

IDENTIFICACIÓN DE FUENTES TERRESTRES DE CONTAMINACIÓN Y CÁLCULO DE LAS CARGAS DE CONTAMINANTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO*

Lizbeth Janet Vivas-Aguas¹, Luisa Fernanda Espinosa¹ y Luis Gerardo Parra Henríquez²

1 Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar). El Rodadero, Santa Marta, Colombia. janet.vivas@invemar.org.co, luisa.espinosa@invemar.org.co

2 Universidad del Magdalena, Programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Santa Marta, Colombia. lgerardoparra@gmail.com

RESUMEN

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es la laguna costera más importantes del Caribe colombiano. Es un ecosistema estratégico para la conservación de la biodiversidad mundial, declarado Reserva de la Biósfera y Sitio Ramsar. No obstante, es también considerada una región ambientalmente perturbada por amenazas naturales y antropogénicas que aumentan la contaminación y afectan la calidad ambiental del ecosistema. Con el propósito de tener información que contribuya al diagnóstico de la contaminación de la CGSM y su seguimiento ambiental, se evaluaron las fuentes terrestres contaminantes de este complejo lagunar en el período 1997-2006 y se calcularon las cargas de contaminantes que transportan el río Magdalena y los tributarios que bajan de la Sierra Nevada de Santa Marta, utilizando la metodología propuesta por el Programa Ambiental del Caribe del PNUMA y los datos del monitoreo histórico de calidad de aguas en el área de estudio. Así mismo, se calculó la carga doméstica, microbiológica y los residuos sólidos producidos por la población allí asentada. Los resultados indicaron que los recursos hídricos son los más afectados por la carga contaminante que proviene de los residuos domésticos, agrícolas e industriales, y que son arrastrados por los tributarios y las escorrentías. Estas fuentes inducen la contaminación orgánica que llega a la CGSM en términos de sólidos, nitrógeno, fósforo y microorganismos de origen fecal, los cuales generan riesgos para la salud humana, la flora y la fauna acuática. La identificación de estas fuentes y las cargas contaminantes sirven como soporte técnico para implementar medidas de manejo que permitan mejorar las condiciones ambientales y la calidad de vida de los pobladores en la CGSM.

PALABRAS CLAVES: Fuentes terrestres de contaminación, residuos domésticos, vertimientos, contaminación hídrica, Caribe colombiano.

* Contribución No. 1117 del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar).

ABSTRACT

Land-based pollution source identification and pollutant load quantification in the area of influence of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombian Caribbean. The Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) is the largest coastal lagoon in the Colombian Caribbean. Declared Biosphere Reserve and Ramsar Site, it is a strategic ecosystem for the conservation of global biodiversity. However, it is also considered an environmentally disturbed area due to natural and anthropogenic threats which increase pollution and affect the ecosystem's environmental quality. With the purpose of having information that contributes to the assessment and management of environmental pollution of the CGSM, land-based sources pollutions of the lagoon complex were evaluated in the period between 1997 and 2006; pollutant loads carried by the Magdalena river and tributaries flowing down from the Sierra Nevada de Santa Marta were calculated as well using the methodology proposed by UNEP's Caribbean Environment Programme and historical water quality monitoring data of the area. Loads were also calculated for domestic, microbiological and solid waste produced by the population of the study area. Results indicate that water resources are most affected by the pollution load from domestic, agricultural, and industrial waste which are carried by the tributaries and runoff. These sources induce organic pollution that reaches the CGSM in terms of solids, nitrogen, phosphorus, and fecal microorganisms, which generate risks to human health, and the aquatic flora and fauna. The identification of sources and pollutant loads serve as technical support to implement management measures that improve environmental conditions and to the life quality for residents in the CGSM.

KEYWORDS: Land-based sources of pollution, household waste, dumping, water pollution, Colombian Caribbean.

INTRODUCCIÓN

La contaminación en las zonas costeras está asociada a las descargas de los ríos y a varias fuentes terrestres (naturales y antropogénicas), algunas fácilmente distinguibles en el sitio de vertimiento —las fuentes directas— y otras cuyos desechos no tienen un punto visible de entrada pero que de igual forma causan alteración y degradación ambiental, denominadas fuentes difusas de contaminación (Escobar, 2002; Bocanegra *et al.*, 2003; Restrepo *et al.*, 2005). Las principales fuentes están estrechamente ligadas al crecimiento de las poblaciones humanas, al incremento de las actividades municipales, agrícolas e industriales que han convertido el manejo y control de los residuos líquidos y sólidos en un aspecto de vital importancia, dadas las implicaciones que se derivan a nivel ecológico, socioeconómico y de salubridad (Garay y Vélez, 2004; Taipe y Cabrera, 2006; Invemar, 2008a).

En el Caribe colombiano se ubica uno de los ecosistemas costeros más importantes, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) que, por sus características ecológicas, hidrológicas y geomorfológicas (Botero y Salzwedel, 1999), cumple importantes funciones ambientales (Botero y Mancera, 1996; Zamora *et al.*, 2007). La CGSM ha sido sometida a fuertes presiones y cambios ambientales a causa de la interrupción del intercambio hídrico entre el complejo

lagunar, el mar y el río Magdalena, debido a la construcción de las vías Ciénaga-Barranquilla, Medialuna-Pivijay-Salamina y Palermo-Sitio Nuevo (Botero y Salzwedel, 1999; Twilley *et al.*, 1999), el deterioro de las cuencas hidrográficas de los ríos que desembocan en la ciénaga, la sobreexplotación del manglar y los recursos pesqueros (Blanco *et al.*, 2007; Rueda *et al.*, 2007; Zamora *et al.*, 2007, Narváez *et al.*, 2008a), la disposición inadecuada de vertimientos domésticos y residuos de actividades agroindustriales desarrolladas en el área de influencia y la sobreexplotación del acuífero en la zona bananera. Todos estos factores han ocasionado que estos ríos aporten menos agua dulce y mayor cantidad de sedimentos (Marín *et al.*, 2004; Invemar, 2008b) deteriorándolos progresivamente. Como contribución al conocimiento de los cambios en las condiciones ambientales del área de influencia de la CGSM, para fortalecer el sistema de monitoreo y aportar información que sirva de apoyo en el diagnóstico durante la rehabilitación, se identificaron y evaluaron las principales fuentes terrestres de contaminación con el propósito de aportar herramientas para el diseño de estrategias de manejo y conservación de la CGSM.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se desarrolló en el área de influencia de la CGSM, localizada al norte de Colombia entre 10°43'-11°00'N y 74°16'-38'W (Figura 1). Este sistema delta-lagunar está constituido por el espejo lagunar (450 km²), el llamado Complejo Pajarales (120 km²), varias lagunas conectadas por canales y la isla de Salamanca —una barrera de arena, dunas y manglar que separa el complejo lagunar del mar Caribe—. Los cuerpos de agua cubren un área aproximada de 1280 km² entre el sistema estuarino de lagunas costeras, arroyos y pantanos, con una profundidad media de 1.5 m aproximadamente (Gónima *et al.*, 1998; Mancera *et al.*, 2001; Lozano-Rivera y Sierra-Correa, 2005).

El área de influencia administrativamente incluye doce municipios del departamento del Magdalena —Aracataca, Ciénaga, Cerro de San Antonio, Concordia, El Piñón, El Retén, Pivijay, Pueblo Viejo, Remolino, Salamina, Sitio Nuevo y Zona Bananera (Bravo y Álvarez-León, 2004; Corpamag, 2008)— y circunscribe tres poblaciones de tipo palafítico, una en el delta del río Aracataca (Trojas de Cataca) y dos en el Complejo de Pajarales (Nueva Venecia y Buenavista), que carecen de servicios básicos de acueducto y alcantarillado (Botero y Salzwedel, 1999; Marín, 2003).

