



República de Colombia
Ministerio del Medio Ambiente
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios
Ambientales

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION
DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA
AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR



Diciembre de 2001

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR

Coordinación Editorial:
IDEAM

Impresión y Encuadernación:
IDEAM

El presente estudio fue elaborado por el equipo técnico del IDEAM y contó con la colaboración del Programa de Las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Fotografía de la portada: Línea de costa del litoral Caribe. Sector de Punta Cascajal, municipio de Cartagena, Departamento de Bolívar (fotografía de Néstor J. Martínez)

IDEAM.
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Diagonal 97 No 17-60 pisos 1,2,3, 7 y 8
Teléfono: 635-60-07
A.A. 018633
Internet [http:// www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

Bogotá, D.C. , diciembre de 2001

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR

Documento Técnico de Soporte para:

PRIMERA COMUNICACION NACIONAL DE COLOMBIA
ANTE LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS
SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO

BOGOTA, DICIEMBRE DE 2001

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA
AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR

AUTORES

Néstor Javier Martínez A.

Kim G. Robertson D.

Omar Jaramillo R.

Marta Patricia Cuervo

Claudia Cano C.

Julia Esperanza Pardo

Luis Reinaldo Barreto P.

Max Toro B.

Zakik Murillo

Esteban Rozo P.

Germán Vargas C.

BOGOTA, DICIEMBRE DE 2001

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA
AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR

CREDITOS

COORDINACION:

MAURICIO E. RINCON ROMERO, Subdirector de Geomorfología y Suelos

INVESTIGACION:

NESTOR JAVIER MARTINEZ ARDILA. Geólogo, MSc Medio Ambiente y Desarrollo.
Profesional de la Subdirección de Geomorfología y Suelos.

KIM G. ROBERTSON. Ingeniero Geógrafo, MSc Ciencias de la Tierra, Especialista en
Geomorfología. Asesor del programa PNUD

OMAR JARAMILLO R. Geógrafo. Contratista de la Subdirección de Geomorfología y
Suelos.

MARTA PATRICIA CUERVO. Socióloga, Profesional de la Subdirección de Población y
Asentamientos Humanos.

CLAUDIA CANO. Antropóloga. Subdirección de Población y Asentamientos Humanos.

JULIA ESPERANZA PARDO. Ingeniera Agrónoma, Profesional de la Subdirección de
Ecología Económica.

LUIS REINALDO BARRETO. Ingeniero Químico, Profesional de la Subdirección de
Ecología Económica.

MAX TORO. Economista. MSc Medio Ambiente y Desarrollo. Profesional de la
Subdirección de Ecología Económica.

ZAKIK MURILLO. Antropólogo. Contratista de la Oficina de Etnias y Culturas.

ESTEBAN ROZO P. Antropólogo. Contratista de la Oficina de Etnias y Culturas.

GERMAN VARGAS C. Geólogo. Subdirección de Geomorfología y Suelos.

BOGOTA, DICIEMBRE DE 2001

VULNERABILIDAD Y ADAPTACION DE LA ZONA COSTERA COLOMBIANA AL ASCENSO ACELERADO DEL NIVEL DEL MAR

TABLA DE CONTENIDO

CREDITOS	
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Zona de estudio.....	2
1.2. Alcances de la investigación.....	4
1.3. Marco metodológico.....	4
1.3.1. Manejo de la información.....	5
1.3.2. Análisis y zonificación de la susceptibilidad.....	6
1.3.3. Análisis y zonificación de la amenaza.....	6
1.3.4. Escenarios de vulnerabilidad.....	7
1.4. Vulnerabilidad de los elementos expuestos.....	7
1.4.1. Censo de los elementos potencialmente expuestos.....	7
1.4.2. Nivel de daño.....	8
1.4.3. Determinación de la vulnerabilidad.....	8
2. CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA COSTERA.....	9
2.1. Costa del Caribe.....	9
2.2. Costa del Pacífico.....	10
2.3. Zona insular de San Andrés.....	12
3. IMPACTOS BIOFÍSICOS POR EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR.....	14
3.1. Erosión de la línea de costa.....	14
3.1.1. Susceptibilidad a la erosión del litoral Caribe.....	15
3.1.2. Susceptibilidad a la erosión del litoral Pacífico.....	15
3.2. Inundación del litoral.....	17
3.2.1. Susceptibilidad a la inundación.....	17
3.2.1.1. Susceptibilidad a la inundación del litoral Caribe.....	18
3.2.1.2. Susceptibilidad a la inundación del litoral Pacífico.....	18
3.2.2. Definición de la amenaza por inundación.....	18
3.2.2.1. Amenaza por inundación del litoral Caribe.....	21
3.2.2.2. Amenaza por inundación del litoral Pacífico.....	24
3.2.3. Otros impactos biofísicos.....	26
3.2.3.1. Profundización de los cuerpos de agua.....	26
3.2.3.2. Ascenso del nivel freático y salinización.....	26

4. VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS NATURALES COSTEROS	27
5. VULNERABILIDAD DE LA POBLACION Y LAS VIVIENDAS.....	30
5.1. Dinámica poblacional del litoral.....	30
5.1.1. La población del litoral Caribe.....	30
5.1.2. La población del litoral Pacífico	31
5.2. Caracterización de la población expuesta.....	32
5.2.1. Población expuesta en el litoral Caribe.....	32
5.2.2. Población expuesta en el litoral Pacífico	34
5.3. Vulnerabilidad de las viviendas	36
5.4. Vulnerabilidad de los territorios de grupos indígenas.....	38
6. VULNERABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES ECONOMICAS	42
6.1. Consideraciones metodológicas.....	42
6.2. Vulnerabilidad de las actividades agropecuarias	44
6.2.1. Actividades agrícolas del litoral Caribe	44
6.2.2. Actividades agrícolas expuestas en el litoral Caribe.....	45
6.3. Vulnerabilidad de las actividades industriales	47
6.3.1. Caracterización de las zonas industriales.....	51
6.3.1.1. Zona industrial Barranquilla - Soledad	51
6.3.1.2. Zona Industrial de Cartagena.....	52
6.3.1.3. Zona industrial de Santa Marta	53
6.3.2. Actividades industriales expuestas	54
6.3.3. Análisis del nivel de daño y exposición.....	55
6.3.4. Los impactos directos identificados	58
7. VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE Y PUERTOS	59
7.1. Caracterización de la red vial general en las costas colombianas	59
7.2. Caracterización física portuaria de las zonas costeras año 1998	61
7.2.1. Zona portuaria de Cartagena.....	61
7.2.2. Zona portuaria de Barranquilla	62
7.2.3. Zona portuaria de Santa Marta	62
7.2.4. Zona portuaria de La Guajira	63
7.2.5. Zona portuaria del Golfo de Morrosquillo.....	63
7.2.6. Zona portuaria de Buenaventura	63
7.2.7. Zona portuaria de Tumaco	64
7.3. Infraestructura portuaria y de transporte expuesta.....	64
7.3.1. Elementos expuestos en la infraestructura de vías	64
7.3.2. Definición de los niveles de daño para la infraestructura de vías	64
7.3.3. Elementos expuestos en la infraestructura de puertos	65
7.3.4. Definición de los niveles de daño para la infraestructura de puertos.....	67

8. ADAPTACION DE LAS ZONAS COSTERAS.....	69
8.1. Adaptación autónoma	69
8.2. Adaptación planeada.....	71
8.2.1. Retiro manejado	71
8.2.2. Acomodación	72
8.2.3. Protección.....	74
9. CONCLUSIONES	76
REFERENCIAS CITADAS.....	78

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema metodológico para evaluar la vulnerabilidad de las zonas costeras
- Figura 2. Distribución porcentual de la susceptibilidad a la erosión de la línea de costa del litoral Caribe
- Figura 3. Distribución porcentual de la susceptibilidad a la erosión de la línea de costa del litoral Pacífico.
- Figura 4. Distribución porcentual de la amenaza por inundación marina y otros efectos en el litoral Caribe
- Figura 5. Distribución porcentual de la amenaza por inundación marina y otros efectos en el litoral Pacífico
- Figura 6. Distribución de la población urbana y rural del litoral Caribe según categoría de amenaza por inundación y otros efectos
- Figura 7. Distribución de la población urbana y rural del litoral Pacífico según categoría de amenaza por inundación y otros efectos
- Figura 8. Distribución de las viviendas del litoral Caribe según el material de construcción predominante en las paredes
- Figura 9. Distribución de las viviendas del litoral Pacífico según el material de construcción predominante en las paredes

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Niveles de daño probables de los elementos expuestos
- Tabla 2. Caracterización de los índices de vulnerabilidad según los niveles de daño.
- Tabla 3. Susceptibilidad a la erosión marina de la línea de costa colombiana
- Tabla 4. Amenaza por inundación marina en el litoral colombiano
- Tabla 5. Elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Caribe Colombiano
- Tabla 6. Elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico Colombiano
- Tabla 7. Nivel de daño e índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Caribe colombiano.
- Tabla 8. Nivel de daño e índice de vulnerabilidad de los elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico
- Tabla 9. Población expuesta a la amenaza por inundación en el litoral Caribe colombiano
- Tabla 10. Población expuesta a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico colombiano
- Tabla 11. Área de cultivos y pastos localizados en la zona costera del Caribe
- Tabla 12. Nivel de daño de los elementos expuestos en la actividad agropecuaria
- Tabla 13. Distribución de los cultivos del litoral Caribe de acuerdo con el índice de vulnerabilidad
- Tabla 14. Distribución de la vulnerabilidad por cultivos en la costa Caribe colombiana

- Tabla 15. Caracterización por municipios de la actividad industrial en la costa Caribe
- Tabla 16. Caracterización de las agrupaciones industriales a escala de área metropolitana y departamental sobre variables básicas de la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 1998).
- Tabla 17. Operaciones del Proceso de Refinación de Petróleo en Cartagena
- Tabla 18. Producción diaria de la refinería de Cartagena.
- Tabla 19. Calificación de los niveles de daño del sector manufacturero del litoral Caribe
- Tabla 20. Distribución según la amenaza de las áreas ocupadas por establecimientos del sector manufacturero del litoral caribe
- Tabla 21. Vulnerabilidad de las actividades manufactureras ante el ascenso del nivel del mar.
- Tabla 22. Valores de las variables afectadas para los asentamientos industriales
- Tabla 23. Tramos y subtramos de la red vial de la costa Caribe
- Tabla 24. Longitud de la infraestructura vial terrestre del litoral caribe colombiano
- Tabla 25. Número de terminales portuarios identificados por regiones
- Tabla 26. Calificación de los niveles de daño para las vías principales en la costa Caribe
- Tabla 27. Red de transporte del litoral Caribe expuesta a la amenaza marina
- Tabla 28. Resultados de vulnerabilidad para la infraestructura en vías.
- Tabla 29. Calificación de los niveles de daño en las zonas de puertos por elemento expuesto y categoría de amenaza

LISTA DE MAPAS

- Mapa 1. Delimitación del área evaluada en el litoral colombiano
- Mapa 2. Geomorfología de la zona costera. Sector Cartagena.
- Mapa 3. Susceptibilidad a la erosión de la línea de costa. Sector Cartagena
- Mapa 4. Susceptibilidad a la inundación litoral. Sector Cartagena.
- Mapa 5. Zonificación de la amenaza por inundación litoral. Sector Cartagena.
- Mapa 6. Distribución de la población urbana y rural del litoral Caribe según sectores censales.
- Mapa 7. Resguardos indígenas localizados en las zonas de amenaza por inundación marina en el litoral Caribe
- Mapa 8. Resguardos indígenas localizados en las zonas de amenaza por inundación marina en el litoral Pacífico
- Mapa 9. Zonificación de la vulnerabilidad del sector agropecuario en la costa Caribe.
- Mapa 10. Vulnerabilidad del corredor industrial de Cartagena.
- Mapa 11. Vulnerabilidad del corredor industrial de Barranquilla - Soledad.
- Mapa 12. Vulnerabilidad de las redes viales del litoral Caribe para transporte automotor, férreo y puentes.

RESUMEN

El país posee una variada y dinámica zona costera, que alcanza 3340 Km de extensión y que comprende dos litorales, el Caribe y el pacífico, y un territorio insular en el que se incluye el Archipiélago de San Andrés y Providencia. En su zona de costa y plataforma continental se encuentran importantes ecosistemas como manglares, praderas de fanerógamas y arrecifes coralinos, distribuidas por sus costas bajas y estuarinas, bahías, ensenadas y las costas arenosas y acantiladas. Tanto su línea de costa alta, como las planicies litorales bajas y ecosistemas costeros serán afectados por el actual cambio climático, y en especial, por el ascenso acelerado del nivel del mar.

Los efectos del potencial ascenso del nivel marino fueron evaluados mediante indicadores geomorfológicos y morfo-dinámicos, con base en la caracterización física del litoral, la evaluación de su susceptibilidad y la proyección de los posibles cambios biofísicos que causará el incremento en un metro del nivel del mar en los próximos 100 años. De acuerdo con esta evaluación, en las costas colombianas es posible la inundación permanente de 4900 Km² de costas bajas, el encharcamiento fuerte a total anegamiento de 5100 Km² de áreas costeras moderadamente susceptibles, así como el encharcamiento de zonas aledañas y la profundización de los cuerpos de agua localizados en la zona litoral y la plataforma. Igualmente causará el incremento de la erosión en zonas especialmente sensibles, donde la actividad antrópica ha reducido la capacidad de amortiguación de los sistemas litorales. Sistemas naturales como las playas y marismas serán los más afectados por la erosión y la inundación litoral de acuerdo con esta evaluación.

Se pudo establecer que los potenciales cambios biofísicos que afectarán el litoral colombiano por el cambio del nivel del mar harán que parte importante de la población, las actividades económicas y la infraestructura vital del país sean amenazadas por la inundación marina. La población que se encuentra en áreas bajo amenaza por inundación alcanza aproximadamente 1.4 millones de habitantes del litoral, población que esta predominantemente asentada en el sector urbano (85%). Para el litoral Caribe, sólo el 9% de las viviendas urbanas presentan alta vulnerabilidad a la inundación, porcentaje que llega al 46% en el sector rural. En el litoral Pacífico, el 48% de las viviendas del sector urbano y 87% del sector rural son altamente vulnerables, sin embargo, debido a las tradiciones culturales gran porcentaje de ellas están construidas sobre palafitos, costumbre que facilitará la adaptación. En cuanto a la vulnerabilidad social de los hogares en el litoral Caribe el 74% son moderadamente vulnerables, el 17% altamente vulnerables y el 9% son poco vulnerables. En el litoral Pacífico los hogares con alta vulnerabilidad social alcanzan el 13%, son moderadamente vulnerables el 62% y el restante 25% tiene baja vulnerabilidad.

Respecto a las actividades económicas, se analizaron los principales sectores económicos asentados en el litoral Caribe, donde se concentra preferencialmente la infraestructura industrial y portuaria. El análisis de los elementos socioeconómicos permitió concluir que en el sector agropecuario, de las 1.533.290 Has de cultivos y pastos reportadas el 21% están expuestas a los diferentes grados de amenaza por inundación, de las cuales el 49% presentan alta vulnerabilidad y que está representada en cultivos de banano y palma africana principalmente. En el sector industrial, se encontró que el 75.3% (475 Has) del área ocupada por los establecimientos manufactureros en Barranquilla y el 99.7% (877 Has) en Cartagena son de alta vulnerabilidad. Para la infraestructura vial se considera que el 44.8% de la infraestructura vial terrestre tiene alta vulnerabilidad, el 5.2% vulnerabilidad moderada y el 22.7% es poco vulnerable.

En las zonas insulares se analizó la vulnerabilidad de la isla de San Andrés, ubicada en el mar Caribe y que hace parte de un extenso archipiélago coralino de 52.2. km². La isla de San Andrés cubre un área de 27 Km², de los cuales el 17% sería inundado por un ascenso proyectado de 1 metro del nivel del mar, espacio que se localiza en las zonas norte y este de la isla. Las zonas más afectadas por la inundación representan la mayor parte de la riqueza natural de la isla, y es también el sector donde se asienta la infraestructura turística y comercial. La alta vulnerabilidad de estas zonas es debida a la presencia de rellenos habilitados en la década de los años 50. Igualmente, la infraestructura de servicios públicos será afectada, en especial el alcantarillado, el abastecimiento de agua potable y la infraestructura vial, además del incremento de los actuales procesos de erosión.

Se considera la implementación de medidas de adaptación tendientes a recuperar y fortalecer los mecanismos de resiliencia del litoral que faciliten la adaptación natural de las zonas costeras al ascenso del nivel del mar. Opciones adicionales como la preservación de humedales costeros, regulación de los usos y actividades en las zonas amenazadas por la inundación y la protección de zonas de interés socioeconómico vital complementan la estrategia de adaptación, consolidada en el marco del manejo integrado de zonas costeras que ha establecido el país para sus litorales.

1. INTRODUCCION

El incremento de la concentración de gases de efecto invernadero debido a la actividad humana está produciendo la elevación de la temperatura media global del aire, fenómeno conocido como calentamiento global, y que se presentará en forma diferencial sobre el planeta. Este calentamiento diferenciado ha comenzado a modificar los elementos climatológicos, causando un cambio climático (IPCC, 1995; Feenstra *et al.*, 1998) que en la actualidad es motivo de preocupación en la comunidad mundial. Este cambio climático afectará el ambiente costero en formas variadas como son el ascenso acelerado del nivel del mar, el incremento en la temperatura media del mar, el aumento en la intensidad de la precipitación y algunos cambios en los patrones del clima (Capobianco *et al.*, 1999).

