datos de la TRMM y del REANALISIS del NCEP/NCAR. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.

Ministerio del Medio Ambiente. 1998. Ficha informativa de los humedales de Ramsar. Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta. Colombia.

Vernette, G. 1985. La plate-forme continentale Caraïbe de Colombie (de débouche du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université de Bordeaux. 378 p.

Viloria, E., A. Acero P. y J. Blanco. 2012. El colapso de la pesquería de la mojarra rayada *Eugerres plumieri* (Pisces: Gerreidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta: ¿causas pesqueras, ambientales o biológicas? Bol. Invest. Mar. Cost., 41 (2): 399-428.

Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). San Diego, CA: Academic Press.

Wiedemann, H., U., 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: Physical Parameters and Geological History. Mitt. Inst. Colombo-Aleman Invest. Cient. 7, 85-119.

Ministerio del Medio Ambiente. 2004. Plan de Manejo para el Sitio Ramsar y Reserva de la Biosfera Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena - Ciénaga Grande de Santa Marta.

Muñera Vélez, Poveda, Posada, Montoya y Cardona, 2003. Dinámica hidrológica de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Avances en recursos hidráulicos No 10, Medellín, Colombia.

Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William, 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta, 124 p.

PROCIÉNAGA. 1993. Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Plan de recuperación y manejo del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, CORPAMAG/ CORPES-CA/ INVEMAR/ GTZ. Santa Marta, Magdalena. Informe Técnico, 11 p.

PROCIÉNAGA. 2001. Plan de Mantenimiento y Operación obras hidráulicas construidas en la Ciénaga Grande de Santa Marta. 58 p.

PROCIÉNAGA. 1994. Estudio de Impacto Ambiental – Reapertura de Canales en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena. Santa Marta.

Rivera-Monroy, V. H., Twilley, R. R., Mancera, E., Alcantara-Eguren, A., Castañeda-Moya, E., Casas, O., Reyes, P., Restrepo, J., Perdomo, L., Campos, E., Cotes, G., & Vilorio, E. (2006). Aventuras y Desventuras en Macondo: Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Ecotropicos*, 19, 72-93.

Sánchez-Páez, H. 1988. Hacia la salvación del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. *Trianea (Act. Cient. Técnica. INDERENA)*, 2: 505-525.

Santos-Martínez, A y A. Acero. 1991. Fish community of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia); composition and zoogeography. *Ichthyol. Explor. Freshwaters. Munich*. 2(3): 247-263.

Santos-Martínez, A. 1996. La diversidad íctica asociada a raíces de manglar en diferentes estados de conservación en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. En: Simposio Colombiano de Ictiología. Agosto de 1996, Barranquilla. p. 33-33.

Santos-Martínez, A. y E. Vilorio. 1998. Evaluación de los recursos pesqueros de la CGSM y CP. Caribe colombiano. Estadística pesquera nov/93-oct/96 (Reportes de la pesquería). 1-62. EN Santos-Martínez, A. y E. Vilorio (Eds.). Evaluación principales recursos pesqueros CGSM, Costa Caribe colombiana. Tomo I. Informe final, Colciencias, Invemar y GTZ-Prociénaga, Santa Marta. 200 p.

Serrano Diaz, L A; Botero, L; Cardona, P and Mancera-Pineda, J E. Estructura del manglar en el delta exterior del Río Magdalena-Ciénaga Grande de Ganta Marta, una zona tensionada por alteraciones del equilibrio hídrico. *Bol. investig. mar. Cost. [online]*. 1995, vol.24, n.1 [cited 2016-12-02], pp.135-164.

Taboada, A., Rivera, L. A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., y Rivera, C. 2000. Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and Intra Continental Deformation (Colombia). *Publicación Especial de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS)*, 28 pp.

Toussaint, J.F. 1996. Evolución geológica de Colombia durante el Cretácico: Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 277 p.

U.S. EPA. 2002. National Water Quality Inventory 2000 Report. August 2002. EPA-841-R-02-001. Office of Water, Washington, DC. www.epa.gov/305b (accessed July 3, 2007).