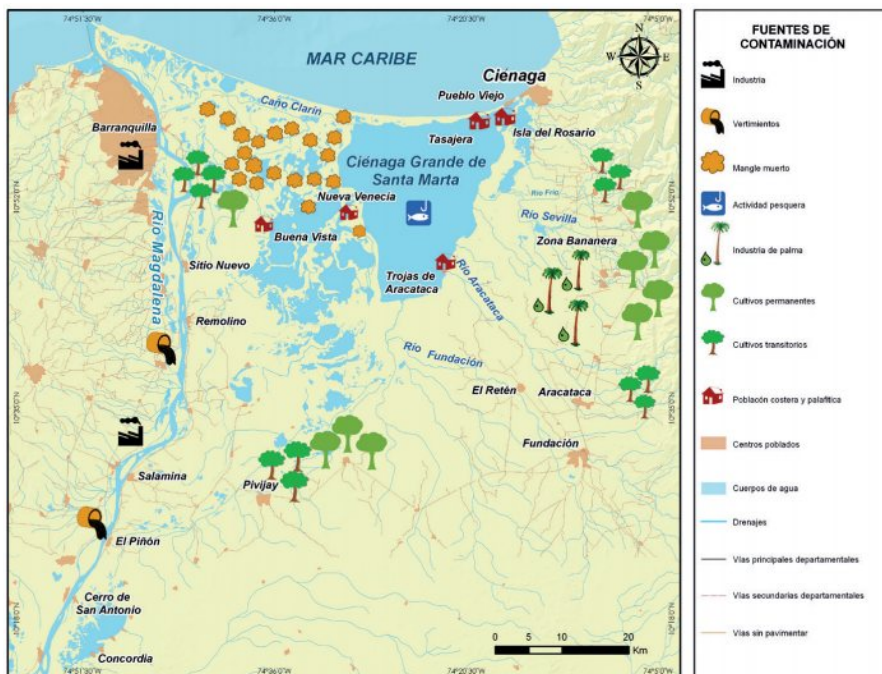


Figura 1. Mapa de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta, en donde se señalan las fuentes terrestres de contaminación identificadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes y análisis de información

El inventario de las fuentes terrestres de contaminación de la CGSM se realizó tomando información secundaria; los diferentes tipos de industrias y actividades económicas se obtuvieron del censo de 2005 (DANE, 2008b). Las actividades se discriminaron teniendo en cuenta la división mayor (dos dígitos) de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU) y los lineamientos de las Naciones Unidas (versión 3) adaptados para Colombia (Ideam y Dadma, 2002; DANE, 2008b). Los cultivos se agruparon por tipo y cantidad en nueve grupos, según la mayor Clasificación Indicativa de Cultivos (CIC, versión 1.0) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2007).

Las cargas de contaminantes en el área de influencia de la CGSM se calcularon usando la información de caudales, población, vertidos domésticos, tipos de actividades económicas, cultivos presentes y las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto [NID: nitritos (NO_2^-) + nitratos (NO_3^-) + amonio (NH_4^+)], ortofosfatos (PO_4^{3-}), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes

termotolerantes (CTE), antiguamente denominados coliformes fecales. Los datos obtenidos se tabularon, se organizaron en matrices y se procesaron en Microsoft Excel y el programa R (R Development Core Team, 2008). Mediante análisis exploratorio de datos y gráficos de distribución y tendencia, se establecieron patrones espacio-temporales.

Los caudales de los ríos se obtuvieron de la red de estaciones hidrológicas que tiene el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam). Para el cálculo se tomó el promedio anual del caudal medido (m^3/s) en los ríos Aracataca, Sevilla y Fundación; en el caso de Caño Clarín (conexión con el río Magdalena evaluada en el presente estudio) se tomó el caudal documentado por Prociénaga (1993).

Las concentraciones de NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SST y CTE se obtuvieron del monitoreo bimensual de variables de calidad de aguas del proyecto CGSM, en el período 1997-2008. Estas variables se midieron siguiendo las metodologías del manual de técnicas analíticas de Garay *et al.* (2003). Los CTE se determinaron con la técnica de recuento indirecto en tubos múltiples de fermentación, expresado como número más probable en 100 mL de agua (NMP/100 mL) de acuerdo con la tabla de McGrady (APHA *et al.*, 2005). Las cargas de los ríos en toneladas por año (t/año) se calcularon multiplicando las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), PO_4^{3-} y SST por el caudal.

La carga doméstica se calculó con los factores de contribución diaria por persona asociada al material orgánico biodegradable en países tropicales (Mara, 1980; Metcalf y Eddy, 1998; UNEP y RCU/CEP, 2008) y la población proyectada a 2008 de cada uno de los 12 municipios que conforman el área de influencia de la CGSM (DANE, 2008a). Para los palafitos que no presentaban datos de población en las estadísticas del DANE, se emplearon los datos del Sistema de Identificación para Potenciales Beneficiarios de los Programas Sociales (Sisben), suministrados por el Departamento de Planeación de la Gobernación del Magdalena (Gobernación del Magdalena, 2008).

Para evaluar la carga de indicadores de contaminación fecal en las poblaciones de Isla del Rosario, Tasajera, Trojas de Aracataca (corregimiento de Pueblo Viejo), Buenavista y Nueva Venecia (corregimientos de Sitio Nuevo), fue necesario calcular el caudal teórico de vertimiento de acuerdo con el factor de consumo y el nivel de complejidad (Mindesarrollo, 2000a), multiplicado por el número de habitantes y la concentración promedio de CTE en el agua adyacente a la CGSM. La cantidad de residuos sólidos se calculó con el factor teórico de producción diaria por persona en áreas rurales y poblaciones menores de Colombia ($0.2 \text{ kg/habitante} \cdot \text{día}$; Mindesarrollo, 2000b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inventario de fuentes terrestres de contaminación

Agricultura. En el área de influencia de la CGSM, la agricultura es una actividad económica importante, con 38682 ha de cultivos permanentes y 6387 ha de cultivos transitorios (Marín *et al.*, 2004) donde el banano y la palma africana son los más representativos. En 2002, la palma africana tenía cerca de 22230 ha (Aguilera, 2002) y en 2007 el banano tenía 10500 ha sembradas, principalmente en los municipios de Zona Bananera, Aracataca, Ciénaga, El Retén y Pivijay (Augura, 2008). Aunque los 12 municipios presentan alguna vocación agrícola, Sitio Nuevo es el que tiene la mayor extensión de tierra de cultivo con 34.7%, seguido de Zona Bananera (22.9%), Aracataca (16.7%) y Pivijay (10.3%), los demás municipios no superan 7% y cultivan principalmente yuca, maíz, cebolla larga, mango y arroz (DANE, 2008b).

Los cultivos de gran escala requieren del uso intensivo de agroquímicos como fertilizantes y plaguicidas que constituyen una fuente potencial de contaminación del suelo y el agua (Li y Zhang, 1999). El grado de contaminación de estos agroquímicos depende principalmente de las condiciones climáticas, las prácticas agrícolas, los métodos de aplicación y las cantidades usadas en las tierras de cultivo (Escobar y García, 1995; Li y Zhang, 1999; Fernández, 2006). A la CGSM, estas sustancias llegan por escorrentía desde los ríos Magdalena, Fundación, Aracataca, Tucurínca, Sevilla, Frío y Orihueca y, una vez en el sistema lagunar, experimentan procesos de sedimentación y dilución en el agua (Marín *et al.*, 2004; Betancourt y Ramírez, 2005).

Industria manufacturera, comercio y servicios. La actividad manufacturera en la zona es incipiente, sin embargo hay 17 tipos diferentes de industrias, agrupadas en ocho sectores productivos, según la CIIU (Tabla 1), de los cuales 96.6% es del sector de alimentos y bebidas (DANE, 2008b). En el área de influencia de la CGSM hay 120 empresas procesadoras de frutas, legumbres, hortalizas y helados de frutas, con el mayor número de establecimientos en Zona Bananera (59), El Piñón (27) y Pivijay (12); 84 procesadoras de lácteos, de las cuales 60% se ubica en Pivijay, El Piñón y Concordia; 12 procesadoras de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos) ubicadas en Pueblo Viejo, Isla del Rosario y Ciénaga; y seis sitios con mataderos y que elaboran productos cárnicos en Zona Bananera, El Retén, Pivijay, Remolino y Sitio Nuevo, los cuales no cuentan con condiciones sanitarias óptimas para su funcionamiento.

Tabla 1. Tipos de industria por sector productivo en los municipios del área de influencia de la Ciénaga Grande de Santa Marta, según la Clasificación Internacional Industrial Uniforme. Fuentes: DANE (2008b), Ideam y Dadma (2002).