Los ecosistemas y las comunidades asentadas en el litoral expuestas al cambio climático verán alteraciones en su agricultura y en la producción de alimentos, la disponibilidad de agua, en la salud y las consecuencias directas de la elevación del nivel del mar. Estos cambios conllevarán implicaciones sociales serias porque las áreas costeras contienen grandes y crecientes poblaciones, además de ser zonas valiosas en términos de recursos naturales y actividades económicas relacionadas. Colombia posee una extensa área litoral, donde se localiza una parte importante de la población del país y se llevan a cabo vitales actividades socioeconómicas, que podrían ser seriamente afectadas por el ascenso del nivel del mar y los impactos asociados a este.

Una de las más ciertas consecuencias del cambio climático global es el ascenso del nivel global del mar, el cual intensificará las presiones sobre las zonas costeras, particularmente aquellas donde las actividades humanas han disminuido la capacidad adaptativa natural y socioeconómica. Relacionado con el aumento de la temperatura media global podría estar el ascenso del nivel marino de 10 a 25 cm en los últimos 100 años (IPCC, 1995). Estudios realizados para el Caribe mostraron un ascenso del nivel del mar de 20 cm para el período 1880-1980 (Gornitz y Lebedeff, 1987), concordante con lo propuesto por IPCC (1995) al estimar un ascenso similar a partir del año 1850, con tasas de 1-2 mm/año.

Para Klein *et al.* (1998) los estimativos del futuro ascenso están en el rango de 20 a 86 cm para el año 2100, sin embargo, de acuerdo con Warrick *et al.* (1996) la proyección del ascenso del nivel global del mar en el período 1990-2100 considera en su estimación alta un ascenso de 96 cm., asumiendo que la cantidad de aerosoles presentes en la atmósfera en 1990 se mantiene constante. Sin embargo, si se consideran las reducciones en las emisiones de aerosoles que empezaron en 1990 la estimación del ascenso del nivel medio del mar podría llegar a 86 cm. Como se observa, aunque ambas estimaciones son

menores pero cercanas a un metro, implican graves consecuencias para la mayor parte de las ciudades en los litorales y en sus actividades desarrolladas.

En los sistemas físicos y biológicos de las zonas costeras probablemente se afectarán la morfología litoral y los ecosistemas naturales por causa de la inundación. Este incremento relativo producirá la inundación de tierras bajas y pantanos, el retroceso de la línea de costa y el incremento del nivel de los ríos y el nivel freático entre otros efectos (Nicholls *et al.*, 1995). Adicionalmente se ha predicho que el aumento del nivel del mar afectará los puertos y la infraestructura costera, así como los estilos de vida y las tradiciones culturales en las zonas litorales (Mimura, 1996). Junto al cambio de nivel marino, habrá reducción de la cantidad de luz que penetra al suelo marino por el incremento en la profundidad del agua afectando la productividad, además de cambios en las mareas, tormentas, mares de leva y oleaje, que afectarán tanto a la morfología costera y los ecosistemas como a los asentamientos humanos y la infraestructura.

1.1. Zona de estudio

Colombia posee una extensa zona costera, resultado de la presencia de costas en dos océanos e importantes territorios insulares (*Mapa 1*). El litoral Caribe posee una línea de costa de 1,818 Km de extensión, en la cual se estudiaron 12,118 Km² de zona costera. En ella se encuentra una alta concentración de población y el desarrollo de áreas de interés turístico que ha generado una significativa inversión en infraestructura de varios tipos, especialmente en la hotelera, en ciudades como Cartagena, Santa Marta y Coveñas. A su vez, el desarrollo portuario, relacionado con actividades industriales y comerciales importantes se ha concentrado en centros regionales como Barranquilla y Cartagena. Recientes estudios (IDEAM-Universidad Nacional, 1998; Molina *et al.*, 1998) mostraron un retroceso generalizado de esta línea de costa y que posiblemente está relacionado con el actual ascenso del nivel del mar.

El litoral Pacífico alcanza una extensión de línea de costa de 1,524 Km, de la cual se estudiaron 26,424 Km² de su zona costera. El litoral del Pacífico sólo presenta desarrollos portuarios y comerciales puntuales, en tanto que la actividad turística se encuentra limitada el ecoturismo y la recreación local. La población costera se concentra en las principales ciudades litorales: Buenaventura, Tumaco y Bahía Solano, que albergan aproximadamente el 92% de los habitantes de la zona. Por su proximidad a la zona subducción del Pacífico, este litoral ha sido escenario de desastres naturales ocasionados por el arribo de *tsunamis* que han causado devastación, especialmente en la zona sur de la costa.

El territorio insular comprende las islas de San Andrés, Providencia, Gorgona y Malpelo, así como numerosos cayos, islotes, bancos coralinos y bajos arenosos. El área insular del Caribe está ubicada entre los meridianos 78° y 82° de longitud oeste, y los paralelos 12° y 16° de latitud norte. El archipiélago es de forma alargada con orientación SW-NE



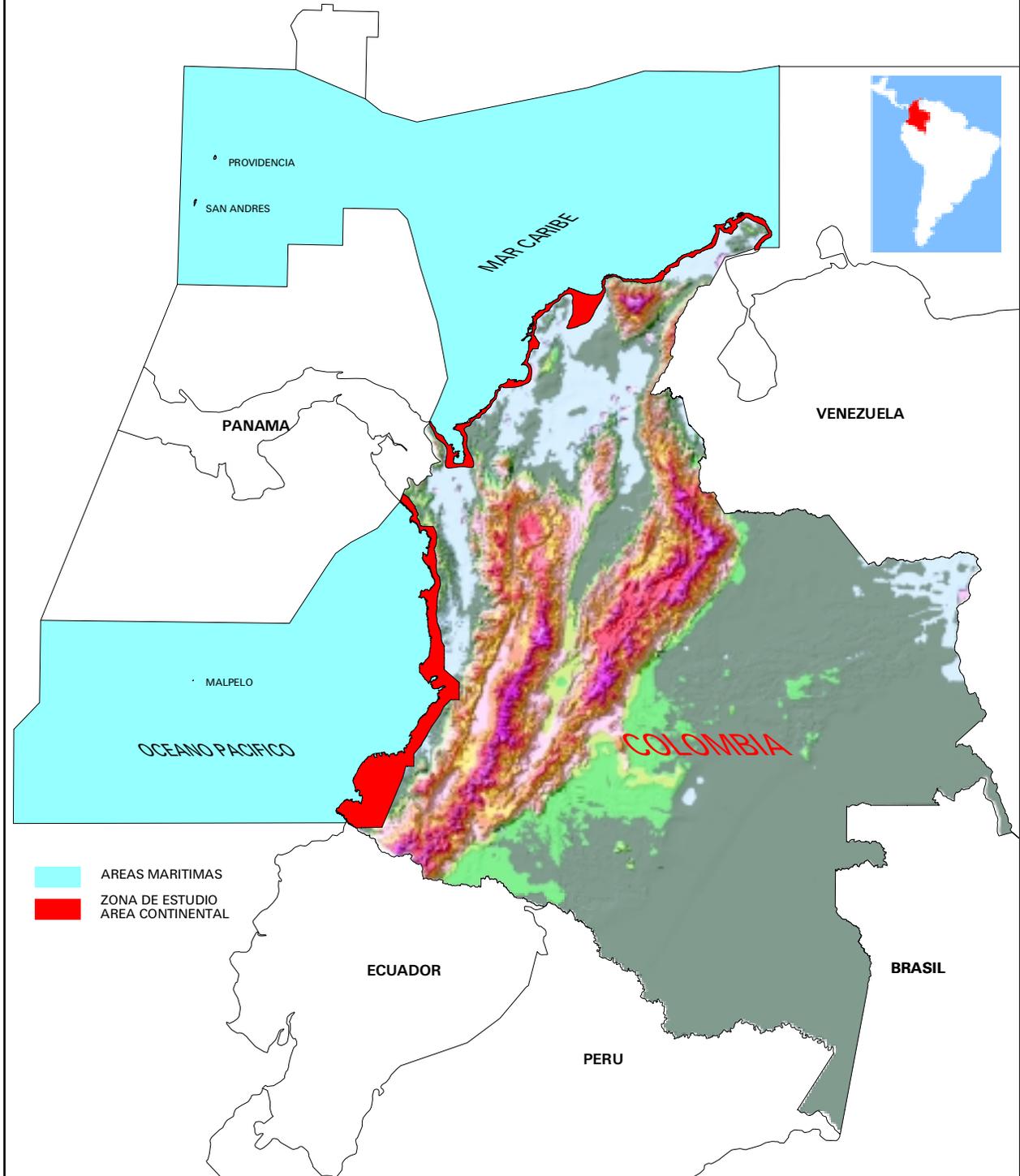
INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES



REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio del Medio Ambiente



PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO



DELIMITACION DEL AREA EVALUADA EN EL LITORAL COLOMBIANO

MAPA 1.

y la isla más importante es San Andrés, que alcanza un área de 27 Km² y permite el asentamiento de una numerosa población y un importante centro comercial y turístico en el mar caribe colombiano. Sobre el Pacífico se encuentran las islas de Gorgona y Malpelo, ubicada esta última sobre los 81° de longitud oeste y 3° norte aproximadamente. Actualmente estas dos islas constituyen parques nacionales con una extensión superficial aproximada de 1568 hectáreas.

1.2. Alcances de la investigación

Los resultados presentados aquí, como son las zonificaciones de susceptibilidad y amenaza, así como las definiciones de impactos socioeconómicos, deben interpretarse como aproximaciones de carácter regional que intentan dar una visión nacional de la vulnerabilidad de las zonas costeras colombianas al ascenso del nivel del mar. Por tanto, las consideraciones para escenarios locales y/o más detallados requiere la realización de estudios específicos. Su aplicación inmediata está en la elaboración de lineamientos generales para establecer futuras medidas de adaptación. La presente investigación utilizó indicadores geomorfológicos para realizar una primera aproximación al estudio de la amenaza por el ascenso del nivel del mar, que sirvió de base para el posterior análisis de vulnerabilidad. Este informe provee una primera identificación de los impactos del ascenso acelerado del nivel del mar en Colombia, incorporando un desarrollo metodológico adaptado a las condiciones específicas del país, y una evaluación preliminar de la vulnerabilidad de los principales elementos naturales y socioeconómicos expuestos al proceso de inundación por el cambio del nivel del mar.

1.3. Marco metodológico

En la evaluación de la vulnerabilidad de las zonas costeras colombianas ante el ascenso del nivel del mar se consideraron los aspectos fundamentales establecidos por IPCC (1995) tales como la susceptibilidad del área costera a los cambios físicos impuestos por el ascenso del nivel del mar, y la identificación de los cambios físicos y los impactos sobre los asentamientos humanos, los sistemas socioeconómicos y ecosistemas estratégicos; finalmente se realizó una evaluación de la vulnerabilidad que estos elementos expuestos presentarán ante la amenaza marina considerada, tanto física, corporal y funcional. Con base en esta estructura, se elaboró el esquema metodológico de trabajo presentado en la *Figura 1* y que fue seguido en este estudio.

Los principales pasos metodológicos fueron los siguientes: adquisición y manejo de la información; análisis y zonificación de la susceptibilidad; análisis y zonificación de la amenaza; y definición de los escenarios de vulnerabilidad. Estos pasos se describen a continuación.

1.3.1. Manejo de la información

Para el análisis de la vulnerabilidad de las zonas costeras por el ascenso del nivel del mar se compiló y analizó la información básica, que comprendió estudios temáticos previos, sensores remotos y datos censales entre otros, que permitieron obtener un producto final que es presentado a escala 1:100,000.

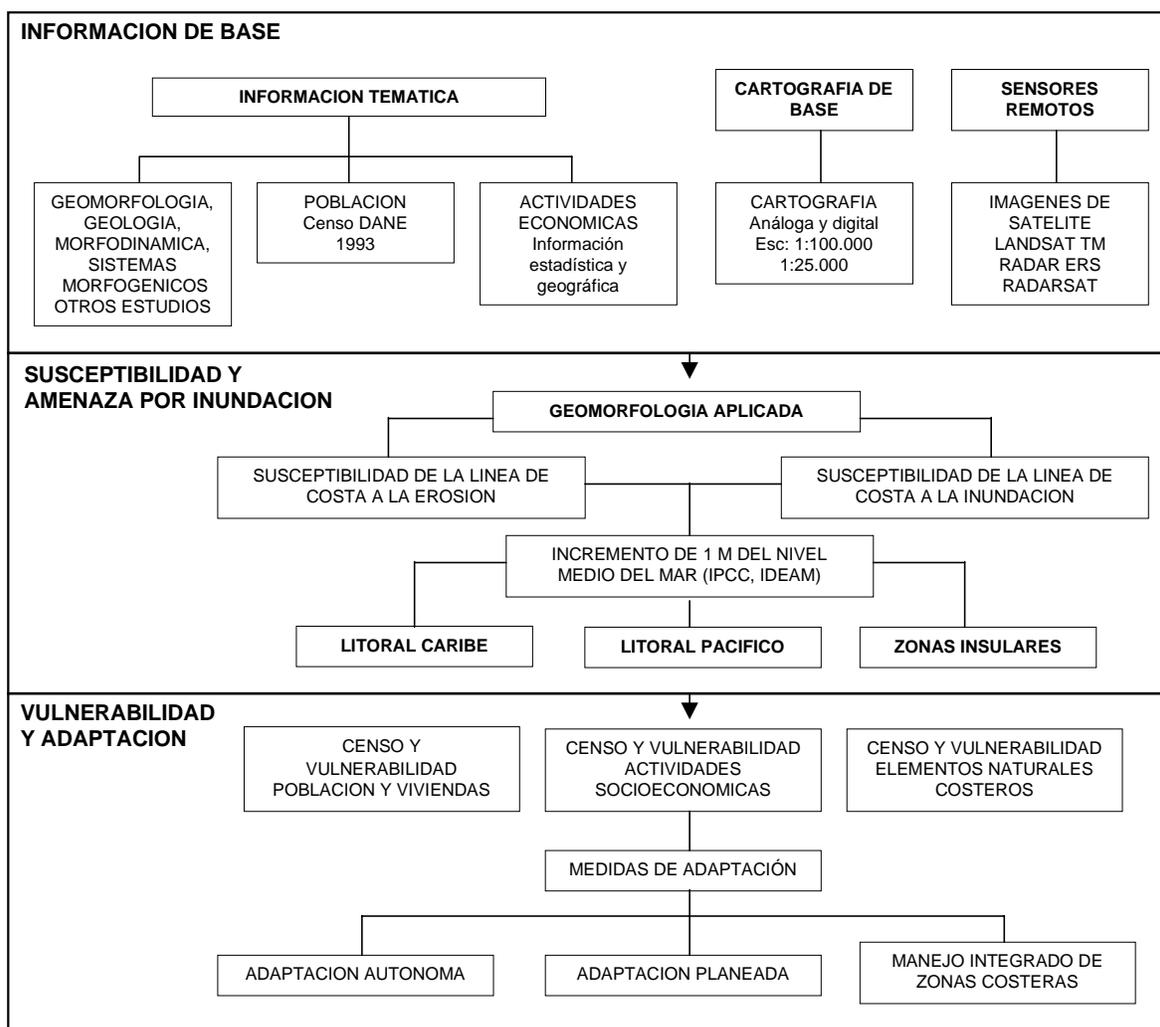


Figura 1. Esquema metodológico para evaluar la vulnerabilidad de las zonas costeras

La evaluación de la susceptibilidad y de los potenciales cambios debidos al ascenso del nivel del mar se basó en tres estudios geomorfológicos realizados por IDEAM-Universidad Nacional (1996, 1997, 1998), donde el primero de ellos comprende un diagnóstico de los sistemas morfogénicos nacionales sobre una escala 1:500,000. Los otros dos estudios, más específicos, comprenden la caracterización morfodinámica de los litorales Caribe y Pacífico a escala 1:100,000. Otros trabajos que fueron importantes

en la base conceptual para el marco geomorfológico y el análisis de la amenaza fueron: Robertson y Martínez (1999), Chaparro y Jaramillo (2000) y Martínez (2001).

La información básica fue revisada y actualizada con el uso de sensores remotos como imágenes de radar ERS modo estándar de los años 1993 y 1994, particularmente para la costa del Pacífico; imágenes Radarsat en modo estándar de los años 1996 y 1999 para algunos sectores de la costa Caribe y Pacífica; e imágenes Landsat TM de la década del 90 para el litoral Caribe. También se utilizaron fotografías aéreas con escalas comprendidas entre 1:30,000 y 1:50,000 de diferentes épocas (1940-1990).

1.3.2. Análisis y zonificación de la susceptibilidad

La susceptibilidad se define como el grado de fragilidad o propensión de un elemento, objeto o terreno a presentar cambios en su estructura interna o desarrollar un fenómeno potencialmente dañino. La susceptibilidad es definida a partir de las características intrínsecas e independientemente del evento detonante. La susceptibilidad de la zona costera frente a la amenaza potencial del incremento del nivel del mar se abordó en dos escenarios complementarios: la susceptibilidad a la erosión de la línea de costa y la susceptibilidad a la inundación marina.

La susceptibilidad de la línea de costa a la erosión marina se determinó mediante una matriz de decisión en la cual se calificó con valores de resistencia o comportamiento ante un proceso agresivo (estabilidad) cada unidad geomorfológica, así como un factor de resiliencia dado por los sistemas litorales a las unidades geomorfológicas, la cual depende principalmente de los aportes de sedimentos y la protección natural por la morfología. En este análisis la resiliencia se asume como la capacidad que presentan los sistemas litorales para absorber o reducir los efectos de eventos dañinos como el cambio del nivel del mar (*sensu* Mimura, 1996).

Para evaluar la susceptibilidad a la inundación litoral se empleó un método empírico basado en el modelamiento cualitativo del medio físico, estableciéndose diferentes grados de susceptibilidad a la inundación para las geofomas que constituyen el litoral.