Sector productivo	Tipo de industria	Cantidad	
Alimentos y bebidas	Aceites y grasas	26	
	Aguardiente, alcohol etílico y licores en general	1	
	Alimentos de frutas, legumbres, hortalizas y helados de frutas	120	
	Alimentos preparados para animales, concentrados y forrajes	5	
	Almidones de maíz, arroz, yuca o papa	64	
	Azúcar de caña, refinada, sacarosa sólida o líquida	1	
	Chocolate, cacao, confites, bocadillos	12	
	Gaseosa, jugos empacados, agua mineral y hielo	72	
	Harina, sémola, avena, maíz, arroz y productos de molinería	59	
	Leche, crema, queso, mantequilla, arequipe y helados de leche	84	
	Panela y sus subproductos	9	
	Productos cárnicos y mataderos	6	
	Productos del mar	12	
	Vinos espumosos y aderezos	6	
	Fabricación de minerales no metálicos	Cemento, cal viva y apagada y yeso	1
	Maderas y construcciones	Aserraderos, plantas cepilladoras, madera y aserrín	3
	Metalúrgicas	Fundición de productos de hierro y acero	3
Papel	Papel y cartón	2	
Plástico y caucho	Artículos de plástico	3	
Reciclaje	Procesamiento de desperdicios, desechos metálicos y no metálicos	3	
Químicos	Explosivos, pólvora y fuegos artificiales	1	
	Jabones, detergentes, champú, laca para cabello y perfumes	1	

La producción y manipulación de alimentos genera aguas residuales, caracterizadas por contener variaciones significativas de pH y temperatura (Carrasquilla y Morillo, 1994; Aymerich, 2000; Espinal *et al.*, 2005) y cargas elevadas de sólidos en suspensión, materia orgánica, grasa y pesticidas (Conama, 1998; Correa *et al.*, 2002). En el proceso de producción de quesos, cremas y mantequilla, así como en el lavado de torres de secado, se generan residuos de fósforo y nitrógeno. Los residuos del procesamiento pesquero son principalmente sangre, aceites y grasas, vísceras y escamas, entre otras, que generan una carga contaminante de nutrientes y materia orgánica que demandan altas concentraciones de oxígeno para su descomposición (Romero, 2008). Gran parte de estos desechos

van a las redes de alcantarillado municipal o se vierten directamente a las fuentes de agua superficial cercanas, afectando el ambiente y la salud de los pobladores (Escobar y García, 1995; Escobar, 2002; Marín *et al.*, 2004; Restrepo, 2006). Los residuos de los sitios que elaboran productos cárnicos y de los mataderos se caracterizan por los altos niveles de DBO₅, DQO, nitrógeno, sólidos suspendidos, grasas, residuos sólidos y altas temperaturas (Alcaldía Municipal Zona Bananera, 2005; CNPL, 2008).

El comercio en el área de influencia de la CGSM es una actividad en pequeña escala que satisface la demanda local de cada municipio. La zona tiene 384 establecimientos comerciales, agrupados en cinco sectores productivos de acuerdo a la CIIU (DANE, 2008b). El mantenimiento de automotores es el sector más representativo, con 68.7%. Le sigue el comercio de combustible (13%), maderas y construcciones (13%), reciclaje (4.2%) y químicos (1%). Los establecimientos de comercio de combustible y mantenimiento de automóviles vierten al suelo hidrocarburos y aceites usados, catalogados como peligrosos para el ambiente y los seres vivos (Decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Ley 1252 de 2008 del Congreso de Colombia), ya que pueden contener metales pesados como cadmio, cromo y plomo entre otros, hidrocarburos aromáticos polinucleares, benceno y algunos solventes clorados. Otros contaminantes encontrados en los aceites usados son residuos inflamables, residuos tóxicos, residuos de pintura y baterías (MAVDT, 2006; Usepa, 2006).

En cuanto a las actividades económicas y de servicios, en el área de influencia de la CGSM hay 145 establecimientos, principalmente servicios de salud (59%), hotelería (39%) y tratamiento de aguas residuales (2%). Los servicios de salud cobran importancia ambiental por la clase de residuos líquidos y sólidos que generan, debido a que los hospitales y centros de salud de la zona tienen un manejo deficiente y disposición de residuos hospitalarios que en muchos casos se queman en hornos de alta temperatura, se entierran en el patio trasero de las instituciones o se tiran en botaderos a cielo abierto o en rellenos sanitarios (Alcaldía Municipal Aracataca, 2000; Alcaldía Municipal Pueblo Viejo, 2004; Alcaldía Municipal Zona Bananera, 2005), ocasionando contaminación por compuestos tóxicos y de fácil dispersión en aguas superficiales y subterráneas, los cuales son potencialmente peligrosos para la salud de las personas y el medio ambiente (Salas, 1999; Neveu y Matus, 2007).

La contaminación que llega al área de influencia de la CGSM pone de manifiesto que una parte importante de los contaminantes introducidos provienen de fuentes fijas, entre las que se destacan los residuos líquidos y sólidos de los

asentamientos humanos ubicados a la ribera del río Magdalena y los tributarios de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM); y de las fuentes difusas como la agricultura y la ganadería que generan contaminación por residuos de plaguicidas y fertilizantes, entre otros (Ramírez *et al.*, 2006; Invemar, 2008b). Algunas de estas fuentes se localizan cerca de la CGSM y otras provienen de actividades humanas que se realizan en la cuenca alta de los ríos (Figura 1).

Las fuentes terrestres de contaminación identificadas, unidas a los aportes naturales, introducen al complejo lagunar nutrientes, materia orgánica y sólidos en suspensión, que deterioran la calidad del agua. Si bien los nutrientes son importantes para la producción primaria, el exceso de estos podría exceder la capacidad de carga en la CGSM y favorecer la eutrofización (Mancera *et al.*, 2001; Escobar, 2002; Olsen *et al.*, 2007).

Cargas de contaminantes que ingresan al sistema lagunar CGSM

Durante el período 1997-2006 se descargaron al complejo lagunar CGSM en promedio 77 m³/s de aguas continentales superficiales, provenientes del río Magdalena a través de Caño Clarín (equivalente a 30%) y de los ríos Fundación (34%), Aracataca (17%) y Sevilla (19%) que bajan de la SNSM (Ideam, 2007). En el período analizado, estos afluentes aportaron en promedio 290 t/año de nitrógeno NID, 320 t/año de PO₄³⁻ y 266622 t/año de SST a la CGSM (Tabla 2). La contribución más significativa proviene de Caño Clarín, con 68% del aporte total de SST, 41% de NID y 17% de PO₄³⁻; de acuerdo con la carga de SST, le siguen en orden de importancia los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla con 15, 11 y 6%, respectivamente.

Fósforo inorgánico disuelto. El cálculo de los aportes de PO₄³⁻ a través de los ríos Aracataca, Fundación y Sevilla y del río Magdalena, a través de Caño Clarín, mostró cambios debidos a la variación del caudal (Tabla 2), los cuales dependieron principalmente de las precipitaciones (450 y 2500 mm; Ideam, 2000). El menor aporte de fósforo al sistema se calculó para 1997 en Caño Clarín (9 t/año) (Figura 2). En 1998, cuando aumentaron los aportes de agua del río Magdalena debidos a la apertura de los caños Aguas Negras y Renegado y el incremento de las lluvias debido a un intenso evento La Niña que se extendió hasta 2000, se observó un descenso del aporte de fósforo a través de los ríos de la SNSM (Figura 2) debido a un proceso de dilución y variación de las concentraciones de nutrientes en la columna de agua (Invemar, 2003, 2010), como fue registrado también por Sánchez y Zea (2000). En tanto que por Caño Clarín los aportes de fósforo aumentaron (Figuras 2 y 3), posiblemente por el arrastre de fósforo desde la cuenca alta del río Magdalena.

Tabla 2. Caudales (m³/día) de los ríos Aracataca, Fundación y Sevilla, y de Caño Clarín (río Magdalena; Prociénaga, 1993; Ideam, 2007) y cargas de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fósforo (PO₄³⁻) y sólidos suspendidos totales (SST), calculadas en el período 1997-2006. Los datos de concentraciones para el cálculo de las cargas se tomaron de Invemar (2009).

	Año	Aracataca	Fundación	Sevilla	Caño Clarín	Total CGSM
Caudal (m ³ /día)	1997	11.8	29.4	25.0	23	89
	1998	14.4	23.6	28.6	23	90
	1999	17.7	41.0	13.8	23	96
	2000	15.1	29.0	13.0	23	80
	2001	11.2	21.0	12.3	23	67
	2002	12.1	16.9	13.6	23	65
	2003	9.8	25.3	8.3	23	66
	2004	15.7	25.3	12.3	23	76
	2005	11.7	25.3	4.4	23	64
	2006	16.8	25.3	13.4	23	78
	Prom. Período	14	26	14	23	77
Carga NID (t/año)	1997	307	99	288	69	763
	1998	20	5	2	120	149
	1999	60	146	60	224	490
	2000	16	28	19	58	121
	2001	31	78	45	59	213
	2002	65	46	69	215	396
	2003	42	42	22	114	219
	2004	40	42	17	88	186
	2005	22	42	14	79	157
	2006	29	51	25	101	205
	Prom. Período	63	58	56	113	290
Carga de PO ₄ ³⁻ (t/año)	1997	259	391	190	9	849
	1998	11	44	28	146	229
	1999	42	159	95	12	308
	2000	68	148	57	92	365
	2001	60	153	71	158	441
	2002	72	117	62	34	284
	2003	36	93	29	35	193
	2004	35	62	50	29	176
	2005	24	69	15	18	126
	2006	47	95	43	48	234
	Prom. Período	65	133	64	58	320
Carga de SST (t/año)	1997	29930	62415	33945	217540	343830
	1998	33215	50735	26645	304045	414640
	1999	24012	61443	12605	139138	237198
	2000	36800	37180	29996	256309	360285
	2001	40014	76511	35503	137152	289181
	2002	46488	41177	6806	201399	295871
	2003	4640	26904	1389	186192	219125
	2004	31391	15162	11049	98790	156391
	2005	19411	36967	1698	93833	151911
	2006	2619	19685	3038	172450	197793
	Prom. Período	26852	42818	16267	180685	266622

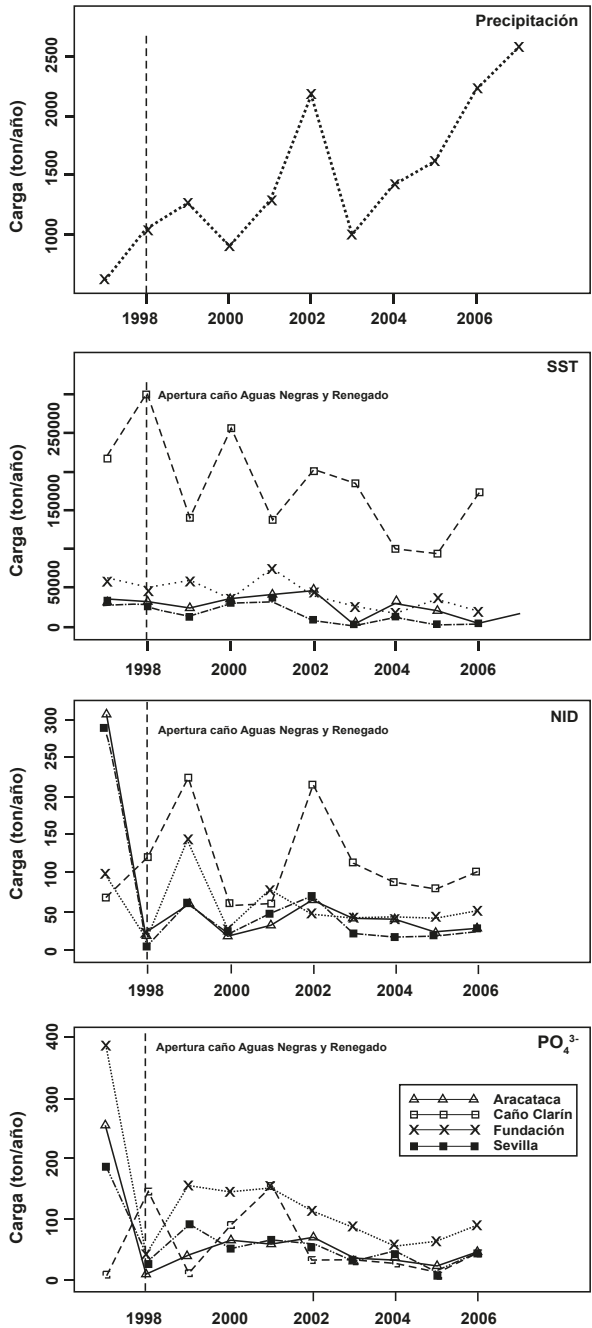


Figura 2. Variación interanual de la precipitación (mm) y las cargas (ton/año) de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fósforo inorgánico (PO₄³⁻) disuelto y sólidos suspendidos totales (SST), de los tributarios que llegan a la Ciénaga Grande de Santa Marta, durante el período 1997-2006.

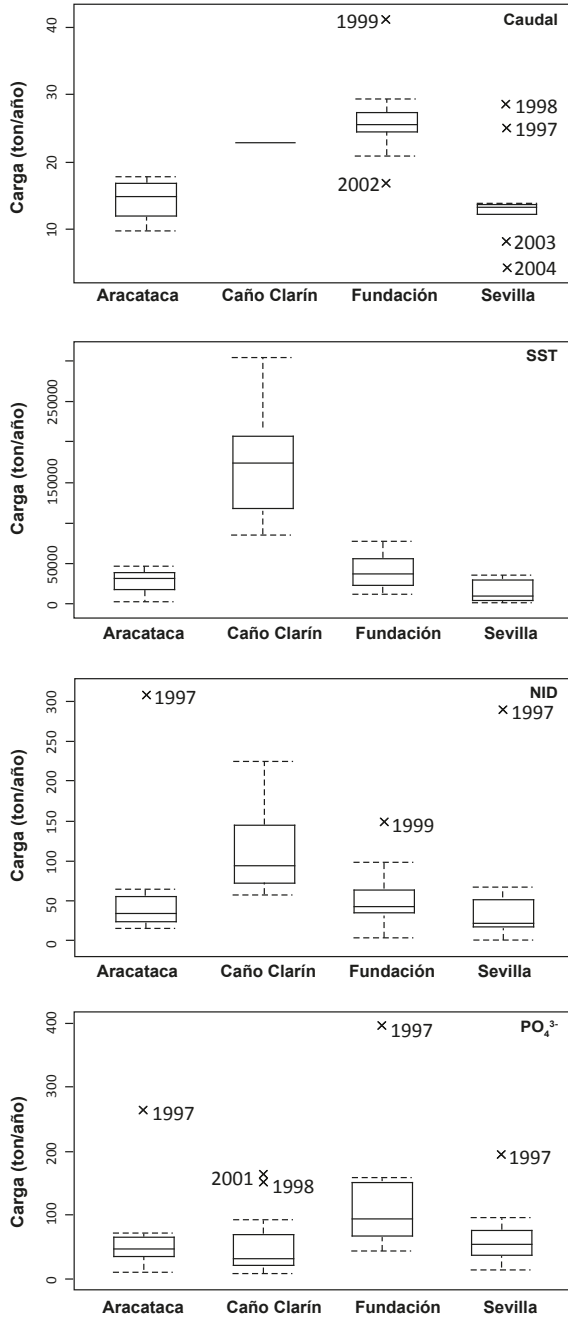


Figura 3. Distribución de valores atípicos (X) del caudal y las cargas (ton/año) de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), fósforo inorgánico disuelto (PO_4^{3-}) y sólidos suspendidos totales (SST) de los tributarios que llegaron a la Ciénaga Grande de Santa Marta durante el período 1997-2006.

Nitrógeno inorgánico disuelto. Durante el período de estudio (1997-2006) las mayores descargas de NID se calcularon para Caño Clarín, especialmente en 1999 y 2002, con valores de 224 y 215 t/año respectivamente (Figura 2), las cuales coincidieron con los picos máximos de precipitación, mientras que las más bajas se encontraron en el río Sevilla (Figura 3). Las descargas de NID, así como las de PO_4^{3-} , dependieron de las variaciones hidrológicas en el área (escorrentías) con valores atípicos altos en los ríos de la SNSM en 1997 y 1999 (Figura 3). Sánchez y Zea (2000) sugieren que en la época de escasez de flujo hídrico, los nutrientes se acumulan en el sedimento debido al escaso nivel de agua. Con los pulsos de agua dulce hay resuspensión de material particulado desde el sedimento, produciéndose un aporte adicional de nutrientes del bentos a la columna de agua (Toncel, 1983) lo cual induce valores extremos de nitrógeno en los tributarios y perturbaciones en el sistema lagunar (Navas *et al.*, 2002).

Sólidos suspendidos totales. En el período de estudio, las mayores descargas de SST se presentaron a través de Caño Clarín en un ámbito de 93833 a 304045 t/año (Figura 2 y 3), debido a que este caño recoge las aguas del río Magdalena que transportan una carga elevada de sedimentos del orden de 143.9 millones de t/año, equivalente a 86% de la carga total transportada por los ríos colombianos hacia el mar Caribe (Ideam, 2001; Restrepo *et al.*, 2005). Los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla sólo alcanzaron cargas de 76511, 46488 y 35503 t/año respectivamente; esto se explica por la diferencia entre la hidrología y geomorfologías de estas cuencas, en particular por la naturaleza y el tamaño de sus sedimentos y por las características de la cuenca de drenaje como área, relieve y temperatura (Toncel, 1983; Restrepo *et al.*, 2005).