1.3.3. Análisis y zonificación de la amenaza

Teniendo en cuenta la definición de la amenaza como “la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de magnitud determinada, en un lugar y período específico”, se puede determinar como fenómeno a evaluar el incremento del nivel del mar; la magnitud del fenómeno es de 1 metro, el período de tiempo de 100 años, el efecto dañino la inundación, y el lugar específico las zonas costeras con diferentes grados de susceptibilidad.

Debido a la carencia de información cartográfica detallada que permitiera trazar la cota de un metro sobre el nivel del mar, se utilizó una aproximación geomorfológica para delimitar la posible área afectada por un ascenso del nivel del mar de esta magnitud. Por las características del fenómeno amenazante, este es calificado como de

acumulación lenta y de acción casi imperceptible, lo cual repercutió en el análisis de la vulnerabilidad de los elementos potencialmente expuestos. Dadas las condiciones de resolución, el escenario de amenaza que se evaluó es el de un evento de 1 metro para 100 años. Con base en este escenario se estableció la zonificación de la amenaza por inundación marina a partir del mapa de susceptibilidad a la inundación de las geoformas.

1.3.4. Escenarios de vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad es definido en esta evaluación como el grado de daño o pérdida de un elemento (corporal, estructural, social o económico) expuesto como resultado de la ocurrencia de un fenómeno amenazante. Para la evaluación de la vulnerabilidad se consideraron tres aspectos principales: la base espacial y categorizada de la amenaza; la identificación, localización y caracterización de los elementos expuestos que se podrían ver afectados; y la valoración cualitativa del daño y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, de acuerdo con la valoración del daño en su dimensión corporal, funcional, estructural y de vulnerabilidad social. Para esta última evaluación se consideraron principalmente las características socioeconómicas de los hogares, las cuales hacen a la población mas o menos vulnerable a los impactos del ascenso del nivel del mar e inciden en su capacidad de recuperación.

1.4. Vulnerabilidad de los elementos expuestos

El análisis y la zonificación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos se realizó bajo el concepto de "vulnerabilidad", que a su vez es definida como el grado de daño o pérdida de un elemento corporal, bien o servicio resultante de una amenaza determinada. Para el análisis de la vulnerabilidad se tuvieron en cuenta las siguientes fases metodológicas:

1.4.1. Censo de los elementos potencialmente expuestos

Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, servicios y actividades socioeconómicas. El avance de la investigación contiene el censo alfanumérico y/o espacial de los siguientes elementos expuestos.

- **Población.** Cantidad y distribución de la población rural y urbana y por sector censal. Caracterización socioeconómica de la población y los asentamientos humanos.
- **Construcciones.** La tipología de las construcciones se clasificó por tipo de elemento, por tipo de material y por función del elemento. El análisis espacial se realizó por sector censal, estableciendo las siguientes categorías del tipo de material de las construcciones: bloque, bahareque, guadua, madera y zinc.
- **Elementos naturales.** Como elementos naturales se tuvieron en cuenta las playas, las ciénagas salobres, las ciénagas de agua dulce, los cauces de ríos, el manglar y el arrecife coralino.

- *Elementos socioeconómicos.* En este tema se tuvieron en cuenta las áreas cultivadas e industriales.
- *Elementos estructurales.* En este campo se determinaron los principales corredores viales y las zonas de puertos.

1.4.2. Nivel de daño

Con el objeto de establecer el nivel de daño probable de cada elemento potencialmente expuesto se estableció una escala de categorías para dos tipos de daño: daños físicos y daños funcionales. Las categorías definidas son explicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de daño probables de los elementos expuestos

NIVELES DE DAÑO			
Daños físicos		Daños funcionales	
Categoría	Descripción	Categoría	Descripción
I	Efectos secundarios a mediano y largo plazo	I	Interrupción temporal a corto plazo (horas a días)
II	Daños leves temporales	II	Interrupción temporal a mediano plazo (días a meses)
III	Daños graves permanentes	III	Interrupción a largo plazo (meses-años)
IV	Destrucción total	IV	Pérdida total de la función

1.4.3. Determinación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se estimó mediante la relación entre la resistencia del elemento potencialmente expuesto y la magnitud del fenómeno amenazante así:

$$V = (E) f(x) (H)$$

De donde: V= Vulnerabilidad, E= resistencia del elemento expuesto y H= Magnitud de la amenaza. Como índice de vulnerabilidad determinado por los niveles de daño físico o funcional se estableció la relación de vulnerabilidad que se presenta en la *tabla 2*.

Tabla 2. Caracterización de los índices de vulnerabilidad según los niveles de daño.

Nivel de daño	Índice de vulnerabilidad	Término
I	0 – 0.25	Baja
II	0.25 -0.50	Moderada
III	0.50 - 0.75	Alta
IV	0.75 - 1	Muy alta

2. CARACTERIZACION GEOMORFOLOGICA COSTERA

La morfología de las zonas litorales está determinada en gran medida por los procesos geomorfológicos, tanto dinámicos como estructurales, los que a su vez están relacionados estrechamente con la evolución de la plataforma continental, los aportes fluviales y la dinámica marina a escala local y global (Davis, 1996). Mientras la plataforma continental esta sujeta a la deformación tectónica y la acumulación cíclica de sedimentos, las condiciones marinas de oleaje y marea varían de acuerdo con su ubicación geográfica. Estas variables se conjugan en el tiempo para integrar las geoformas actuales, en muchos casos, superimpuestas sobre las formas heredadas del pasado reciente. Esta interpretación genera una caracterización del litoral colombiano mediante unidades morfodinámicas que se presenta a continuación.

2.1. Costa del Caribe

La línea de costa del Caribe colombiano está caracterizada principalmente por la presencia de largas playas arenosas limitadas por puntas rocosas localmente montañosas, algunas veces asociadas con marismas de mangle y ciénagas costeras que se adentran en el continente. Localmente, las costas bajas son interrumpidas por macizos montañosos tal como en la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía del Darién y los acantilados de la Alta Guajira.



*Cordón litoral de Salgar (Atlántico), formando una pequeña laguna costera rodeada por una marisma de mangle.
Fotografía de Néstor Javier Martínez.*

En su sector norte, el litoral Caribe de la Península de la Guajira y la Sierra Nevada de Santa Marta presenta una línea de costa variable con acantilados en rocas duras y blandas, bahías amplias y llanuras bajas dominadas por una sedimentación reciente y depósitos eólicos sobrepuestos. Por su parte, la parte central del Caribe y que comprenden el litoral entre la isla de Salamanca y el Delta del río Sinú, se caracteriza por un paisaje de colinas y lomeríos bajos, sobre los cuales se han desarrollado terrazas litorales, acantilados y llanuras costeras a veces asociadas con depresiones estructurales y complejos deltáicos de gran extensión. El sector sur de la costa Caribe colombiana está conformada por dos sectores montañosos prominentes y una depresión costera situada entre ellos, denominada Golfo de Urabá, y en la cual ocurren simultáneamente procesos deltáicos y de subsidencia tectónica. En el *mapa 2* se presenta un ejemplo de la caracterización geomorfológica realizada.

Las geoformas litorales encontradas corresponden a la interfase entre los procesos netamente marinos y los procesos continentales, que por su interacción definen la configuración y evolución de la línea de costa. El litoral Caribe colombiano a sufrido cambios en el nivel del mar que han marcado su evolución, siendo la actual configuración del litoral resultado de las variaciones ocurridas en el Holoceno. Un grupo de geoformas litorales puede ser seguida por casi todo el litoral en forma casi ininterrumpida, las cuales fueron dejadas por un nivel del mar 2-3 metros mas elevado, y que ha sido datado entre el Holoceno Medio a Superior (Robertson y Martínez, 1999).

2.2. Costa del Pacífico

El Litoral Pacífico, dominado por costas escarpadas en la zona norte y extensos bosques de mangle al sur, presenta una línea de costa dominada por acantilados activos, llanuras deltáicas amplias y extensos complejos de marismas de mangle, formados bajo una régimen de macromarea (4-5 m). La zona norte del litoral Pacífico se caracteriza por un relieve abrupto de acantilados e islotes rocosos controlados por lineamientos estructurales y una serranía en proceso de levantamiento tectónico. Más al sur, se encuentra una planicie deltáica y de terrazas fluvio-marinas que se extiende desde Cabo Corrientes hasta la Bahía de Buenaventura, la cual se caracteriza por varios niveles de terrazas altas, un desarrollo deltáico antiguo y una planicie litoral baja y muy activa, en la cual actualmente se desarrolla un bosque de mangle.

Sobre la costa del departamento del Cauca se extiende una prominente planicie litoral, formada por los abundantes sedimentos depositados por los ríos provenientes de la cordillera Occidental. El litoral nariñense se caracteriza por la presencia de una planicie deltáica formada por los ríos Mira y Patía, donde se forman extensas marismas de mangle y prominentes bocanas que marcan el fuerte influjo de la marea.

820000

830000

840000



INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES



REPÚBLICA DE COLOMBIA
Ministerio del Medio Ambiente



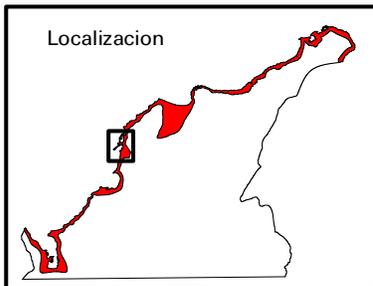
PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO

GEOMORFOLOGÍA COSTERA SECTOR CARTAGENA

LEYENDA

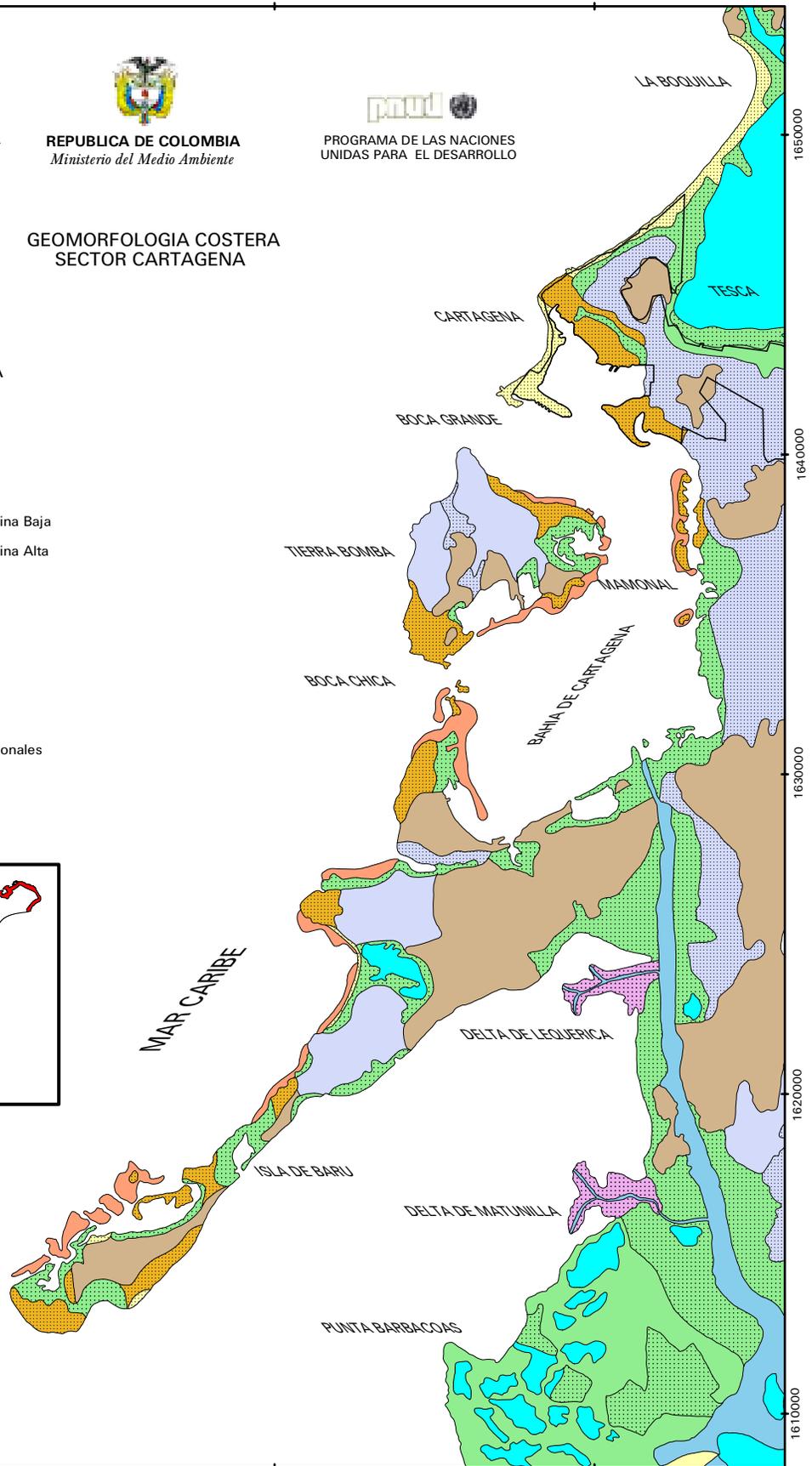
UNIDAD GEOMORFOLÓGICA

- A - Arrecife Coralino
- Tc - Terraza Coralina
- U - Cuchilla Estructural
- C - Colina
- T1 - Terraza Fluvio - Marina Baja
- T2 - Terraza Fluvio - Marina Alta
- D1 - Delta Activo
- D2 - Delta Inactivo Bajo
- D3 - Delta Inactivo Alto
- F - Llanura Aluvial
- L - Ciénagas
- M1 - Marismas Bajas
- M2 - Marismas Transicionales
- P1 - Playas Activas
- P2 - Playas no Activas



ESCALA DE TABAJO: 1:100000
ESCALA DE IMPRESIÓN: 1:200000

MAPA 2.



1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

820000

830000

840000



*Marisma de mangle en la Ensenada de Utría (Chocó).
Fotografía de Néstor Javier Martínez.*

A diferencia del Caribe, en el Pacífico no se conservan bien las geoformas costeras asociadas con las variaciones del nivel del mar durante el Holoceno. Esta situación puede explicarse por una combinación de factores como son: la mayor actividad tectónica de la zona, los aportes fluvio-deltáicos voluminosos que han reactivado la sedimentación en la zona litoral y las condiciones macromareales que han transformado la secuencia de geoformas litorales.

2.3. Zona insular de San Andrés

El archipiélago de San Andrés y Providencia se originó aparentemente a partir de volcanes ubicados sobre fracturas tectónicas de la corteza oceánica, relacionados posiblemente con la formación del alto de Nicaragua. La subsidencia de los basamentos volcánicos y el cubrimiento simultáneo de estos con carbonatos biogénicos derivados del crecimiento de estructuras calcáreas durante el Terciario y Cuaternario, condujeron finalmente a la formación de atolones y bancos coralinos. San Andrés pertenece a uno de esos atolones antiguos, pero debido a procesos de levantamiento tectónico durante el Pleistoceno emergió como una isla y actualmente alcanza una altura máxima aproximada de 80 metros sobre el nivel del mar (Chaparro y Jaramillo, 2000).

La conformación actual de la isla comprende esencialmente una zona de colinas circundada por espacios planos a levemente inclinados, en general dispuestos en un nivel cercano al nivel del mar. Las principales geoformas que bordean la zona de colinas son: marismas, playas y terrazas coralinas; éstas geoformas constituyen

principalmente los terrenos de la isla situados al norte y oriente, donde se levanta parte de la zona urbana.

El proceso de urbanización desarrollado en San Andrés ha causado importantes modificaciones en el espacio físico de la isla, como el de la habilitación de algunas zonas de pantanos para la construcción mediante rellenos civiles.

3. IMPACTOS BIOFÍSICOS POR EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

En el estudio de vulnerabilidad de las zonas costeras de los litorales Caribe y Pacífico colombianos se tuvieron en cuenta los siguientes efectos: la erosión de la línea de costa, la inundación de zonas costeras bajas, la profundización de los cuerpos de agua y el ascenso del nivel freático. La determinación de los impactos se realizó metodológicamente bajo dos tipos de zonificaciones: susceptibilidad y amenaza.

La susceptibilidad se define como el grado de fragilidad o propensión de un elemento, objeto o terreno a presentar cambios en su estructura interna o desarrollar un fenómeno potencialmente dañino. La susceptibilidad es definida a partir de las características intrínsecas e independientemente del evento detonante. La amenaza se define como la "probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de magnitud determinada en un lugar y período específico". Para este caso el fenómeno amenazante es la inundación por el incremento del nivel del mar; la magnitud del fenómeno es un metro; el período de tiempo es de 100 años y el lugar específico son las zonas costeras con diferentes grados de susceptibilidad.

3.1. Erosión de la línea de costa

La erosión marina fue evaluada a partir de la susceptibilidad de la línea de costa a sufrir retroceso por el desgaste que produce el oleaje, la cual se determinó teniendo en cuenta la resistencia o comportamiento frente a la abrasión (estabilidad) de cada unidad geomorfológica, la composición litológica y la resiliencia a la erosión que tiene cada sector del litoral. De este análisis se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación y que son resumidos en la tabla 3.

Tabla 3. Susceptibilidad a la erosión marina de la línea de costa colombiana

Categoría	Litoral Caribe		Litoral Pacífico	
	Extensión (Km)	%	Extensión (Km)	%
Muy baja	173.7	9.6	46.8	3.1
Baja	462.2	25.4	86.2	5.8
Media	569.5	31.2	375.6	25.1
Alta	504.7	27.8	677.2	45.3
Muy alta	108.4	6.0	194.5	13.0
No aplica	---	---	114.8	7.7
<i>Total</i>	<i>1818.5</i>	<i>100</i>	<i>1495.1</i>	<i>100</i>

3.1.1. Susceptibilidad a la erosión del litoral Caribe

De este estudio se determinó que de los 1.819 km de línea de costa en el litoral Caribe, el 9.6% está compuesto por geoformas con muy baja susceptibilidad a la erosión, 25.4% con baja susceptibilidad y 31.2% con moderada susceptibilidad. Estas geoformas corresponden a colinas y terrazas que se caracterizan por presentar fragilidad variable y posiciones en el litoral donde los mecanismos de resiliencia contribuyen a protegerlas del ataque del oleaje. De la línea de costa restante, el 27.8% está compuesto por geoformas altamente susceptibles y 6.0% presentan muy alta susceptibilidad. Las geoformas de la línea de costa con alta y muy alta susceptibilidad a la erosión se caracterizan por ser geoformas frágiles, compuestas principalmente por playas activas y marismas de mangle, unidades geomorfológicas que constituyen el 50.4% de la franja litoral Caribe (*figura 2 y tabla 3*). En el *mapa 3* se presenta un ejemplo de la susceptibilidad a la erosión marina para el sector de Cartagena.

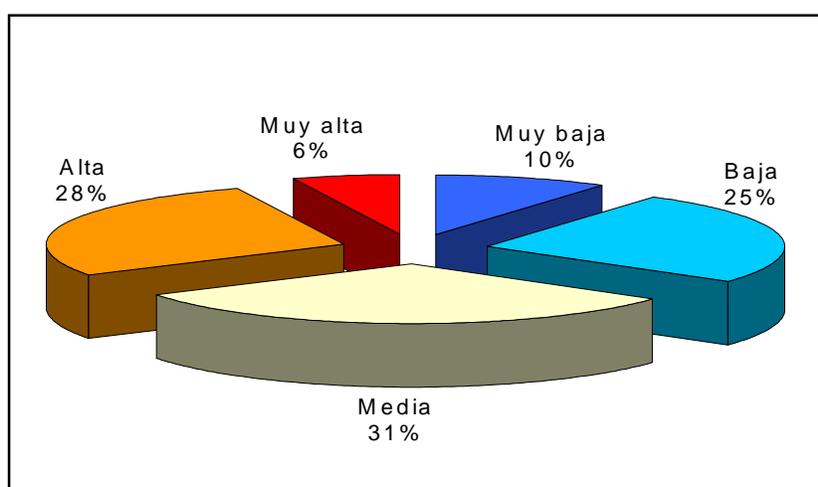


Figura 2. Distribución porcentual de la susceptibilidad a la erosión de la línea de costa del litoral Caribe

3.1.2. Susceptibilidad a la erosión del litoral Pacífico

El análisis y la zonificación de la susceptibilidad a la erosión costera de los 1.495 km. de línea de costa del litoral Pacífico permitió establecer que está compuesta en un 13.0% de geoformas con muy baja susceptibilidad y 45.3% con baja susceptibilidad, constituida por una línea de costa de terrazas y formas estructurales de montaña poco propensas a sufrir erosión por el mar. En la línea de costa restante, el 25.1% está compuesta por geoformas con moderada susceptibilidad, 5.8% son altamente susceptibles y 3.1% presentan muy alta susceptibilidad. Las geoformas de la línea de costa con moderada, alta y muy alta susceptibilidad a la erosión se caracterizan por presentar gran fragilidad ante los procesos erosivos del mar, exposición directa al oleaje y presentar poca a moderada capacidad de reducir los efectos de la erosión. Estas geoformas son principalmente playas activas y marismas, unidades con alta predisposición a ser desgastadas por el oleaje (*figura 3 y tabla 3*).

820000

830000

840000



INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES



REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio del Medio Ambiente

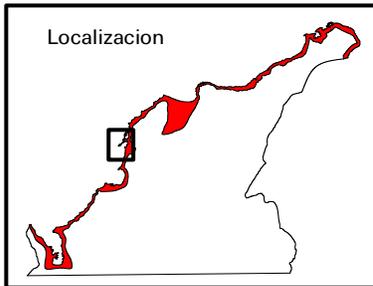


PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO

SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION DE LA LINEA DE COSTA - SECTOR CARTAGENA

LEYENDA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION LITORAL

- 0 - MUY BAJA
- 1 - BAJA
- 2 - MEDIA
- 3 - ALTA
- 4 - MUY ALTA



ESCALA DE TABAJO: 1:100000
ESCALA DE IMPRESION: 1:200000

MAPA 3.

1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

1650000

1640000

1630000

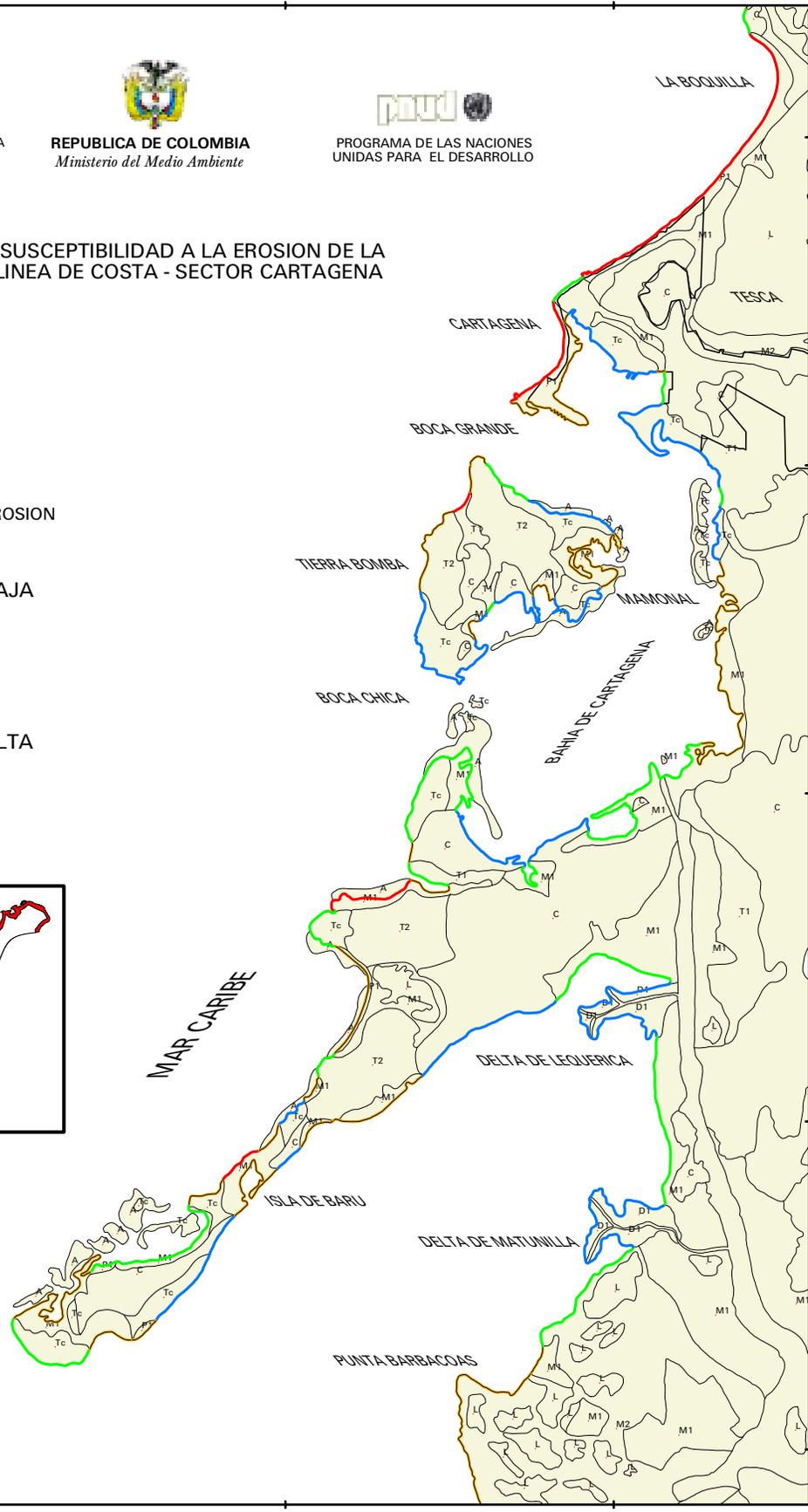
1620000

1610000

820000

830000

840000



3.2. Inundación del litoral

Los impactos asociados a la potencial inundación marina fueron determinados a partir del análisis y la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza. De acuerdo con este enfoque, las zonas litorales pueden presentar distintos grados de susceptibilidad a la inundación, que van desde fuertes a moderados y leves de acuerdo con su configuración geomorfológica y posición altitudinal, así como por su dinámica pasada y actual y los mecanismos de resiliencia a la inundación que presentan algunos sistemas litorales. La definición de los posibles efectos que puede causar sobre la zona costera el ascenso del nivel del mar se fundamenta en los estudios de Nicholls *et al.* (1995), Feenstra *et al.* (1998) y Bird (1993) entre otros. A continuación se presentan los resultados de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza a la inundación.

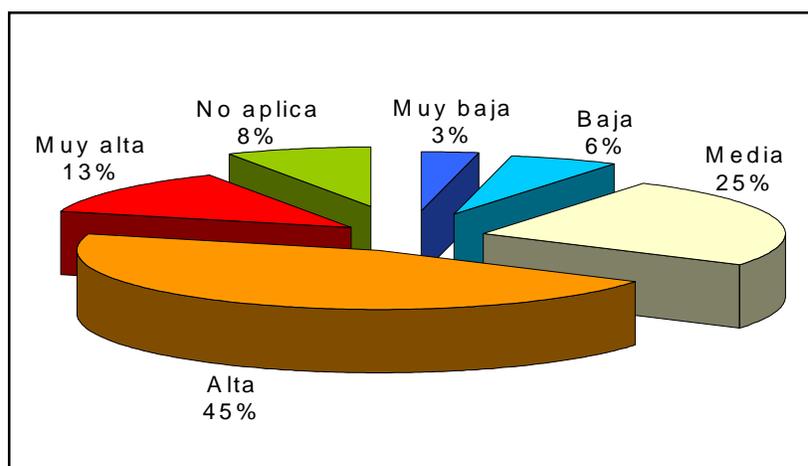


Figura 3. Distribución porcentual de la susceptibilidad a la erosión de la línea de costa del litoral Pacífico.

3.2.1. Susceptibilidad a la inundación

Las geoformas que construyen los litorales presentan diferentes grados de susceptibilidad a la inundación. Para la definición y zonificación de la susceptibilidad se empleó un método empírico basado en el modelamiento cualitativo del medio físico, estableciéndose 5 grados de susceptibilidad de acuerdo con las características texturales y geométricas de las geoformas y su relación con la dinámica marina. Del estudio del análisis de la susceptibilidad a la inundación de los litorales Caribe y Pacífico se destacan los siguientes resultados:

3.2.1.1. Susceptibilidad a la inundación del litoral Caribe

Este análisis mostró que de los 12.188,4 km² del área de estudio, el 11.0% de las geoformas presentan muy alta susceptibilidad y están compuestas por aquellos depósitos que se encuentran por debajo del nivel del mar; el 9.8% de las geoformas se consideran de alta susceptibilidad y están caracterizadas por su posición a nivel del mar; el 19.1% del área presenta susceptibilidad moderada, donde se incluyen las geoformas situadas entre 0 y 1 metro sobre el nivel del mar; mientras que es de baja susceptibilidad el 19.2% del área, con geoformas altitudinalmente dispuestas entre 1 y 3 metros; y de muy baja susceptibilidad el 16.7%, constituida por geoformas altas situadas entre 3 y 5 metros sobre el nivel del mar.

En el área de estudio del Caribe, el 24.2% comprende geoformas consideradas no susceptibles a la inundación marina. En el *mapa 4* se presenta un ejemplo de la zonificación de la susceptibilidad a las inundaciones para el sector de Cartagena.

3.2.1.2. Susceptibilidad a la inundación del litoral Pacífico

Su análisis y zonificación mostró que de los 26.424,8 km² del área de estudio, el 3.3% presentan muy alta susceptibilidad, compuesto por geoformas que se encuentran por debajo del nivel del mar; el 2.3% de las geoformas se consideran de alta susceptibilidad, caracterizadas por su posición a nivel del mar; el 11.8% comprende geoformas con susceptibilidad medio-alta y posición a nivel con el mar bajo la fluctuación de la marea; el 10.5% del área presenta susceptibilidad moderada, donde se incluyen las geoformas situadas entre 0 y 1 metro sobre el nivel del mar; es de baja susceptibilidad el 8.7% del área, con geoformas altitudinalmente dispuestas entre 1 y 3 metros; y de muy baja susceptibilidad el 0.5%, constituida por geoformas altas situadas entre 3 y 5 metros sobre el nivel del mar. En el área de estudio el 62.8% comprende geoformas consideradas no susceptibles a la inundación marina.

3.2.2. Definición de la amenaza por inundación

Teniendo en cuenta la definición de la amenaza como la "*probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino de magnitud determinada en un lugar y período específico*" se puede determinar como fenómeno el incremento del nivel del mar; la magnitud del fenómeno un metro; el período de tiempo 100 años; el efecto dañino la inundación del litoral y el lugar específico las zonas costeras, que presentan diferentes grados de susceptibilidad. Aunque la proyección de un metro de ascenso del nivel del mar para fines del presente siglo constituye la estimación alta, hay consenso en que este valor constituye un nivel de ascenso potencial y de seguridad con el cual hay que diseñar las medidas de adaptación. Según el modelo del IDEAM de incremento del nivel explicado en el aparte de escenarios climáticos, se proyectó un incremento de 40 cm en el litoral Caribe y de 60 cm en el litoral Pacífico para el año 2060.

820000

830000

840000



INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES



REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio del Medio Ambiente

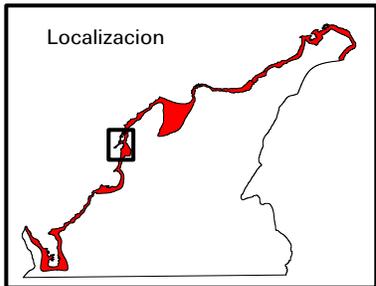


PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO

SUSCEPTIBILIDAD A LA INUNDACION LITORAL SECTOR CARTAGENA

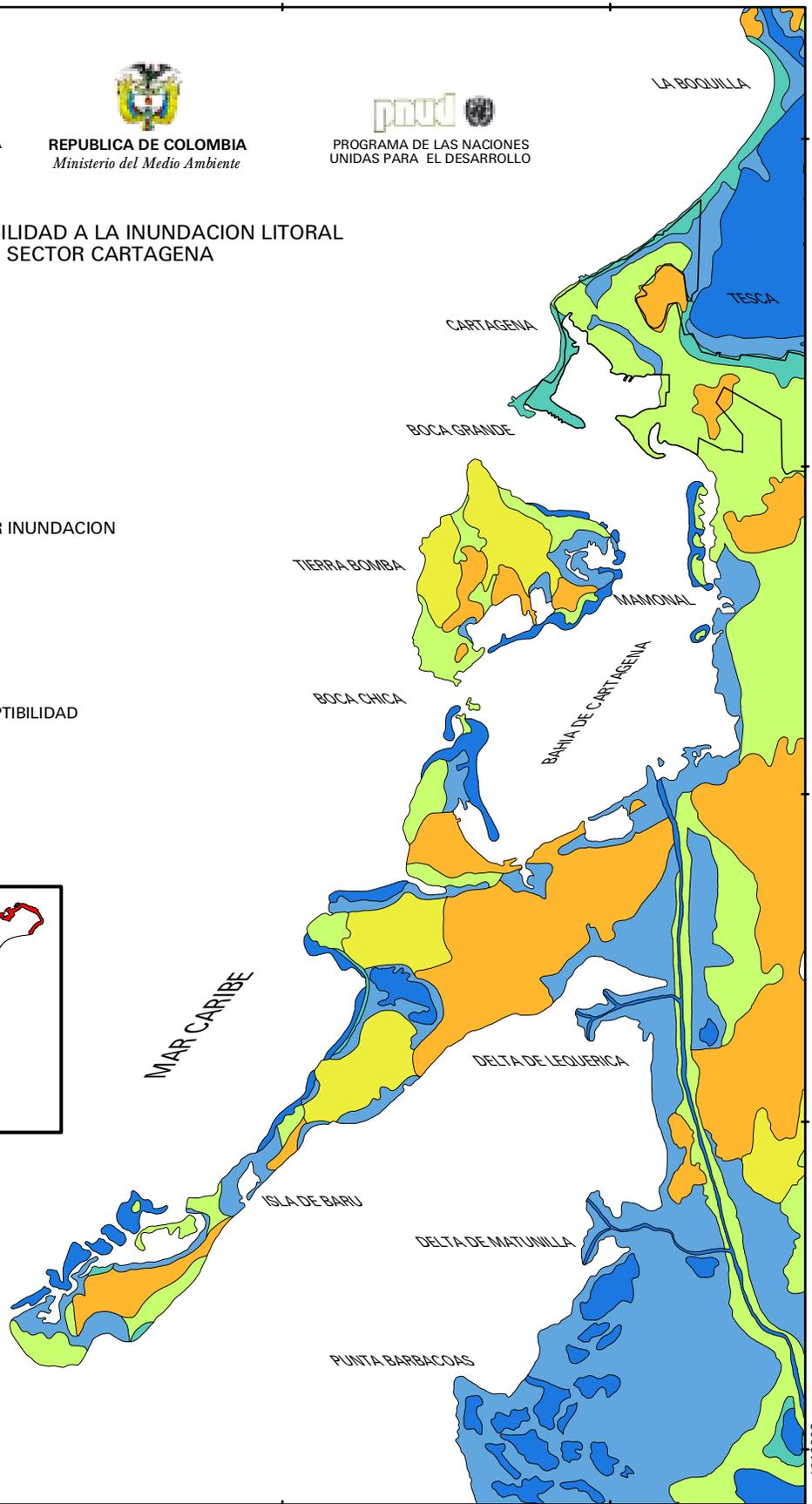
LEYENDA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACION LITORAL

- MUY ALTA
- ALTA
- MEDIA
- BAJA
- MUY BAJA
- SIN SUSCEPTIBILIDAD



ESCALA DE TABAJO: 1:100000
ESCALA DE IMPRESION: 1:200000

MAPA 4.