Residuos domésticos. El inadecuado manejo y disposición de residuos sólidos y líquidos constituye una de las principales causas de alteración y modificación del ambiente (Bravo y Álvarez-León, 2004) debido a la generación de olores desagradables, lixiviados de basuras, insectos y otros vectores que transmiten enfermedades infecciosas o causan molestias como alergias o incremento de diarreas por la contaminación del agua de consumo y alimentos. Además, en algunas de estas poblaciones, las familias crían animales en las viviendas o en calles no pavimentadas, por lo cual los residuos domésticos contienen alta cantidad de estiércol y tierra (Cepis y OPS, 1996; Cepis, 2008).

Los 12 municipios que conforman el área de influencia de la CGSM albergan en total 358030 habitantes, de los cuales 65% vive en los municipios de Ciénaga, Zona Bananera, Aracataca y Pivijay (Figura 4). Se estima que estos municipios vierten alrededor de 0.7 m³/s de aguas residuales (Mindsarrollo, 2000a) debido a que la cobertura de alcantarillado no supera el 11% (DANE, 2008b). Un

alto porcentaje de la población vierte las aguas residuales a los cuerpos de agua superficial cercanos, algunos utilizan pozas sépticas; los asentamientos palafíticos las arrojan directamente a los esteros y al sistema lagunar, afectando el recurso hídrico y el ecosistema (Bravo y Álvarez-León, 2004; Marín *et al.*, 2004).

Las cargas de contaminantes calculadas para los 12 municipios fueron de 5489 t/año de materia orgánica en términos de DBO_5 y de 13068 t/año en términos de DQO; además 261 t/año de NID, 104 t/año de PO_4^{3-} y 9147 t/año de SST. Las mayores cargas de contaminantes domésticos en el área de influencia de la CGSM son producidas por el municipio de Ciénaga con 1573 t/año de DBO_5 , 3745 t/año de DQO, 74.9 t/año de NID, 2622 t/año de SST y 29.9 t/año de PO_4^{3-} ; seguidas por las de la Zona Bananera, Aracataca y Pivijay que le siguen en tamaño poblacional (DANE, 2008a; Figura 5).

Las cargas de CTE provenientes de las aguas residuales variaron entre años y sitios de muestreo, con valores atípicos principalmente en 2005 (54543 NMP/año en Isla del Rosario), 2007 y 2008 (Figura 6). El año 2006 se caracterizó por tener la mayor variación, descargando en total 44479 NMP/año de CTE a la CGSM (Tabla 3), sin ser el año en el que se realizaron las mayores descargas. A partir de 2007 se observa un patrón de descargas descendente (Figura 6a y 6b).

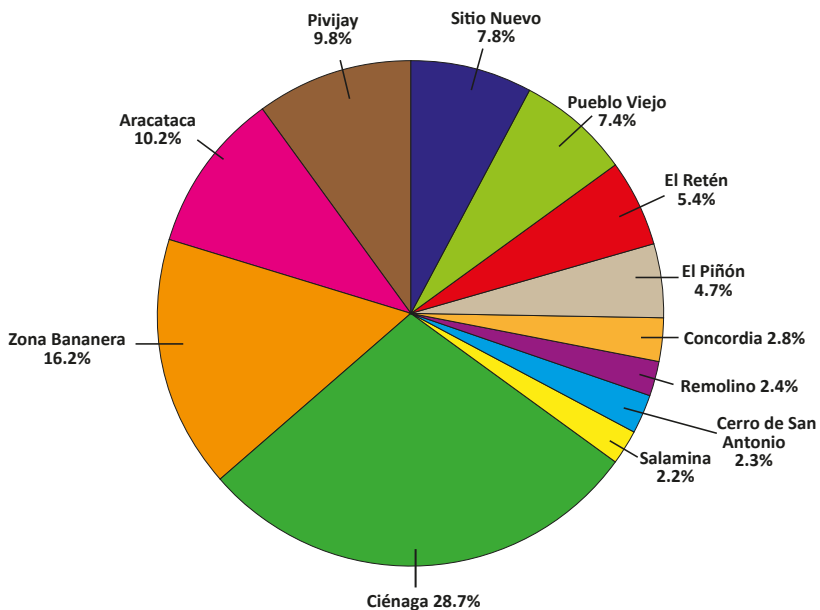


Figura 4. Distribución porcentual de la población que habita en los municipios aledaños a la Ciénaga Grande de Santa Marta, proyectada a 2008 según el censo general de 2005 (DANE, 2008a).

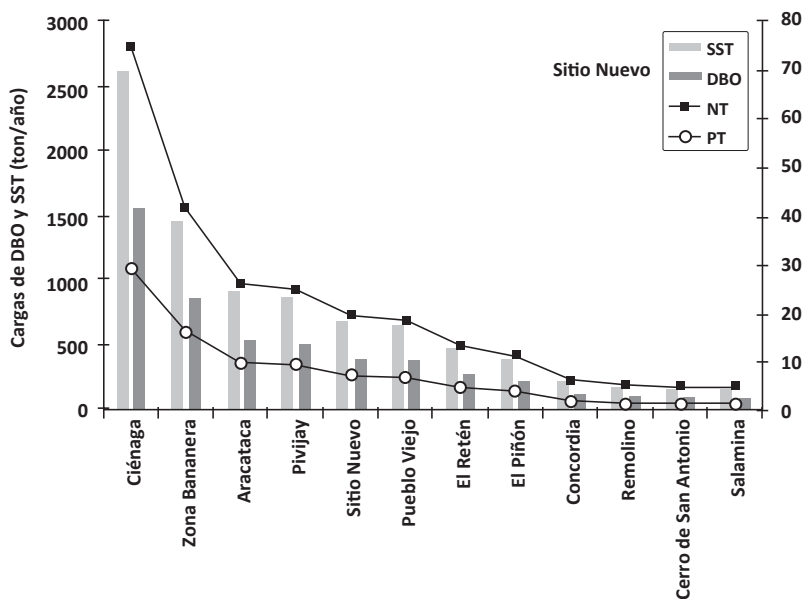


Figura 5. Carga de contaminantes domésticos (t/año) aportados por los 12 municipios aledaños al complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta. Para el cálculo se utilizaron los factores de contribución diaria por persona y la población proyectada a 2008. Fuente: Censo general de 2005 (DANE, 2008b). PT: Fósforo total; SST: Sólidos suspendidos totales; NT: Nitrógeno total; DQO: Demanda química de oxígeno; DBO: Demanda bioquímica de oxígeno.

Tabla 3. Carga de coliformes termotolerantes (CTE) calculada (t/año) con la concentración promedio anual de CTE medida por el proyecto CGSM entre 2004 y 2008, usando el caudal teórico de vertimiento de acuerdo al factor de consumo y al nivel de complejidad (Mindesarrollo, 2000a) y el número de habitantes.

Año	Nueva Venecia	Tasajera	Buenavista	Rosario	Trojas Aracataca	Total CGSM
2004	2697	10075	739	13708	1826	29044
2005	6654	13545	404	33151	789	54543
2006	3922	14875	1265	23265	1152	44479
2007	1913	3887	125	10363	1819	18107
2008	3961	1575	180	11973	291	17980
Máximo	6654	14875	1265	33151	1826	54543
Mínimo	1913	1575	125	10363	291	17980
Promedio	3829	8791	543	18492	1175	32831
Desv. Estándar	1800	5861	470	9606	665	16269