1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

820000

830000

840000



*Viviendas construidas sobre una marisma de mangle, en Turbo (Antioquia).
Fotografía de Néstor Javier Martínez.*

Cabe anotar que el fenómeno amenazante es definido como de acumulación lenta y casi imperceptible, lo cual repercute en el análisis de la vulnerabilidad de los elementos potencialmente expuestos. Dadas las condiciones de resolución, el escenario de amenaza se evaluó considerando un evento de 1 metro para 100 años. Para caracterizar los diferentes efectos de la amenaza por inundaciones se establecieron las siguientes categorías:

- Zona de amenaza alta: comprende terrenos que serían afectados por inundación permanente, corresponde a marismas activas, manglares, salares, salinas, donde se presentaría la progresiva inundación de los terrenos ante el ascenso del nivel marino durante los próximos 100 años. Para el litoral Pacífico se estableció adicionalmente una categoría de amenaza medio-alta que designa la probabilidad de ser afectada por una inundación fluctuante, ocasionada por el avance y retroceso periódico de la marea, la cual frente al ascenso del nivel del mar causaría una mayor inundación de las áreas ya afectadas por el flujo mareal.
- Zona de amenaza media: comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento fuerte a inundación, y que corresponde a los cordones litorales actuales, las playas y los deltas activos. Son áreas localizadas entre 0 y 1 metro de altura aproximadamente respecto al nivel del mar actual, y en ellas la intensidad del efecto dependerá de la pendiente y la variación altitudinal de las geoformas, que podrían sufrir desde encharcamiento superficial severo hasta el cubrimiento por una lámina de agua.
- Zona de amenaza baja: comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento leve y moderado, y que corresponde a terrazas bajas comprendidas

entre 1 metro y 3 metros de altura. El encharcamiento está relacionado con el ascenso del nivel freático, inclusive hasta la superficie del terreno, en un grado variable que dependerá de la posición altitudinal de la geoforma y de sus irregularidades.

- Otros efectos: las áreas que no se verían afectadas por inundación pero si por el aumento del nivel freático y posible salinización corresponden a las geoformas cuya posición altitudinal se encuentra entre los 3 y los 5 metros sobre el nivel del mar actual, tales como terrazas bajas y deltas subcrecientes.
- Sin efecto: la zona sin efectos corresponde a las terrazas altas, colinas y cuchillas fuera del alcance del proyectado ascenso del nivel del mar.

Del estudio y zonificación de la amenaza por inundación marina en los litorales Caribe y Pacífico se resaltan los siguientes resultados, los cuales son resumidos en la tabla 4 y explicados a continuación:

3.2.2.1. Amenaza por inundación del litoral Caribe

Las siguientes son las áreas que serían potencialmente afectadas por la inundación marina, discriminadas de acuerdo con el grado de amenaza que presentan (*tabla 4 y figura 4*): la zona de amenaza alta cubre 1.192,2 km² (9.8%) y comprende terrenos que serían afectados por inundación permanente; la zona de amenaza media cubre 2.331,4 km² (19.1%) y comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento fuerte a inundación y la zona de amenaza baja cubre 2.336,0 km² (19.2%) y comprende terrenos que serán afectados por encharcamiento leve y moderado. En el *mapa 5* se presenta un ejemplo de la zonificación de la amenaza por inundación asociada al ascenso del nivel del mar para el sector de Cartagena.

Tabla 4. Amenaza por inundación marina en el litoral colombiano

Grado de amenaza y otros efectos	Litoral Caribe		Litoral Pacífico	
	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%
Alta	1192.2	9.8	617.7	2.3
Media-alta	---	---	3121.0	11.8
Media	2331.4	19.1	2772.9	10.5
Baja	2336.0	19.2	2301.4	8.7
Profundización	1338.8	11.0	874.8	3.3
Ascenso nivel freático	2041.3	16.7	132.9	0.5
Sin potenciales efectos	2948.7	24.2	16604.1	62.8
<i>Total</i>	<i>12188.4</i>	<i>100</i>	<i>26424.8</i>	<i>100</i>

La zona de amenaza alta comprende terrenos que serían afectados por inundación permanente, corresponde a marismas activas, manglares, salares, salinas, donde se presentará la progresiva inundación de los terrenos ante el ascenso del nivel marino dentro de los próximos 100 años. Se vería afectadas importantes áreas de Cartagena localizadas al sur de la ciénaga de Tesca, donde se asientan numerosos barrios

820000

830000

840000



INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA
Y ESTUDIOS AMBIENTALES



REPUBLICA DE COLOMBIA
Ministerio del Medio Ambiente



PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL DESARROLLO

AMENAZA POR INUNDACION LITORAL SECTOR CARTAGENA

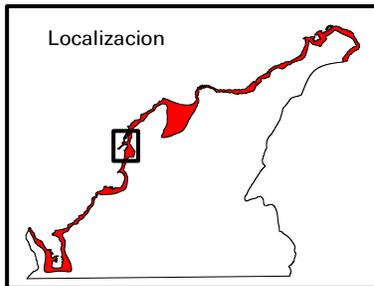
LEYENDA

AMENAZA POR INUNDACION LITORAL

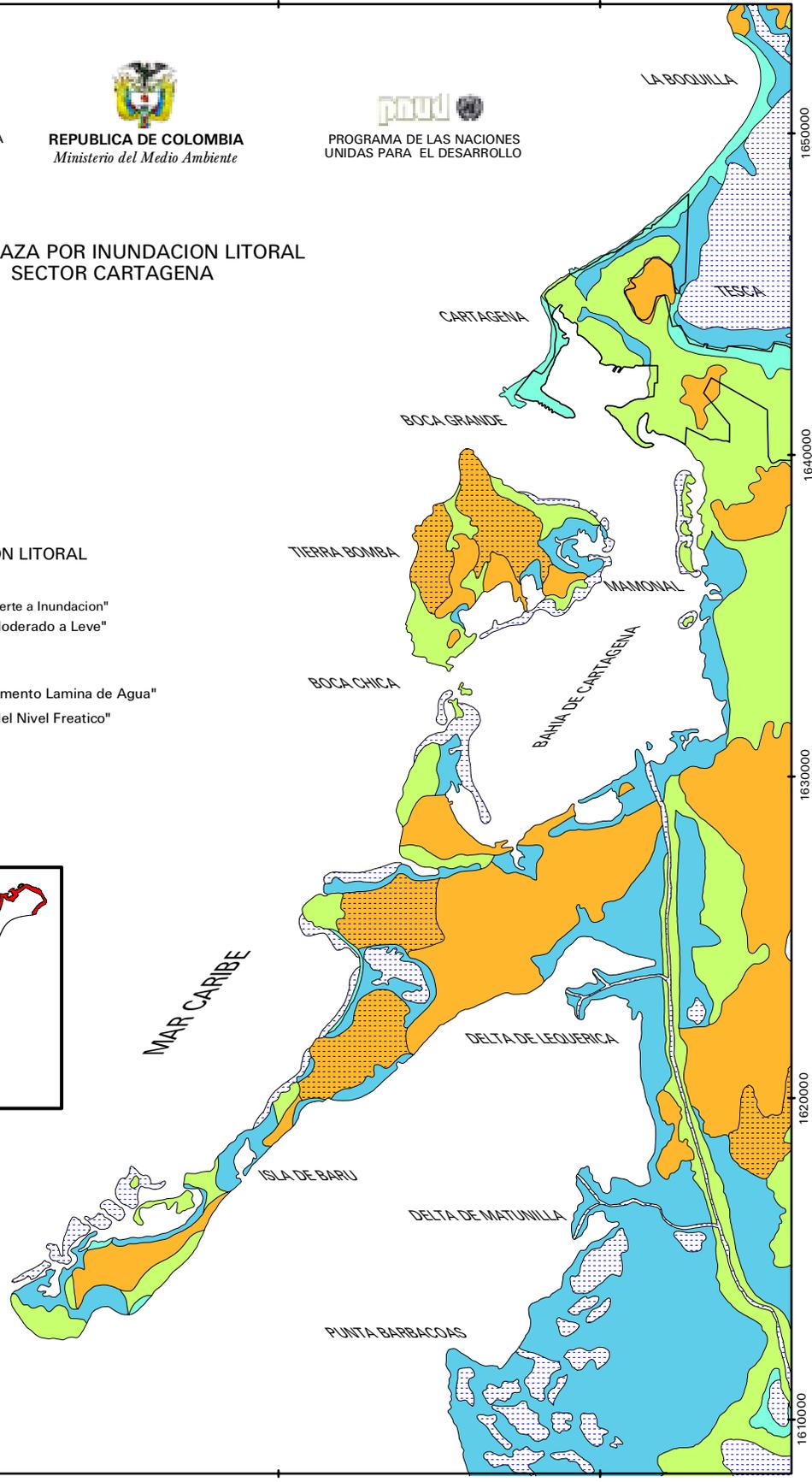
- ALTA "Inundacion"
- MEDIA "Encharcamiento Fuerte a Inundacion"
- BAJA "Encharcamiento Moderado a Leve"

OTROS EFECTOS

- PROFUNDIZACION "Incremento Lamina de Agua"
- NULA "Posible Ascenso del Nivel Freatico"
- NULA "Sin Efectos"



ESCALA DE TABAJO: 1:100000
ESCALA DE IMPRESION: 1:200000
MAPA 5.



1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

1650000

1640000

1630000

1620000

1610000

820000

830000

840000

marginales sobre zonas de marisma. Caso similar ocurre en la ciudad de Turbo, donde parte de su casco urbano ha sido levantado sobre una marisma de mangle. Igualmente se verían afectadas importantes instalaciones industriales y portuarias ubicadas en antiguas marismas de mangle y plataformas coralinas.

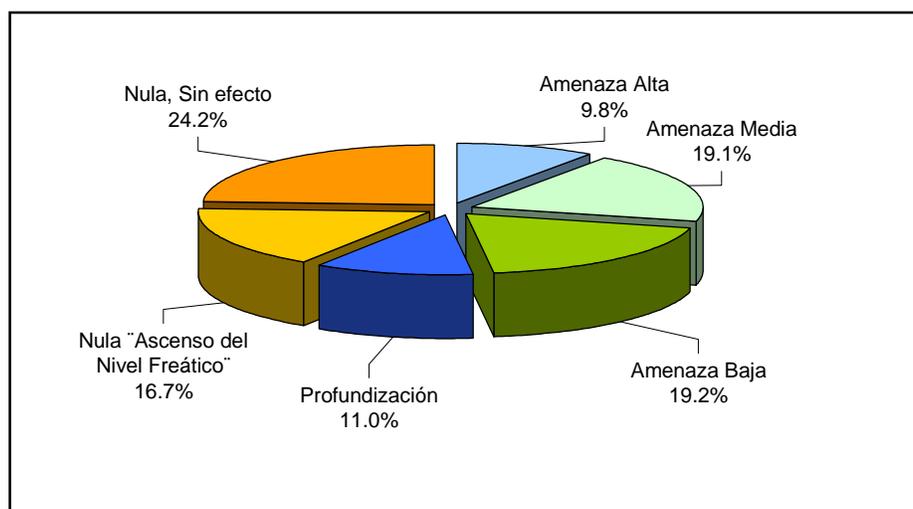


Figura 4. Distribución porcentual de la amenaza por inundación marina y otros efectos en el litoral Caribe

La zona de amenaza media comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento fuerte a inundación, que corresponde a las geoformas de cordones litorales actuales y playas y los deltas activos. Son áreas localizadas aproximadamente entre 0 y 1 m de altura aproximadamente respecto al nivel del mar actual, y en ellas la intensidad del efecto dependerá de la pendiente y la variación altitudinal de las geoformas, las cuales podrían sufrir procesos que irían desde el encharcamiento superficial severo hasta el cubrimiento por una lámina de agua. Bajo esta amenaza se encuentra el importante sector turístico y residencial de Bocagrande en Cartagena, donde el incremento del nivel del mar en un metro produciría la pérdida de pendiente en el sistema de drenaje urbano de alcantarillado y la posible licuación de los depósitos de arena que sustentan las construcciones del sector turístico frente a un evento sísmico.

La zona de amenaza baja comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento leve y moderado, y que corresponde a terrazas bajas comprendidas entre 1 metro y 3 metros de altura aproximadamente, los cuales podrían presentar procesos como el ascenso del nivel freático y el encharcamiento en grado moderado a leve, dependiendo de la forma y la posición altitudinal de la geoforma. Se verían afectadas poblaciones como Tolú, Coveñas y El Rodadero, donde el encharcamiento produciría la obstrucción del drenaje y un incremento de la posibilidad de licuación de las arenas ante un evento sísmico.

Las zonas con el efecto de profundización corresponden a ciénagas y arrecifes de coral. Estas unidades sufrirían un incremento en la profundidad de sus aguas, lo cual puede afectar los ecosistemas de las ciénagas y corales, además de los sistemas de producción natural y algunos asentamientos humanos construidos sobre palafitos.

Las áreas que no se verían afectadas por la inundación marina pero si por el aumento del nivel freático y una posible salinización, espacialmente corresponden a las geoformas cuya posición altitudinal se encuentra aproximadamente entre los 3 y los 5 metros sobre el nivel del mar actual, tales como terrazas bajas y deltas subcrecientes. En el Caribe el fenómeno de salinización se relaciona con la invasión de la cuña salina y el aumento del nivel freático a través de la capilaridad.



*Ejemplo de erosión marina que produce el retroceso de la línea de costa en Salgar (Atlántico).
Fotografía de Kim Robertson.*

3.2.2.2. Amenaza por inundación del litoral Pacífico

Las siguientes son las áreas que serían potencialmente afectadas por la inundación marina, discriminadas de acuerdo con el grado de amenaza que presentan (*tabla 2*): la zona de amenaza alta cubre 617,7 km² (2,3%) y comprende terrenos que serían afectados por inundación permanente; en amenaza medio-alta se encuentran 3121,0 km² (11.8%) del área evaluada; la zona de amenaza media cubre 2771,7 km² (10,5%) y comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento fuerte a inundación; y una zona de amenaza baja que cubre 2301,4 km² (8,7%) y comprende terrenos que serían afectados por procesos de encharcamiento leve y moderado (*figura 5*).

La zona de amenaza alta comprende terrenos que serían afectados por inundación permanente y que corresponde con el valle fluvial inundable del río Patía. En estos pantanos, se presentaría la progresiva inundación de los terrenos ante el ascenso del

nivel marino dentro de los próximos 100 años. Se verán afectadas grandes extensiones pantanosas del delta del Patía que actualmente no presentan usos importantes.

La zona de amenaza medio-alta designa un área de geoformas que serían afectadas por una inundación fluctuante, ocasionada por el avance y retroceso periódico de la marea, la cual frente al ascenso del nivel del mar causará una mayor inundación de las áreas ya afectadas por la marea. Se incluyen en esta área sectores ocupados por barrios marginales de la ciudad de Buenaventura, Tumaco y Satinga, que fueron levantados sobre palafitos.

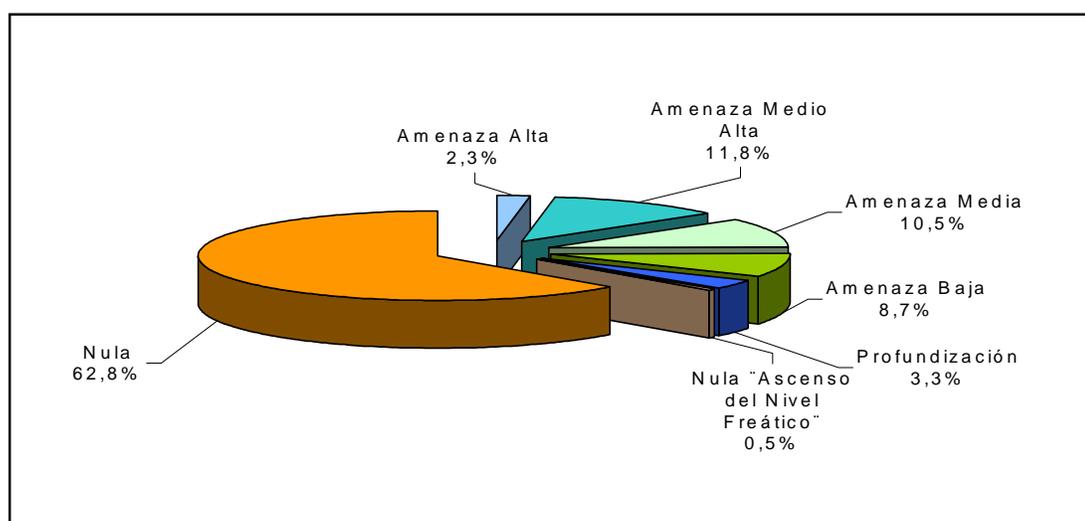


Figura 5. Distribución porcentual de la amenaza por inundación marina y otros efectos en el litoral Pacífico.

La zona de amenaza media comprende terrenos que serán afectados por encharcamiento fuerte a inundación, los cuales corresponden a los cordones litorales actuales y las playas y deltas activos. Son áreas localizadas aproximadamente entre 0 y 1 m de altura respecto al nivel del mar actual, y en ellas la intensidad del efecto dependerá de la variación altitudinal de las geoformas, con encharcamiento superficial severo hasta inundación. Bajo esta amenaza se encuentran numerosos caseríos distribuidos a lo largo del litoral que aprovechan estas playas o firmes para levantar sus viviendas; adicionalmente, deben destacarse las zonas turísticas de Tumaco, Buenaventura y Nuquí, que también presentarán este efecto.