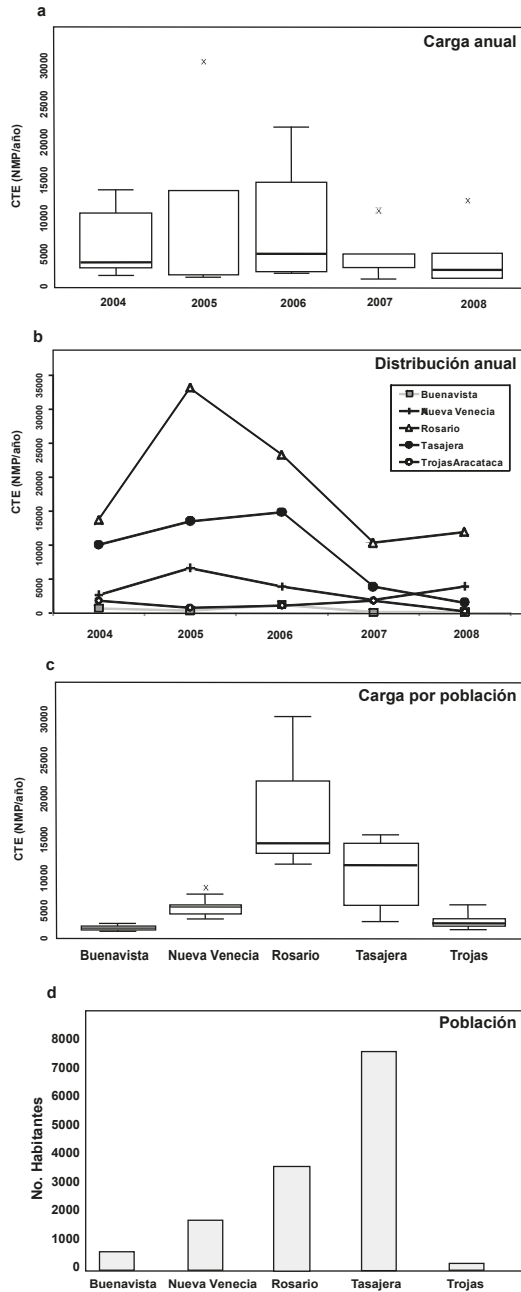


Figura 6. a. Carga anual de coliformes termotolerantes (CTE). b. Tendencia anual de las cargas de CTE. c. Distribución espacial de las cargas de CTE (NMP/año). d. Número de habitantes en las poblaciones de la Ciénaga Grande de Santa Marta durante el período 2004-2008. Fuente: Gobernación del Magdalena (2007). Las X representan los valores atípicos.

La mayor contribución de CTE se presentó en Isla del Rosario con 56.3% de la contaminación fecal anual en toneladas por año que llegó al complejo lagunar, seguido de Tasajera, Nueva Venecia y Trojas de Aracataca con 26.8, 11.7 y 3.6%, respectivamente. Sin embargo, aunque Trojas de Aracataca aportó una de las menores cargas de CTE (Figuras 6c), históricamente en esta estación se han registrado las concentraciones más altas (Invemar, 2005, 2006, 2007; Narváez *et al.*, 2008b), las cuales no se ven reflejadas en el valor ya que esta población tiene el menor número de habitantes (Figura 6d).

Entre 2004 y 2008 en Isla del Rosario y Tasajera se presentaron las mayores cargas de CTE (33151 y 14875 NMP/año respectivamente; Tabla 3, Figura 6b) debido a que estos dos municipios tienen el mayor número de habitantes (Figura 6d) y están influidos por la cercanía de los vertimientos de aguas residuales del municipio de Ciénaga (Figura 1). En el caso de los palafitos, Nueva Venecia fue el sitio que alcanzó las cargas más altas de CTE durante el monitoreo debido a los vertimientos directos de aguas servidas de la población y a la influencia directa del río Magdalena a través del caño Aguas Negras. En segundo lugar Trojas de Aracataca, lugar donde desemboca el río Aracataca que arrastra los residuos domésticos del municipio y los que vienen de la cuenca (Figura 1).

La carga microbiana depende de factores ambientales como el régimen de lluvias y la radiación solar (Noble *et al.*, 2003; Olyphant, 2005). En zonas de estuario, como la CGSM, los microorganismos tienden a depositarse en los sedimentos donde se acumulan en altas densidades y, debido al bajo nivel de la columna de agua, los cambios hidrodinámicos pueden removerlos y resuspenderlos fácilmente (Coulliette y Noble, 2008; Narváez *et al.*, 2008b).

En cuanto a los residuos sólidos, es común ver en las poblaciones adyacentes a la CGSM la acumulación de basuras que no solo deterioran el entorno paisajístico (Figura 7) sino que también se constituyen en un problema de salubridad. Los habitantes, por la falta del servicio de aseo, arrojan las basuras en espacios abiertos conformando basureros públicos o, en el peor de los casos, en las fuentes hídricas circundantes como acequias y quebradas (Alcaldía Municipal Aracataca, 2000; Alcaldía Municipal Pueblo Viejo, 2004). Según las estadísticas del DANE (2008b), de las 69042 viviendas ubicadas en los 12 municipios de la zona, 47% cuenta con servicio de aseo que les recogen los residuos sólidos, 40% quema la basura, 9% la dispone en lotes o zanjas y 2.8% la depositan en un río, caño, quebrada o laguna cercana (Alcaldía Municipal Aracataca, 2000; Alcaldía Municipal Zona Bananera, 2005).

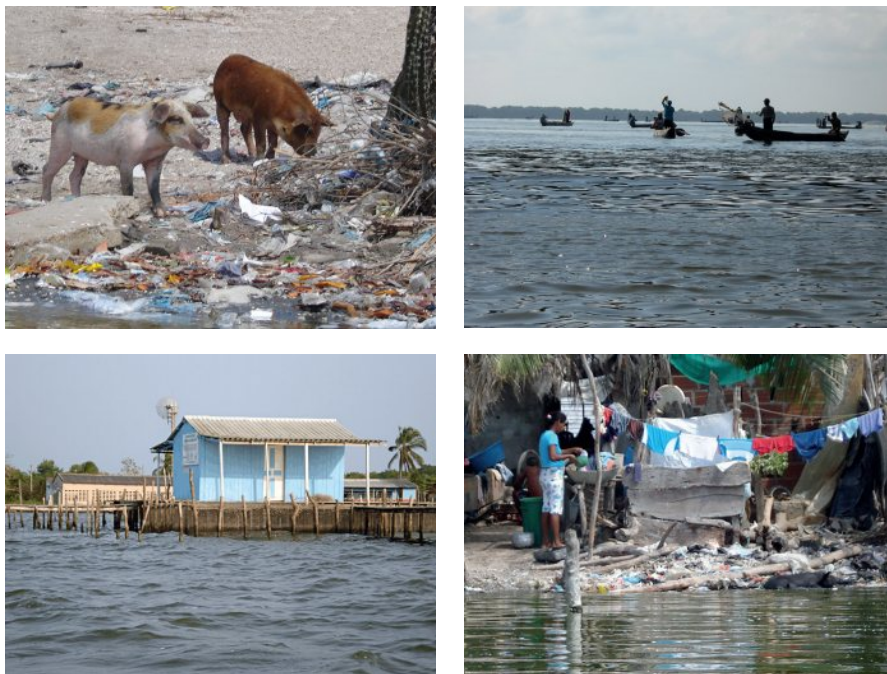


Figura 7. Panorama en las poblaciones costeras y palafíticas adyacentes al complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, donde se muestra la acumulación de residuos sólidos y los tipos de viviendas que carecen de infraestructura de saneamiento básico.

Los municipios aledaños al sistema lagunar CGSM produjeron 29800 t/año de residuos sólidos en 2008, siendo Ciénaga el mayor productor por la densidad de su población, seguido de Zona Bananera y Aracataca. Sin embargo, Sitio Nuevo y Pueblo Viejo son los que ejercen presión directa sobre el sistema lagunar porque tienen en su jurisdicción los pueblos costeros y los palafitos que en conjunto producen alrededor de 975 t de residuos sólidos al año, de los cuales una parte son arrojados directamente al agua. En Pueblo Viejo el servicio de aseo es deficiente, sólo cubre 40% de la población, los desechos se recogen y se depositan en un relleno sanitario que no tiene espacio suficiente, ni las condiciones ambientales adecuadas para cubrir la demanda del municipio (Alcaldía Municipal Pueblo Viejo, 2004).

CONCLUSIONES

Las principales fuentes domésticas que están impactando la CGSM son los residuos líquidos provenientes de las actividades de la población asentada en el área y de las poblaciones que se ubican en la cuenca alta de esta zona. En los asentamientos

palafíticos, donde los efluentes líquidos domésticos se descargan directamente a la laguna, se observa un impacto sobre la calidad microbiológica del agua, representado en un nivel de coliformes termotolerantes que supera ampliamente los límites máximos permisibles para aguas de contacto secundario de acuerdo con la legislación nacional.

Otra fuente de contaminación de la CGSM es la actividad agrícola por el uso de productos agroquímicos en los cultivos presentes en la zona. En menor escala, los vertimientos de industrias procesadoras de aceite de palma, productos pesqueros, mataderos, alimentos y lácteos y los residuos de aceite quemado, proveniente de establecimientos de mantenimiento de automóviles y lavaderos, que emiten diversos residuos y sustancias contaminantes. Las cargas elevadas de materia orgánica, microorganismos y líquidos lixiviados que llegan al complejo lagunar CGSM se deben a las condiciones inadecuadas de saneamiento básico de los asentamientos humanos de la zona aledaña y a las descargas directas de ríos como el Magdalena, a través de Caño Clarín y los tributarios de la SNSM que sirven de vía de entrada de contaminantes a la CGSM.

Debido a que las cargas de nutrientes inorgánicos disueltos y sólidos en suspensión en los ríos dependen del caudal, estas cargas estuvieron condicionadas por los cambios del régimen de lluvias producto de eventos naturales como El Niño o La Niña, y por actividades antrópicas como la apertura de los caños Aguas Negras y Renegado. El río Magdalena, a través de Caño Clarín, es el que más aporta nutrientes inorgánicos disueltos y sólidos en suspensión a la CGSM.

El análisis ambiental demostró que es necesario implementar medidas de manejo en la CGSM, donde se incluya la ampliación de la cobertura de los servicios de aseo, alcantarillado y mejoramiento del sistema de tratamiento y disposición final de aguas residuales. Fortalecer los programas de educación ambiental, con el objetivo de minimizar la producción de residuos sólidos, hacer uso eficiente del agua, y así mejorar las condiciones ambientales de la CGSM y la calidad de vida de los pobladores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Invermar en especial al Programa de Calidad Ambiental Marina y a su equipo técnico y científico por el apoyo en el desarrollo de la investigación; al hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y a la Corporación Autónoma Regional del Departamento del Magdalena (Corpamag), por la financiación del monitoreo de calidad de las aguas del complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta. Así mismo, al Departamento Administrativo Distrital del Medio Ambiente (Dadma), la Alcaldía de Santa Marta y la Gobernación del Magdalena por facilitar la información. A Silvia Narváez, Marcos Carvajalino y Marko Tosic por la colaboración en diferentes etapas de este trabajo. Finalmente, los autores agradecen a los evaluadores del manuscrito por sus aportes que permitieron mejorarlo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. 2002. Palma africana en la costa Caribe. Un semillero de empresas solidarias. Serie de Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, Banco de la República, Cartagena. 55 p.
- Alcaldía Municipal Aracataca. 2000. Plan básico de ordenamiento territorial 2000-2009. Tomo I, Capítulo II: sistema biofísico. Alcaldía Municipal de Aracataca, Aracataca, Colombia. 97 p.
- Alcaldía Municipal Pueblo Viejo. 2004. Esquema de ordenamiento territorial (EOT): dimensión biofísica-ambiental. Alcaldía Municipal de Pueblo Viejo, Pueblo Viejo, Colombia. 54 p.
- Alcaldía Municipal Zona Bananera. 2005. Plan de desarrollo municipal “Zona Bananera: nuestra empresa social” 2005-2007. Informe técnico, Alcaldía Municipal Zona Bananera, Zona Bananera, Colombia. 89 p.
- APHA, AWWA y WEF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF), Washington. 570 p.
- Augura. 2008. Coyuntura bananera colombiana 2007. Informe técnico, Asociación de Bananeros de Colombia (Augura). <<http://www.augura.com.co/>>. 20/08/2008.
- Aymerich, S. 2000. Tratamiento de residuos lácteos. Conceptos para el tratamiento de residuos lácteos. Consejo Nacional de Producción (CNP), Dirección Mercadeo y Agroindustria, San José. 19 p.
- Betancourt, J. M. y G. Ramírez. 2005. Estudio de los procesos relacionados con la presencia de plaguicidas organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Bol. Invest. Mar. Cost., 34: 121-139.
- Blanco, J. A., J. C. Narváez y E. A. Vilorio. 2007. ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in Northern Colombia. Fish. Res., 88: 100-108
- Bocanegra, E., J. L. del Río y A. López de Armenta. 2003. Geoindicator applied to the risk groundwater contamination due to urban expansion and externalities in Mar del Plata, Argentina. RMZ-Mat. Geoviron., 50 (1): 37-40.
- Botero, L. y J. Mancera. 1996. Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc., 20 (78): 465-474.
- Botero, L. y H. Salzwedel. 1999. Rehabilitation of the Ciénaga Grande de Santa Marta, a mangrove-estuarine system in the Caribbean coast of Colombia. Ocean Coast. Manage., 42: 243-256.
- Bravo, H. y R. Álvarez-León. 2004. Actividades antrópicas en los bosques de manglar de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta. 153-170. En: Garay, J., J. Restrepo, O. Casas, O. Solano y F. Newmark (Eds.). Los manglares de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente y futuro. Serie de Publicaciones Especiales No. 11, Invemar, Santa Marta. 236 p.
- Carrasquilla, M. y J. Morillo. 1994. Contaminación hídrica industrial en Colombia. 93-125. En: Sánchez, E. y E. Uribe (Eds.). Contaminación industrial en Colombia. Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Bogotá. 294 p.
- Cepis. 2008. Guía para el manejo de residuos sólidos en ciudades pequeñas y zonas rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis). <<http://www.cepis.ops-oms.org/cdrom-repi86/fulltexts/bvsacd/scan/pequena.pdf>>. 10/11/2008.

- Cepis y OPS. 1996. Análisis sectorial de residuos sólidos en Colombia. Plan regional de inversiones en ambiente y salud. Series Análisis Sectoriales No. 8, Ministerio de Medio Ambiente de Colombia, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis) y Organización Panamericana de la Salud (OPS). <<http://www.cepis.ops-oms.org/>>. 17/11/2008.
- CNPL. 2008. La industria procesadora de carne: mataderos. Centro Nacional de Producción más Limpia <<http://www.p2pays.org/>>. 19/08/2008.
- Conama. 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: industria procesadora de frutas y hortalizas. Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), Santiago de Chile. 37 p.
- Corpamag. 2008. Ecosistema Ciénaga Grande de Santa Marta. <<http://www.corpamag.gov.co/>>. 25/03/2008.
- Correa, C., C. Zapata y C. Bornhardt. 2002. Residuos líquidos. Recomendaciones técnicas para el mejoramiento del sistema de gestión de Riles en la industria procesadora de productos marinos. Mem. XXVIII Congr. Asoc. Interamer. Ing. Sanitaria Ambiental, Cancún. 8 p.
- Coulliette, D. A. y R. T. Noble. 2008. Impacts of rainfall on the water quality of the Newport River Estuary (Eastern North Carolina, USA). *J. Water Health*, 6: 473-482.
- DANE. 2008a. Proyecciones municipales de población 2005-2011, sexos y grupo de edad. <<http://www.dane.gov.co/>>. 26/02/2008.
- DANE. 2008b. Censo general 2005. Información básica. <<http://www.dane.gov.co/>>. 26/02/2008.
- Escobar, A. y R. García. 1995. Efectos ambientales de las actividades agroindustriales en la Zona Bananera, departamento del Magdalena: documento línea base para adelantar el proceso de concertación. Corporación Autónoma Regional del Magdalena (Corpamag), Santa Marta. 9 p.
- Escobar, J. 2002. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de los recursos naturales e infraestructura. Cepal, Santiago de Chile. 68 p.
- Espinal, C., H. Martínez y F. González. 2005. La cadena de lácteos en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Documento de trabajo No. 74, Observatorio Agrociudades Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá. 36 p.
- FAO. 2007. Un sistema integrado de censos y de encuestas agropecuarias. Volumen 1. Programa Mundial del Censo Agropecuario 2010. FAO, Roma. 174 p.
- Fernández, N. 2006. Índice de peligrosidad del efluente. Componente calidad de agua y suelo. Programa de Riego y Drenaje de la Provincia de Mendoza. Departamento General de Irrigación, Gobierno de Mendoza, Mendoza, Argentina. 48 p.
- Garay, J. A. y A. M. Vélez. 2004. Programa nacional de investigación, evaluación, prevención, reducción y control de fuentes terrestres y marinas de contaminación al mar (PNICM). Invemar, Santa Marta. 110 p.
- Garay, J., G. Ramírez, J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. Serie de Documentos Generales No. 13, Invemar, Santa Marta. 177 p.
- Gobernación del Magdalena. 2008. CD con bases de datos del Sisben aprobada por el Departamento Nacional de Planeación, noviembre de 2007. Gobernación del Magdalena, Santa Marta.