La zona de amenaza baja comprende terrenos que serían afectados por encharcamiento leve y moderado, donde esta zona corresponde a geoformas situadas aproximadamente entre 1 y 3 metros de altura tales como terrazas bajas, las cuales serían afectadas por un ascenso del nivel freático y encharcamiento en grado variable entre moderado y leve, el cual dependerá de la forma y la variación altitudinal de la geoforma. Se verían afectadas grandes extensiones de terreno asociadas con las vegas de divagación de los principales ríos.

Las áreas que no se verían afectadas por inundación directa, pero sí por el aumento del nivel freático corresponde a los terrenos conformados por la geoformas cuya posición altitudinal aproximada se encuentra entre los 3 y los 5 metros sobre el nivel del mar actual, donde se encuentran geoformas tales como las terrazas bajas y los deltas subrecientes. La zona sin efecto corresponde a los terrenos constituidos por geoformas como las terrazas altas, las colinas y cuchillas, unidades que están fuera del alcance del proyectado ascenso del nivel del mar.

3.2.3. Otros impactos biofísicos

Asociados con el proceso de inundación marina por el ascenso del nivel del mar, se presentarían también otros efectos que pueden ser considerados indirectos pero que están asociados con este fenómeno. Estos otros impactos que se observarían sobre el litoral son: profundización de los cuerpos de agua y ascenso del nivel freático.

3.2.3.1. Profundización de los cuerpos de agua

Este efecto se presentaría en las geoformas que se encuentran por debajo del nivel del mar, las cuales son geoformas que en la actualidad se encuentran permanentemente sumergidas la mayor parte del tiempo. Por causa del incremento del nivel del mar se produciría la profundización y el incremento del espesor de la columna de agua que recubre estas geoformas. En el litoral Caribe las zonas con profundización corresponden a ciénagas y arrecifes de coral, cartografiados los segundos en forma aproximada para este estudio. Estas unidades sufrirían un incremento en la profundidad de sus aguas, lo cual puede afectar los ecosistemas de ciénagas y corales, además de los sistemas de producción natural y algunos asentamientos humanos construidos sobre palafitos. Las áreas con profundización en el litoral Caribe representan 1.338,8 km² de ciénagas y arrecifes de coral principalmente, donde se incluyen también los cauces bajos de los principales ríos y el Canal del Dique. En el litoral Pacífico, los cuerpos de agua con profundización cubren 874,8 km², representados en las bocanas y los cauces.

3.2.3.2 Ascenso del nivel freático y salinización

Las áreas que se verán afectadas por un aumento del nivel freático y posible salinización corresponden a las geoformas cuya posición altitudinal aproximada se encuentra entre los 3 y los 5 metros sobre el nivel del mar actual, donde se encuentran geoformas tales como terrazas bajas y deltas subrecientes. En el litoral Caribe, el fenómeno de salinización se relaciona con la invasión de la cuña salina y el aumento del nivel freático a través de la capilaridad, donde se verán afectados 2.041,3 km² principalmente en terrazas bajas y deltas subrecientes. En el litoral Pacífico se verían afectados 132,9 km² (0.5%) con ascenso del nivel freático, en cuanto que la salinización es poco probable debido a la alta precipitación en esta zona costera.

4. VULNERABILIDAD DE LOS ELEMENTOS NATURALES COSTEROS

En este estudio se ha definido como elemento natural a uno o varios componentes del medio biofísico que cumplen una función ecosistémica y socioeconómica importante. Los elementos naturales que se tuvieron en cuenta para el análisis de la vulnerabilidad son: ciénagas salobres, ciénagas de agua dulce, zonas pantanosas, arrecife de coral, cauce de ríos, playas, marismas con salares, marismas con salinas, marismas con manglar, marismas con vegetación halófito, marismas con manglar muerto y bocanas.

En las *tablas 5 y 6* se presenta los resultados del análisis de la exposición de estos elementos naturales a la amenaza por inundación marina en los litorales Caribe y Pacífico. En las *tablas 7 y 8* se presentan los niveles de daño y el índice de vulnerabilidad de dichos elementos naturales costeros colombianos.

Tabla 5. Elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Caribe Colombiano

Unidad Expuesta	Grado de Amenaza						Otros efectos			
	Baja		Media		Alta		Profundización		Ascenso del nivel freático	
Elemento natural	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Ciénagas salobres							981,3	100		
Ciénagas de agua dulce							104,6	100		
Zonas pantanosas					94,0	100				
Arrecife coralino							13,5	100		
Cauces de ríos							240,7	100		
Playas			256,9	100						
Marismas con salares					73,8	100				
Marismas con salinas					57,6	100				
Marismas con manglar			151,1	28,1	387,0	71,9				
Marismas con vegetación halófito			280,8	100						
Marismas con manglar muerto			229,6	100						

De este análisis se puede resaltar que en el litoral Caribe colombiano los elementos naturales más expuestos por el ascenso del nivel del mar son las ciénagas salobres y de agua dulce, que sufrirían profundización e intrusión de las aguas saladas que posiblemente cambiarán su estructura ecosistémica. Las playas, con 256.9 km² estarán expuestas a una amenaza por erosión e inundación marina. En el litoral Pacífico los elementos más expuestos serían las marismas con manglar, presentándose 3.121 km² en zona de amenaza media alta por fluctuaciones del nivel del mar y la acción de futuras mareas mayores.

Tabla 6. Elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico Colombiano

Unidad expuesta	Amenaza								Otros efectos			
	Baja		Media		Media-alta		Alta		Profundización		Ascenso del nivel freático	
Elemento natural	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Bocanas									683,7	100		
Marismas con Manglar					3121	100						
Cauces de Ríos									191.2	100		
Playas			436.4	100								

Los elementos naturales del litoral Caribe más vulnerables son las playas, con un nivel de daño III y las marismas con manglar, con un nivel de daño III también. Otros elementos naturales del Caribe con vulnerabilidad moderada (nivel de daño II) son las ciénagas de agua dulce, y las marismas con salares. En el litoral Pacífico los elementos naturales más vulnerables son igualmente las playas, con un nivel de daño II; los restantes elementos presentarían una vulnerabilidad baja (nivel de daño I), donde se encuentran las bocanas y las marismas de mangle.

Tabla 7. Nivel de daño e índice de vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Caribe colombiano.

Unidad expuesta	Amenaza						Otros efectos			
	Baja		Media		Alta		Profundización		Ascenso del nivel freático	
Elemento natural	Daño	Índice	Daño	Índice	Daño	IV	Daño	IV	Daño	Índice
Ciénagas salobres							I	0 -0,25		
Ciénagas de agua dulce					II	0,25- 0,5				
Zonas pantanosas							I	0 -0,25		
Arrecife coralino							I	0 -0,25		
Cauces de ríos							I	0 -0,25		
Playas			III	0,5- 0,75						
Marismas con salares					II	0,25- 0,5				
Marismas con salinas					I	0 -0,25				
Marismas con manglar			II	0,25- 0,5	III	0,5- 0,75				
Marismas con vegetación halófitas			I	0 -0,25						
Marismas con mangle muerto			I	0 -0,25						



Marisma de mangle de la ensenada de Rionegro, municipio de Necoclí (Antioquia).
Fotografía de Néstor Javier Martínez.

Tabla 8. Nivel de daño e índice de vulnerabilidad de los elementos naturales expuestos a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico

Unidad expuesta	Amenaza								Otros efectos			
	Baja		Media		Media-alta		Alta		Profundización		Ascenso del nivel freático	
Elemento natural	Daño	Índice	Daño	Índice	Daño	Índice	Daño	Índice	Daño	Índice	Daño	Índice
Bocanas									I	0 -0,25		
Marismas con Manglar					I	0 -0,25						
Cauces de Ríos									I	0 -0,25		
Playas			II	0,25 - 0,5								

5. VULNERABILIDAD DE LA POBLACION Y LAS VIVIENDAS

En los últimos 20 años, la zona costera colombiana y en especial la del litoral Caribe, ha recibido notable atención por el deterioro del sistema natural costero, el cual está relacionado con los impactos ambientales y sociales derivados principalmente del cambio en el patrón de asentamiento de la población en el medio biofísico. Este cambio se manifiesta en el incremento de la participación de la población del litoral respecto al total nacional, en una alta concentración de la población en los centros urbanos costeros y la localización durante este período de importantes complejos industriales, algunos de ellos situados en tierras bajas del litoral.

Estos cambios en el patrón de asentamiento dan muestra de unos elementos socioeconómicos expuestos a fenómenos naturales como el ascenso del nivel del mar asociado al cambio climático, los tsunamis y las tormentas, por ejemplo. Por otra parte, la vulnerabilidad de estos elementos se acentúa si se tiene en cuenta que estos procesos, por lo general, están acompañados de altos índices de población en estado de pobreza, alta densidad poblacional, tasas de crecimiento por encima de los parámetros nacionales y falta de planeación, ordenamiento y control del uso del espacio.

5.1. Dinámica poblacional del litoral

La configuración socioespacial del país muestra, que si bien las dos costas presentan algunos elementos en común en cuanto a la vulnerabilidad, ellas están llenas de contrastes que son el producto de las especificidades en sus procesos de poblamiento, de las características demográficas, culturales y económicas de su población y de las características, así como de la dinámica de los procesos naturales que definen la configuración y la estabilidad de sus litorales.

5.1.1. La población del litoral Caribe

La zona costera del Caribe colombiano presenta un fuerte dinamismo, que se manifiesta en una rápida concentración de la población en la región con respecto al total nacional (21,0%). En la zona de estudio se encuentran 6 de las 30 ciudades más pobladas del país: Barranquilla, que ocupa el cuarto (4) lugar y concentra el 3,04% de la población nacional; Cartagena, en el quinto (5) lugar con el 2,13% de la población; Santa Marta, que ocupa el undécimo (11) lugar y participa con el 0,88% de la población; Ciénaga, en el puesto 22 y con 0,41% de población; Riohacha en el puesto 23, con 0,40% de la población; y Malambo, en el puesto 30 y que representa el 0,32% de la población (Zambrano, 1993).

El patrón de asentamiento predominante en el Caribe es lineal, siguiendo los cordones de playa y constituyendo poblaciones concentradas que conforman grandes conglomerados como Cartagena, Santa Marta y Barranquilla, o poblaciones nucleadas comparativamente de menor tamaño, como son Turbo, Necoclí, Acandí, Tolú y San Bernardo del Viento, entre otras. En general, estas pautas de asentamiento responden al dinamismo que impone el sector servicios, y en especial la actividad turística y el comercio. La población rural, por su parte, presenta un patrón lineal-disperso, con algunos núcleos a lo largo del litoral y/o de las vías; sus poblaciones viven de un comercio, predominantemente informal, o del transporte y servicios conexos. De igual manera, se encuentra un patrón de asentamiento anular disperso y/o concentrado alrededor de las ciénagas, con población que vive de la pesca y la agricultura de subsistencia.

La dinámica demográfica y socioeconómica dentro del contexto regional refleja grandes contrastes, por una parte, se observan asentamientos urbanos con una fuerte actividad agroindustrial, turística y comercial, receptores de población, no sólo por la actividad económica que desarrollan sino por ser sitios de llegada de población desplazada por el conflicto actual. De otra parte, se encuentran asentamientos urbanos y rurales con un relativo estancamiento o con tendencia al empobrecimiento, que los ha llevado a ser expulsores de población; y otros, en los que aunque su actividad productiva aporta al crecimiento económico, socialmente se encuentran marginados del proceso de desarrollo de la región.

5.1.2. La población del litoral Pacífico

En la costa Pacífica el proceso histórico de poblamiento da cuenta de una estrecha relación entre la población (comunidades negras, indígenas y de colonos) y el espacio geográfico, relación que ha jugado un papel importante en las diferentes fases de ocupación del territorio de la zona costera del Pacífico y en la transformación de la oferta natural que ésta alberga. En su zona de estudio se encuentran 2 de las 30 ciudades más pobladas del país: Buenaventura, que ocupa el decimotercer (13) lugar y concentra el 0.76% de la población nacional y Tumaco, que ocupa el vigesimonoveno (29) lugar, con el 0,32% de la población (Zambrano, 1993).

El patrón de asentamiento predominante en el Pacífico es el disperso con grandes vacíos poblacionales. En este sentido, se observa desde el punto de vista morfológico un patrón lineal a lo largo de los cordones de playa, con centros nucleados de gran tamaño como Tumaco y Buenaventura, y otros de menor tamaño como Nuquí y Salahonda. En general, estas pautas de asentamiento responden al dinamismo que impone la actividad de los puertos de Buenaventura, Tumaco y su articulación funcional con ciudades como Popayán, Pasto y Cali. La población rural presenta un patrón lineal disperso con algunos núcleos a lo largo del litoral, de los ríos y las vías. Sus poblaciones, predominantemente conformadas por afrocolombianos han estado asentadas desde el siglo XVIII en la región, ocupando los cauces de los ríos, esteros y

el litoral, haciendo un uso social del espacio del río y del mar, el cual utilizan como espacio lúdico, de explotación económica y para localización de sus viviendas.

Los centros urbanos de Tumaco y Buenaventura son centros de actividad industrial, transporte y comercio, que mantiene relaciones con centros regionales y nacionales, a los cuales les prestan servicios de abastecimiento de bienes y de servicios. Los otros núcleos urbanos se encuentran articulados a centros regionales localizados por fuera de los límites de sus departamentos e incluso de sus regiones. El dinamismo de estos centros urbanos, especialmente con la construcción del ferrocarril del Pacífico y la instalación portuaria, generó un acelerado proceso de urbanización que trajo como consecuencia la ocupación del espacio público (la playa y el mar), con el asentamiento de numerosa población pobre, que es muy vulnerable a la amenaza por inundación.

5.2. Caracterización de la población expuesta

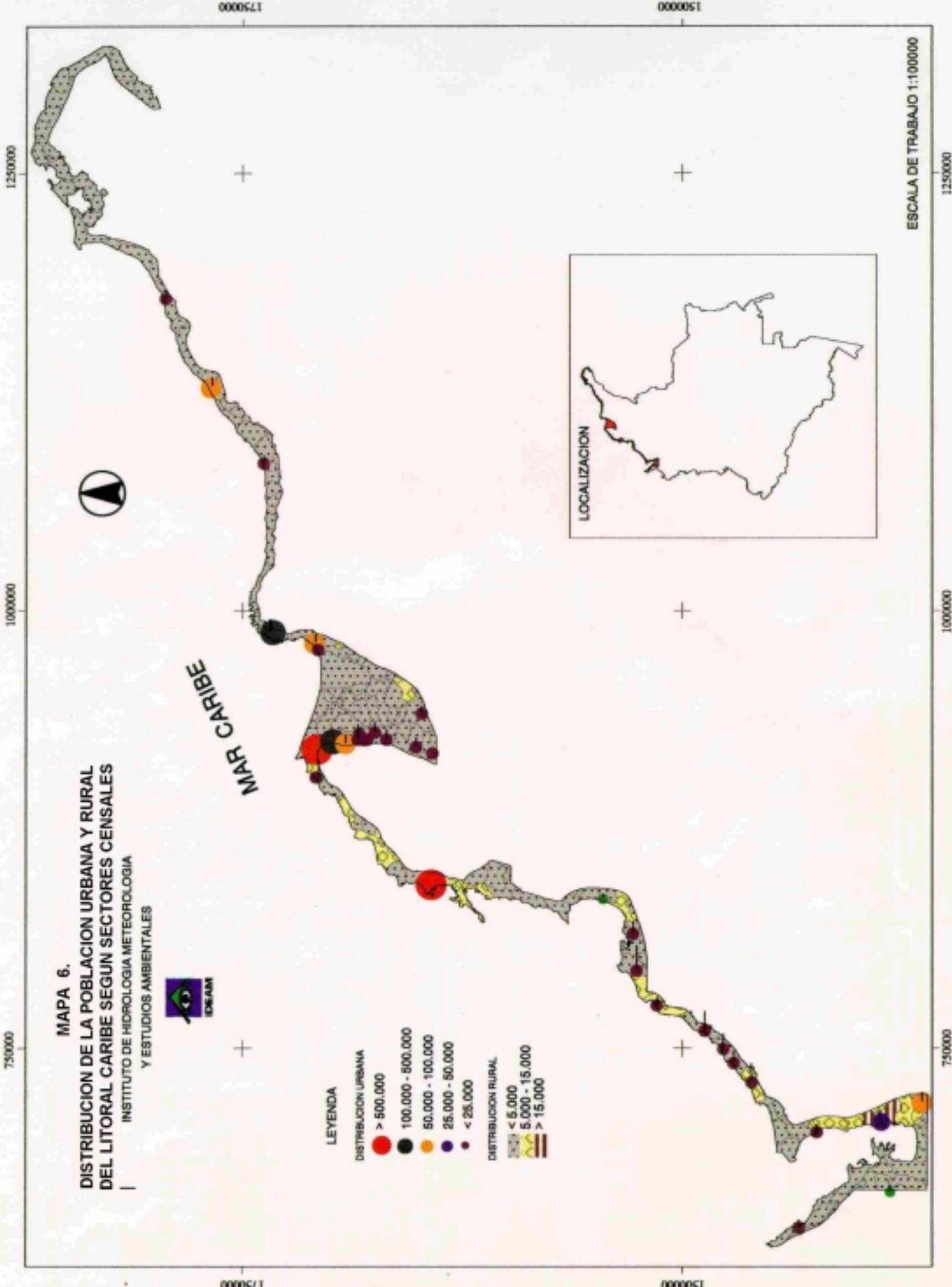
Para el análisis de la vulnerabilidad de la población se utilizó la información básica del Censo Nacional de Población y de Vivienda 1993 (microdatos) y del estudio de población IDEAM-Universidad Nacional (1996), realizado mediante un convenio de investigación. Para la información del DANE se tomó como base para el análisis espacial y alfanumérico el sector censal, del cual se seleccionaron las variables de población total (urbana y rural), vivienda y hogares. En cuanto a la información de IDEAM-Universidad Nacional (1996), se utilizó el mapa de distribución de la población, escala 1:500.000, para localizar la población dispersa reportada por el DANE. En el *Mapa 6* se observa un ejemplo de la distribución de la población para el litoral Caribe.