- Gónima, L., J. E. Mancera-Pineda y L. Botero. 1998. Aplicación de imágenes de satélite al diagnóstico ambiental de un complejo lagunar estuarino tropical: Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Invemar, Santa Marta. 56 p.
- Ideam. 2000. Reporte multianual de datos de precipitación para la estación meteorológica de Sevillano, Magdalena. Ideam, Bogotá.
- Ideam. 2001. Reporte multianual de caudales y sedimentos del río Magdalena, Estación Calamar (Atlántico). Ideam, Bogotá.
- Ideam. 2007. Base de datos de registros mensuales y multianuales de caudales de los ríos Sevilla, Aracataca y Fundación. Ideam, Bogotá.
- Ideam y Dadma. 2002. VI fase de seguimientos de efluentes industriales y corrientes superficiales de Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y Departamento Administrativo Distrital del Medio Ambiente (Dadma), Bogotá. 90 p.
- Invemar. 2003. 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, MAVDT, Invemar y Corpamag, Santa Marta. 70 p.
- Invemar. 2005. 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, MAVDT, Invemar y Corpamag, Santa Marta. 108 p.
- Invemar. 2006. 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, MAVDT, Invemar y Corpamag, Santa Marta. 95 p.
- Invemar. 2007. Monitoreo de las condiciones ambientales y 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, MAVDT, Invemar y Corpamag, Santa Marta. 105 p.
- Invemar. 2008a. 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, Invemar, Santa Marta. 102 p.
- Invemar. 2008b. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombianos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (Redcam). Informe técnico final, Invemar, Santa Marta. 296 p.
- Invemar. 2009. Sistema de información ambiental marina de Colombia (SIAM). Base de datos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (Redcam). <<http://www.invemar.org.co/siam/redcam>> 08/10/2009.
- Invemar. 2010. Monitoreo de las condiciones ambientales y 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, Invemar, Santa Marta. 113 p.
- Li, Y. y J. Zhang. 1999. Agricultural diffuse pollution from fertilisers and pesticides in China. *Water Sci. Technol*, 39 (3): 25-32.
- Lozano-Rivera, P. y P. C. Sierra-Correa. 2005. Propuesta metodológica para la delimitación de bosques de manglar a partir de datos satelitales utilizando Spring v 4.1, en la Reserva de Biósfera Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. 4285-4293. En: INPE (Ed.). *Memorias XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Brasil. 4568 p.

- Mancera, J. E., W. Troncoso, V. H. Rivera-Monroy, R. Twilley y R. Giraldo. 2001. Variaciones estacionales e interanuales durante los últimos 30 años en la calidad de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta: una laguna costera tropical de ambiente árido. IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar (Alicmar), San Andrés, Colombia. <<http://www.alicmar.org/congresos/>>. 07/10/2011.
- Mara, D. 1980. Sewage treatment in hot climates. John Wiley and Sons, Nueva York. 168 p.
- Marín, B. 2003. Las aguas de mi Ciénaga Grande. Descripción de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Serie de Documentos Generales No. 9, Invemar, Santa Marta. 36 p.
- Marín, B., J. Garay, G. Ramírez, W. Troncoso, M. Gómez y B. Cadavid. 2004. La calidad química y sanitaria de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta y su relación con los bosques de manglar. 115-133. En: Garay, J., J. Restrepo, O. Casas, O. Solano y F. Newmark (Eds.). Los manglares de la ecorregión Ciénaga Grande de Santa Marta: pasado, presente y futuro. Serie de Publicaciones Especiales No. 11, Invemar, Santa Marta. 236 p.
- MAVDT. 2006. Manual técnico para el manejo de aceites lubricantes usados en Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá. 90 p.
- Metcalf, L. y H. P. Eddy. 1998. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. 1. McGraw-Hill, Madrid. 504 p.
- Mindesarrollo. 2000a. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Sección I. Título A. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá. 97 p.
- Mindesarrollo. 2000b. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS-2000. Sección II. Sección II. Título F. Sistemas de aseo urbano. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá. 219 p.
- Narváez, J. C., F. Herrera y J. Blanco. 2008a. Efecto de los artes de pesca sobre el tamaño de los peces en una pesquería artesanal del Caribe colombiano. Bol. Invest. Mar. Cost., 37 (2): 163-187.
- Narváez, S., M. Gómez y J. Acosta. 2008b. Coliformes termotolerantes en aguas de las poblaciones costeras y palafíticas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Acta Biol. Colomb., 13 (3): 115-124.
- Navas, G. R., S. Zea y N. H. Campos. 2002. Comparación de los flujos de nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, obtenidos a partir de cámaras de incubación in situ e incubación de núcleos de sedimento en laboratorio. Ecología, 26 (101): 519-531.
- Neveu, C. y P. Matus. 2007. Residuos hospitalarios peligrosos en un centro de alta complejidad. Rev. Med. Chile., 35 (7): 885-895.
- Noble, R., S. Weisberg, M. Leecaster, C. Mgee, J. Dorsey, P. Vainik y V. Orozco-Borbón, 2003. Storm effects on regional beach water quality along the southern California shoreline. J. Water Health, 1 (1): 23-31.
- Olsen, S., T. Padma y B. Richter. 2007. Guía para el manejo del flujo de agua dulce a los estuarios. Usaid, The Nature Conservancy y Coastal Resources Center (CRC), Kingston. 52 p.
- Olyphant, G. 2005. Statistical basis for predicting the need for bacterially induced beach closures: emergence of a paradigm? Water Res., 39: 4953-4960.

- 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. Informe técnico, Corpamag, Corpesca, Inveimar y GTZ, Santa Marta. 11 p.
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <<http://www.R-project.org>>. 29/10/2009.
- Ramírez, G., L. J. Vivas, J. Garay y B. Marín. 2006. Inventario de fuentes terrestres fijas de contaminación sobre las áreas marinas y costeras del Caribe colombiano. Informe técnico, Inveimar, Santa Marta. 43 p.
- Restrepo, J. D., P. Zapata, J. M. Díaz, J. Garzón-Ferreira, C. García y J. C. Restrepo. 2005. Aportes fluviales al mar Caribe y evaluación preliminar del impacto sobre los ecosistemas costeros. 189-215. En: Restrepo, J. D. (Ed.). Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Universidad Eafit, Medellín. 266 p.
- Restrepo, M. 2006. Producción más limpia en la industria alimentaria. *Producción + Limpia*, 1 (1): 87-101.
- Romero, L. T. 2008. Aporte contaminante de las aguas residuales de la industria pesquera cubana y su impacto sobre el ecosistema. IV Taller Internacional Contaminación y Protección del Medio Ambiente (CONyMA 2008), Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), La Habana. <www.oceandocs.org/bitstream/.../Aporte%20Contaminante%20Aguas.pdf>. 04/05/2009.
- Rueda, M., J. Narváez, E. Viloria, N. Madrid, F. Rico y J. Blanco. 2007. Estado del conocimiento de los recursos sometidos a explotación. Recursos sometidos a explotación por pesca. 295-321. En: Inveimar (Ed.). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2006. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Inveimar, Santa Marta. 344 p.
- Salas, S. 1999. Gestión de residuos peligrosos hospitalarios. Seminario Internacional de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. Ministerio del Medio Ambiente y Programa Figau Banco Mundial. <<http://www.cepis.org.pe/>>. 15/10/2009.
- Sánchez, R. M. y S. Zea. 2000. Metabolismo del nitrógeno y fósforo inorgánicos disueltos en la columna de agua en una laguna costera tropical (Caribe colombiano). *Carib. J. Sci.*, 36 (1-2): 127-140.
- Taipe, M. y C. Cabrera. 2006. Identificación y evaluación de las principales fuentes de contaminación del río Vilcanota en el sector Calca Urubamba. *Rev. Inst. Investig. Fac. Minas Metal. Cienc. Geogr.*, 9 (17): 97-106.
- Toncel, G. M. 1983. Sedimentación y composición del seston en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis Biología, Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 169 p.
- Twilley, R., V. Rivera-Monroy, R. Chen y L. Botero. 1999. Adapting and ecological mangrove model to simulate trajectories in restoration ecology. *Mar. Poll. Bull.*, 37: 404-419.
- UNEP y RCU/CEP. 2008. Land-based sources and activities in the Wider Caribbean Region. Updated CEP technical report No. 33, Kingston. 71 p.
- Usepa. 2006. Manejando sus residuos peligrosos. Una guía para empresas pequeñas. Environmental Protection Agency United States, Washington. 33 p.
- Zamora, A. P., J. C. Narváez y L. M. Londoño. 2007. Evaluación económica de la pesquería artesanal de la Ciénaga Grande de Santa Marta y Complejo de Pajarales, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 36: 33-48.

FECHA DE RECEPCIÓN: 08/06/2010

FECHA DE ACEPTACIÓN: 30/10/2012