El sector censal rural es la división cartográfica mayor que se le hace a un municipio. Los límites están generalmente definidos por elementos de carácter permanente y los cuales pueden ubicarse fácilmente en el terreno como ríos, drenajes, canales, filos de montaña y carreteras, entre otros ejemplos. El sector censal urbano comprende entre 1 y 9 secciones. Se identifica en la cartografía por un código de 4 dígitos encerrados en un rectángulo. En las cabeceras municipales y en los centros poblados, el sector comprende varias secciones contiguas.

Teniendo en cuenta que la población es un factor dinámico y la probabilidad de ocurrencia de la amenaza por inundación está determinada por una magnitud de 1 metro en un período de 100 años, el nivel de daño físico de las personas en cualquier categoría de amenaza es de cero (0), por lo cual su vulnerabilidad es nula. Sin embargo, la vulnerabilidad de las personas a la inundación por el ascenso del nivel del mar podría ser significativa en su aspecto funcional y social.

5.2.1. Población expuesta en el litoral Caribe

La población localizada en la zona evaluada como área de estudio del litoral Caribe es de aproximadamente 2.104.237 personas, de las cuales 1,152,816 se encuentran en el

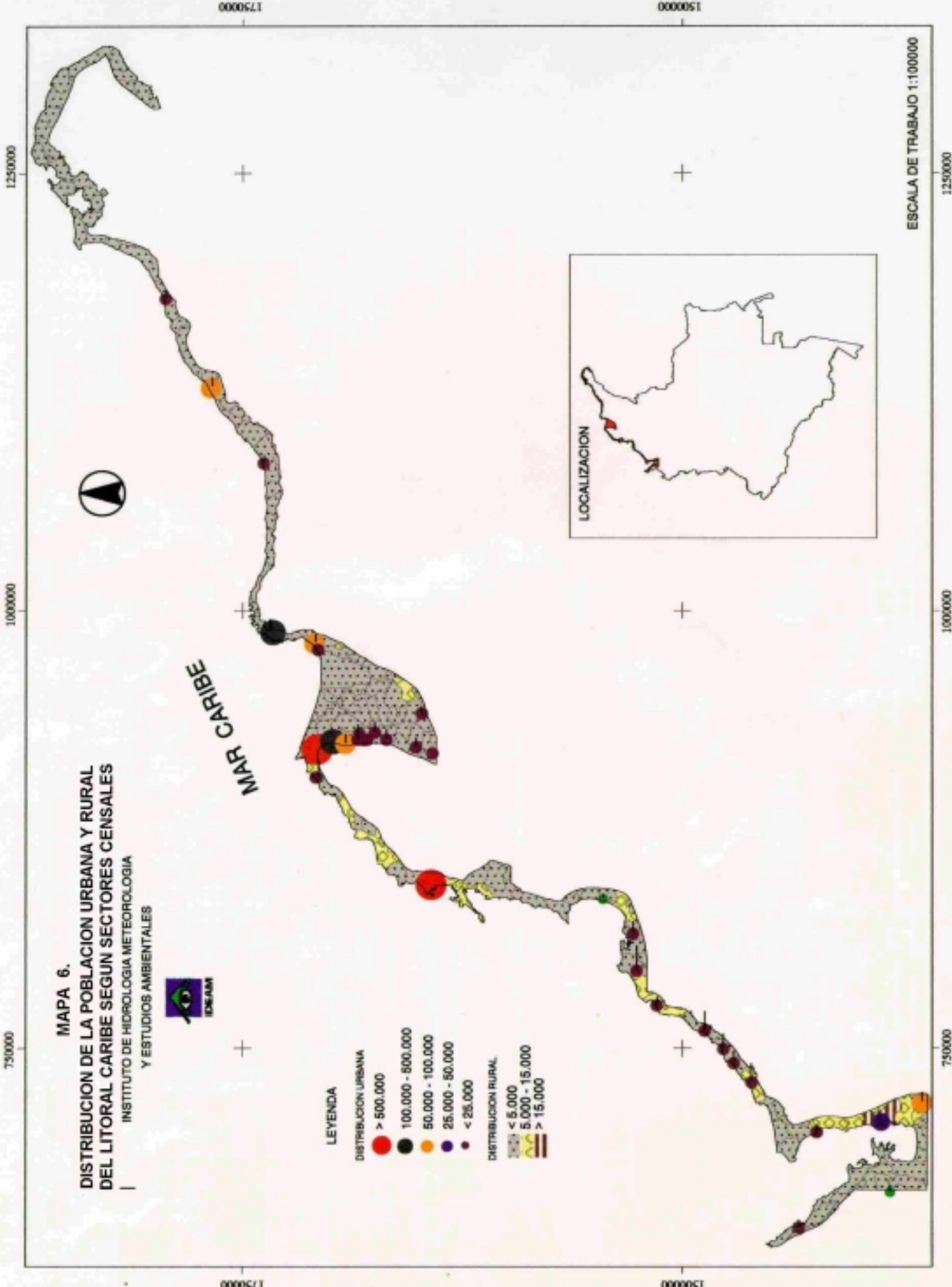
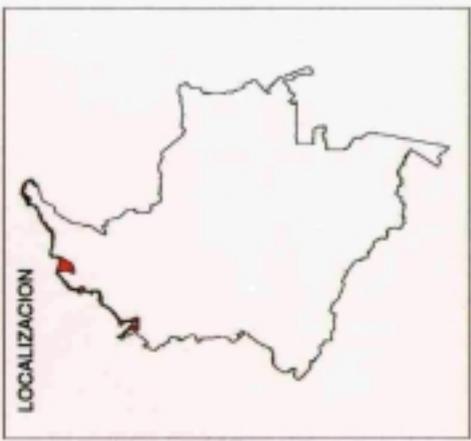


MAPA 6.
**DISTRIBUCION DE LA POBLACION URBANA Y RURAL
 DEL LITORAL CARIBE SEGUN SECTORES CENSALES**
 INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA
 Y ESTUDIOS AMBIENTALES



- LEYENDA**
- DISTRIBUCION URBANA**
- $> 500,000$
 - 100,000 - 500,000
 - 50,000 - 100,000
 - 25,000 - 50,000
 - <math>< 25,000</math>
- DISTRIBUCION RURAL**
- <math>< 5,000</math>
 - 5,000 - 15,000
 - > 15,000

ESCALA DE TRABAJO 1:100000



área potencialmente expuesta a la amenaza por inundación. Esta población representa el 55% de la población total asentada en el litoral Caribe, y que será potencialmente afectada por algún proceso de inundación marina. Con respecto a la población urbana, constituida aproximadamente por 1.040.513 personas que se encuentran en zonas urbanas, sólo el 55% de esta población se encuentra expuesta a algún tipo de amenaza por inundación en la zona de estudio. En la zona rural, 112.304 personas se encuentran expuestas a algún tipo de amenaza por inundación, lo que representa el 41% del total de la población rural evaluada (*mapa 6, tabla 9 y figura 6*).

Tabla 9. Población expuesta a la amenaza por inundación en el litoral Caribe colombiano

Categoría de la amenaza y efectos		Población expuesta			
		N.	Población total	Población cabecera municipal	Población (resto)
Amenaza	Baja	#	780.480	717.406	63.074
		%	37	37	29
	Media	#	151.447	124.219	27.228
		%	7	7	13
	Alta	#	220.890	198.888	22.002
		%	10	11	10
	Total amenaza	#	1'152.365	1'040.513	112.304
		%	55	55	52
Otros efectos	Profundización	#	89.932	70.887	19.045
		%	4	4	9
	Ascenso del nivel freático	#	311.349	291.828	19.521
		%	15	15	9
	Sin efectos	#	550.141	485.173	64.968
		%	26	26	30
	Total otros efectos	#	951.422	1'888.041	215.838
		%	45	45	48

Es importante destacar que los centros urbanos de San Juan de Urabá, Turbo, San Bernardo del Viento, Ponedera, Puerto Colombia y Cartagena presentan un alto número de personas localizadas en sectores de amenaza alta por inundación, al igual que el área rural de Cartagena.

5.2.2. Población expuesta en el litoral Pacífico

Por su parte, la población ubicada en la zona evaluada del litoral Pacífico es de 462.457 habitantes aproximadamente, de los cuales 196.065 se encuentran expuestos a algún tipo de amenaza por inundación, cifra que representa el 42% de la población total de la zona litoral. De igual manera, es importante destacar (de acuerdo con estos resultados sin ajustar) que el 51% de la población de la zona de estudio no va ser afectada por ningún tipo de amenaza ni otros efectos relacionados con los procesos de ascenso del nivel del mar (*tabla 10 y figura 7*). Con respecto a la población urbana del litoral Pacífico, cerca de un 28% se encuentra expuesta a algún tipo de amenaza.

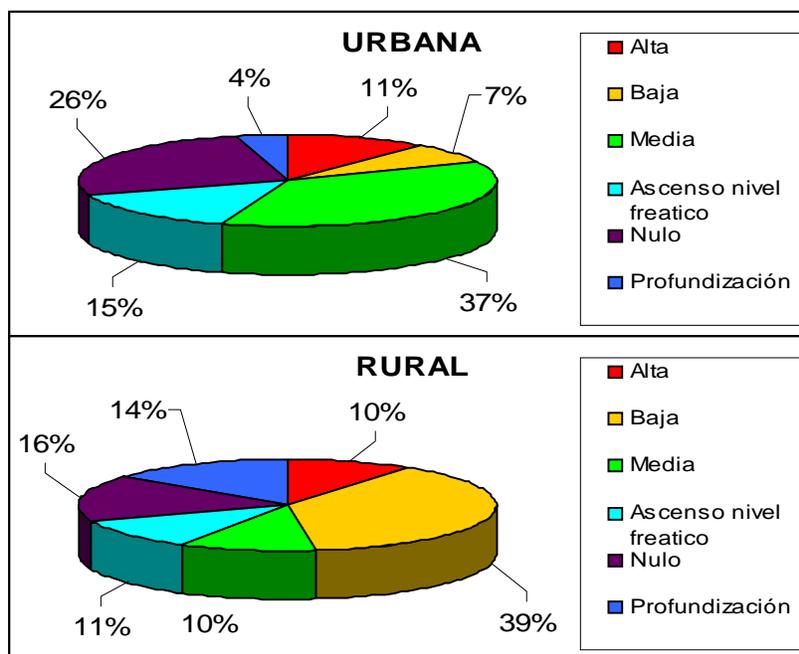


Figura 6. Distribución de la población urbana y rural del litoral Caribe según categoría de amenaza por inundación y otros efectos

Tabla 10. Población expuesta a la amenaza por inundación en el litoral Pacífico colombiano

Categoría de la amenaza y efectos		Población expuesta			
		N.	Población total	Población cabecera municipal	Población (resto)
Amenaza	Baja	#	45.475	4.825	40.650
		%	10	2	19
	Media	#	66.277	27.966	38.311
		%	14	11	18
	Media-alta	#	78.053	37.212	40.841
		%	17	15	19
Alta	#	6.260	0	6.260	
	%	1	0	3	
Total amenaza		#	196.065	70.003	126.062
		%	42	28	59
Otros efectos	Profundización	#	27.150	13.931	13.219
		%	6	6	6
	Ascenso del nivel freático	#	3.107	0	3.107
		%	1	0	1
	Sin efectos	#	236.135	161.670	74.465
		%	51	66	34
Total otros efectos		#	266.392	175.601	90.791
		%	58	72	41

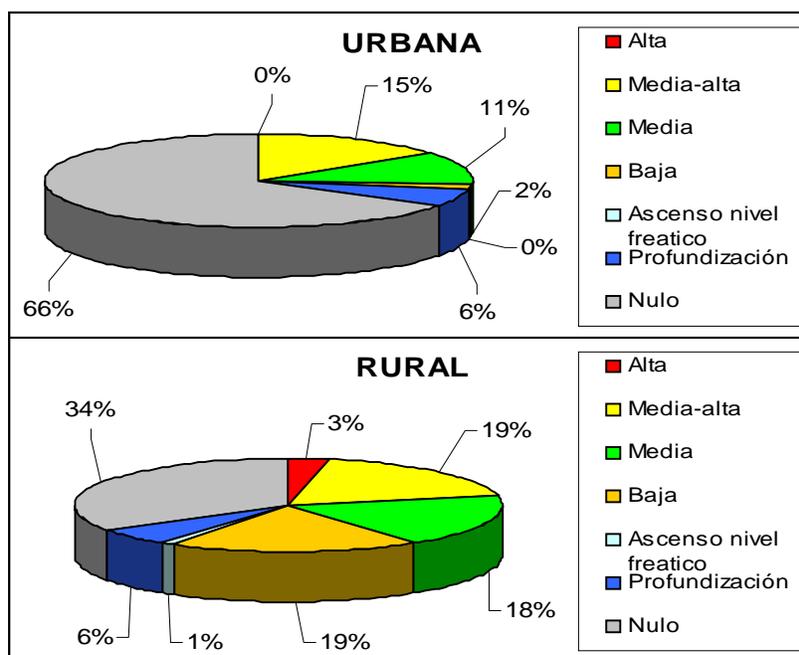


Figura 7. Distribución de la población urbana y rural del litoral Pacífico según categoría de amenaza por inundación y otros efectos

Es importante resaltar la ausencia de población en amenaza alta; aunque existe un porcentaje importante de población localizada en amenaza media y media-alta, especialmente en los centros urbanos de Buenaventura, Tumaco, Timbiquí, Nuquí, El Charco y Guapi.

En contraste con el litoral Caribe, la población rural del Pacífico está en mayor grado expuesta a algún tipo de amenaza por inundación. El 59% del total de la población rural está expuesta a algún tipo de amenaza y los efectos asociados. Es importante destacar los sectores censales rurales de los municipios de Tumaco, El Charco, Nuquí, Juradó, Santa Barbara y Olaya Herrera, entre otros, por concentrar la mayor cantidad de población en amenaza alta, media alta y media.

5.3. Vulnerabilidad de las viviendas

Este análisis se realizó teniendo en cuenta la información censal sobre el tipo predominante de material de construcción de las viviendas censadas, que se clasifica en las siguientes clases: bloque, tapia pisada, bahareque, madera burda, guadua y zinc-tela, así como con base en la funcionalidad de las mismas como habitación.

Los daños físicos y funcionales de las viviendas por el ascenso del nivel del mar se relacionan con el probable deterioro del material y con la interrupción de su función

habitacional a corto, mediano y largo plazo, teniendo en cuenta la sollicitación del fenómeno que es de acumulación muy lenta (elevación muy lenta y gradual del nivel del mar) y los posibles efectos sobre la dinámica litoral.

En la zona de estudio del litoral Caribe, el 88% de las viviendas tienen como material de construcción de las paredes el bloque (o ladrillo), especialmente en las áreas urbanas, mientras que el resto de las viviendas fueron construidas con los otros tipos materiales, que son bastante sensibles a los efectos de la inundación marina.

En la zona urbana, el 91% de las viviendas fueron construidas en bloque o ladrillo, mientras que el 9% restante presentan en su construcción materiales sensibles a los efectos de la inundación. En contraste con la zona urbana, en la zona rural alrededor del 46% de las viviendas están construidas con materiales sensibles a los efectos de la inundación (*figura 8*).

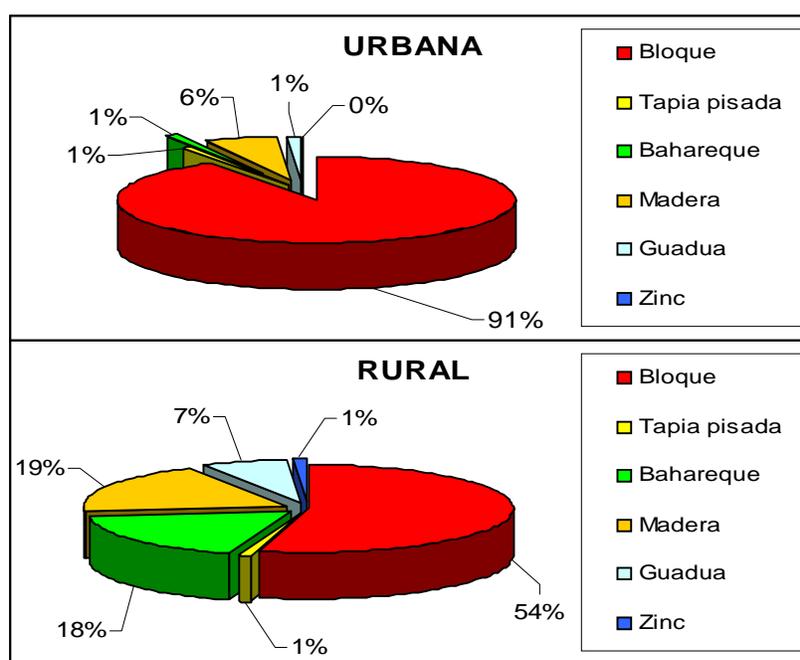


Figura 8. Distribución de las viviendas del litoral Caribe según el material de construcción predominante en las paredes

Según esta caracterización, encontramos que en la zona de estudio del litoral Caribe los sectores censales que presentan mayor vulnerabilidad estructural y funcional son los localizados en la zona rural del Urabá antioqueño y chocono, en especial los pertenecientes a los municipios de Apartado, Necoclí, Turbo y Ungía, así como en las áreas rurales de los municipios de Puerto Escondido, Los Córdoba y Pueblo Viejo.

En la zona de estudio del litoral Pacífico, el 55% de las viviendas tienen como material predominante de las paredes el bloque o ladrillo, sin embargo se encuentra una

participación importante de viviendas (45%) construidas con materiales más sensibles a los efectos de la inundación a corto y largo plazo.

En la zona urbana, aunque el 52% de las viviendas fueron construidas en bloque o ladrillo, alrededor de un 48% presentan en su construcción materiales más sensibles al efecto de inundación, especialmente la madera en los centros urbanos de Bajo Baudó, Magüi, Mosquera, Olaya Herrera y Santa Bárbara. En la zona rural, alrededor del 72% de las viviendas fueron construidas en madera, el 15% en guadua, los cuales son materiales muy sensibles a los efectos de la inundación (figura 9).

De acuerdo con esta caracterización, los sectores censales que presentan mayor vulnerabilidad estructural y funcional en la zona de estudio del litoral Pacífico son los localizados en los municipios de Jurado, Francisco Pizarro, Mosquera, Buenaventura y Magüi, entre otros.

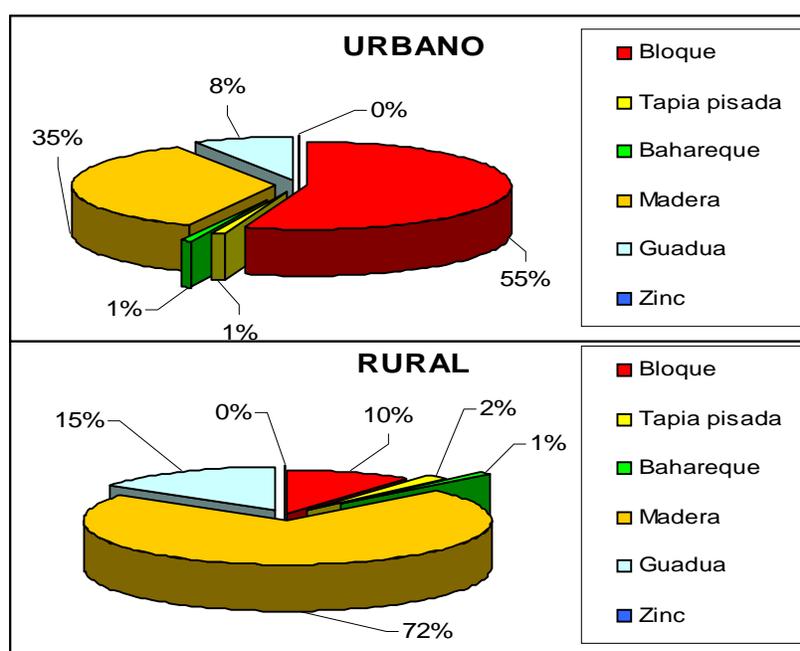


Figura 9. Distribución de las viviendas del litoral Pacífico según el material de construcción predominante en las paredes

5.4. Vulnerabilidad de los territorios de grupos indígenas

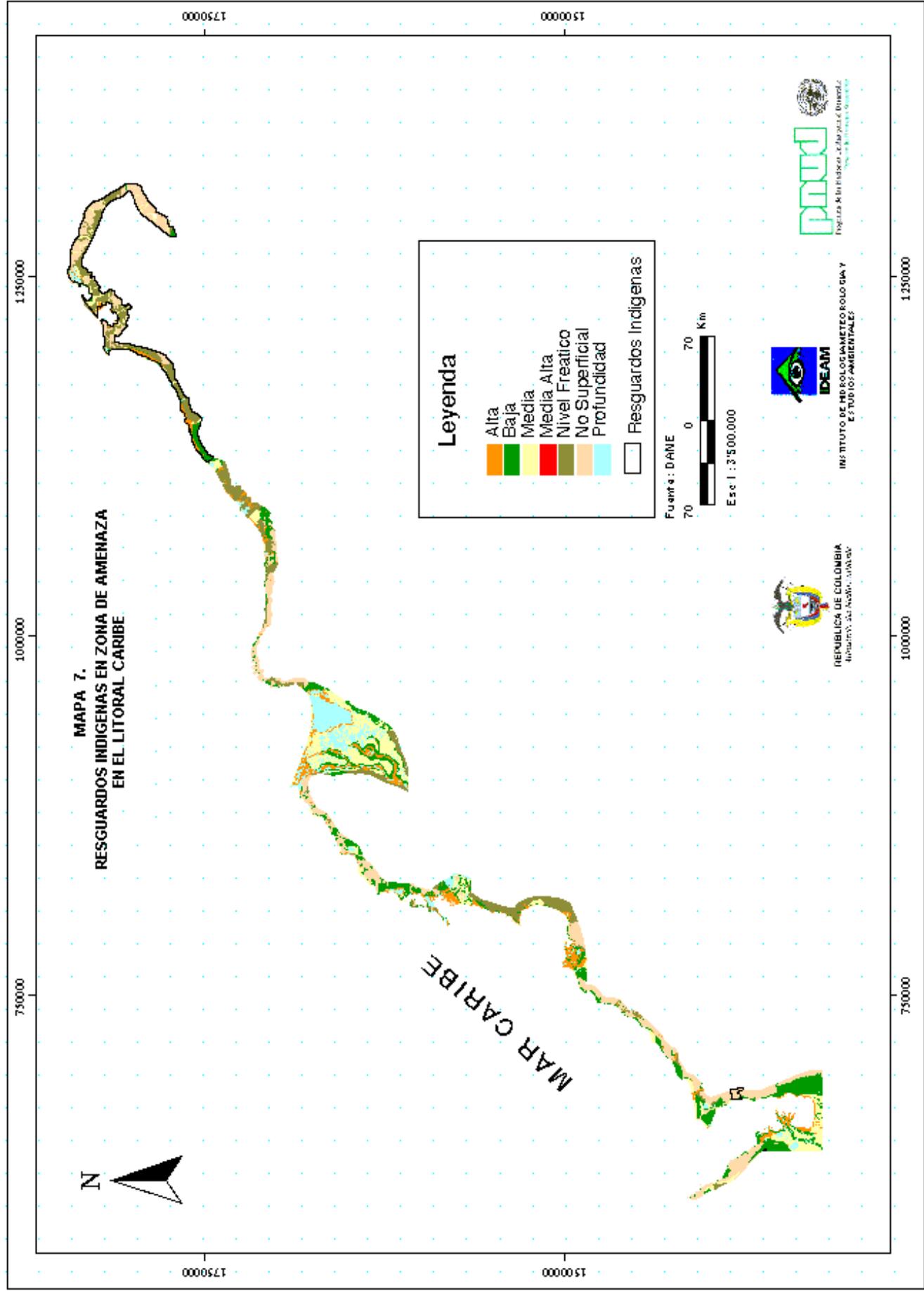
Existen en el litoral colombiano espacios geográficos que han sido históricamente ocupados por grupos étnicos locales, sobre los cuales se establecieron comunidades indígenas que localizaron sus asentamientos y llevan a cabo actividades socioeconómicas y culturales. Estos territorios son legalmente reconocidos por la

legislación colombiana, la cual a entregado títulos colectivos de propiedad a los diferentes grupos indígenas ocupantes.

Dado el enorme valor de la diversidad cultural, las poblaciones que se diferencian por una identidad étnica particular, deben ser tomadas en cuenta en una aproximación a los efectos del cambio climático sobre la población. El conocimiento tradicional y local que estas comunidades poseen puede ser un factor determinante al momento de valorar su vulnerabilidad y a la vez, les proporcionan una capacidad de adaptación y cambio únicas en el mundo.

Para el litoral Pacífico, de acuerdo con los datos del censo nacional realizado en el año de 1993, en la zona evaluada de la costa pacífica se encontró que 37 resguardos indígenas están asentados, los cuales comprenden 575.250 hectáreas (*mapa 7*). Estos resguardos pertenecen a las etnias Embera y Wounaan, que habitan esta región desde tiempos prehispánicos. Sin embargo, gran parte de estos asentamientos están ubicados dentro de la zona categorizada como amenaza nula, en la cual no se presentarán efectos por el ascenso acelerado del nivel del mar.

A diferencia del Pacífico, en el litoral Caribe sólo hay 2 resguardos que se encuentran dentro de la zona evaluada del litoral, los cuales están ocupados por las comunidades indígenas conocidas como Wayuu y Cuna. Estos resguardos asentados en el litoral Caribe ocupan un territorio de 230.921 hectáreas (*mapa 8*). La mayoría de este territorio está ubicado dentro de los límites del resguardo Wayuu en la Alta y Media Guajira, en zonas donde se presentarían potenciales efectos por el futuro ascenso del nivel del mar, pero que no fueron discriminados en este informe.



6. VULNERABILIDAD DE LAS ACTIVIDADES ECONOMICAS

El estudio de vulnerabilidad de las actividades económicas ante la elevación del nivel del mar asociado al cambio climático, se desarrolló para un escenario que considera un ascenso del nivel del mar de un (1) metro a partir de las condiciones actuales. El área de estudio considerada fue definida por la subdirección de Geomorfología y Suelos y en ella se determinó la zona amenaza por el proceso de inundación asociado al cambio del nivel marino, presentando las diferentes categorías de amenaza dependiendo de los efectos biofísicos que se presentarán, los cuales son explicados en el capítulo tres de este informe.

Las actividades económicas consideradas en la evaluación de la vulnerabilidad fueron las relacionadas con los siguientes sectores: sector agropecuario, sector industrial y sector de transporte e infraestructura de puertos, esta última tomada en cuenta por su importancia en la zona y la disponibilidad de información. Otras actividades económicas importantes como son la pesca, el turismo y la generación de energía (termoeléctrica) entre otras actividades, no se abordaron debido a la dificultad para la obtención de información para la zona de estudio.

6.1. Consideraciones metodológicas

En el proceso de definición de la evaluación de la vulnerabilidad de las actividades económicas, el primer paso consistió en la caracterización de estas actividades en el área de estudio. El objeto de la caracterización fue identificar y cuantificar, hasta donde fue posible, los elementos expuestos, para posteriormente definir el impacto que recibirían ante un eventual ascenso del nivel del mar.

Esta caracterización se realizó mediante el análisis de variables básicas de cada actividad, en donde se consideraron dos tipos de información: estadísticas de variables físicas y/o económicas de la actividad e información geográfica (ubicación o áreas de uso de algunas actividades). La información considerada fue la relacionada a continuación:

- Agricultura: cobertura de las áreas en cultivos según el mapa de usos del suelo del IGAC, 1987 a escala 1:500.000.
- Manufactura: número de empleados, número de establecimientos a escala municipal y de área metropolitana para el año 1990; fuente: DANE. Producción Bruta, Valor Agregado y Total de Activos Fijos, en miles de pesos corrientes de 1998, a escala

de área metropolitana; fuente: DANE. Cobertura de la zona industrial de Mamonal, escala 1:20.000; fuente: Fundación Mamonal.

- Vías: información estadística sobre longitud de la red vial principal, INVIAS, 1998. Cobertura de la red principal de carreteras escala 1:1'500.000 de INVIAS, 1997. Cobertura de las redes principal y secundaria, IDEAM - Universidad Nacional (1998), escala 1:100.000, a partir de la base cartográfica IGAC.
- Puertos: número de puertos, movimiento de carga, dimensiones básicas, capacidad de atraque, conexión con otros modos de transporte; fuente: Ministerio del Transporte, 1998.

El segundo paso consistió en el cruce de las zonas de asentamiento de las actividades económicas sobre el área de estudio con el fin de identificar los elementos expuestos (áreas, o número de elementos). La cuantificación de los elementos expuestos es diferente para cada actividad. Estos se definieron de la siguiente manera:

- Agricultura: área de cultivos en Has. para 1997, de acuerdo con cada nivel de amenaza.
- Manufactura: área ocupada de acuerdo con el nivel de amenaza.
- Vías: longitud de las vías de la red principal de carreteras, de acuerdo con el nivel de amenaza.
- Puertos: área ocupada de acuerdo con el nivel de amenaza.

El tercer paso fue calificar el nivel de daño probable para los elementos potencialmente expuestos de cada actividad económica y asignar el grado de vulnerabilidad para cada elemento de acuerdo con los índices de vulnerabilidad establecidos. El criterio para calificar el nivel de daño utilizado se muestra en la tabla 1 y los índices de vulnerabilidad considerados para los niveles de año se muestran en la tabla 2.

Con base en la tabla 2, de índices de vulnerabilidad, se definió cualitativamente la vulnerabilidad de los elementos expuestos respecto a los diferentes niveles de la amenaza. Con esta información se elaboraron los mapas de vulnerabilidad para las diferentes actividades económicas consideradas.

En el desarrollo del trabajo, como primera aproximación, se consideraron aquellas zonas donde se tiene presencia de las actividades económicas sobre las zonas costeras. Para la actividad industrial se encontró que los principales asentamientos se localizan en la costa caribe, donde también existen zonas dedicadas a las actividades agrícolas y ganaderas de tipo agroindustrial, comercial y zonas de agricultura mixta o campesina. Las actividades económicas de la costa Pacífica fueron consideradas de importancia local. Es necesario aclarar que en el desarrollo del estudio socioeconómico la información disponible no tenía la resolución necesaria ni el nivel de desagregación adecuado para alcanzar el nivel de detalle solicitado por la metodología del IPCC, sin embargo, este nivel de detalle será considerado en un estudio posterior.

La información económica utilizada impone limitaciones de escala para el análisis, como en el caso de la información recopilada para el área metropolitana de Barranquilla, la cual no permitió establecer qué parte de los establecimientos están en zona de amenaza por inundación, y por tanto, qué proporción de las variables corresponde a estos establecimientos.

6.2. Vulnerabilidad de las actividades agropecuarias

La actividad agropecuaria tiene presencia significativa en la costa Caribe. En ella se identificaron 814.085,29 Has. en cultivos y 6.394.214,31 Has. en pastos (tabla 11). Los principales cultivos presentes en la zona litoral del Caribe son: misceláneos permanentes (mezcla de cultivos permanentes entre frutales y rastrojo) asociados a cultivos no tecnificados, con 5.90%; café con el 2.55% y misceláneos transitorios (como maíz tecnificado, maíz tradicional, arroz seco mecanizado, arroz de riego, yuca, algodón y hortalizas entre otros) con 2.06%, y el cultivo de banano de exportación que se encuentra presente en un 0.54%. Para este cálculo se tomó la información de los departamentos costeros de: Chocó, Antioquia, Atlántico, Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena y Guajira.

Tabla 11. Área de cultivos y pastos localizados en la zona costera del Caribe
(Fuente: IGAC, 1987).

Descripción del uso del área	Área (Hectáreas)
Banano	390.21,27
Café	183.982,30
Caña Panelera	2.205,32
Miscelánea de cultivos transitorios	148.406,15
Miscelánea de cultivos permanentes entre frutales y rastrojos	424.998,90
Palma africana	15.471,35
<i>Total cultivos</i>	814.085,29
Pastos manejados o mejorados	2'570.939,85
Pastos naturales	3'823.274,46
<i>Total pastos</i>	6'394.214,31
<i>Total general</i>	7'208.299,60

6.2.1. Actividades agrícolas del litoral Caribe

Para el sector agropecuario del litoral Caribe las actividades agrícolas consideradas fueron los cultivos en general y los pastos, los cuales fueron analizados posteriormente como elementos expuestos. Para determinar su localización y distribución se utilizó el mapa de uso del suelo del IGAC (1987), escala 1:500.000.

Se realizó la calificación de la actividad agropecuaria, considerando el área cultivada o con pastos como elemento expuesto y la funcionalidad en el desarrollo de la actividad en las zonas con amenaza. Los resultados de la evaluación se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Nivel de daño de los elementos expuestos en la actividad agropecuaria

Elemento expuesto		Amenaza						Otro efecto	
		Baja		Media		Alta		Ascenso del nivel freático	
Clase	Tipo	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional
Area en cultivos	Miscelánea de cultivos transitorios	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Miscelánea de cultivos permanentes, entre frutales y rastrojo	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Cultivo de banano	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
Area en pastos	Áreas en pastos manejados o mejorados	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV
	Pastos densos	III	III	IV	IV	IV	IV	IV	IV

6.2.2. Actividades agrícolas expuestas en el litoral Caribe

Los cultivos son muy susceptibles a concentraciones altas de sales en el suelo, por consiguiente el aumento en el nivel freático por el ascenso del nivel del mar podría producir el incremento del contenido de sales en los suelos, haciendo que los cultivos poco resistentes a la presencia de sales sean más vulnerables que aquellos que toleran niveles más altos. Por tanto, la vulnerabilidad de los cultivos dependerá en buen grado de la resistencia que cada especie cultivada tenga a la presencia de sales en el suelo. Por otra parte, los cultivos también son susceptibles a excesos de agua, por lo tanto, al estar expuestos a una amenaza de encharcamiento e inundación permanente se hacen altamente vulnerables.

En la tabla 13 se presentan los resultados de la cuantificación de las áreas vulnerables de cada uno de los cultivos y pastos por el potencial ascenso del nivel del mar, en la que se evaluaron un total de 351.971 Hs que conformaban el área de estudio. Se encontró que la mayor área expuesta a la amenaza por inundación marina es la calificada con índice de vulnerabilidad bajo (I), con 118.015 Ha (33.5% del área evaluada), seguida por el área que presentará aumento del nivel freático con 80.118 Ha (22.8%) y el área calificada con índice de vulnerabilidad medio (II), que representa el 10.4% del área evaluada.

Del análisis de la tabla 13 se puede concluir que los pastos densos tienen la mayor área expuesta a la amenaza por inundación marina, con 181.176 Ha potencialmente afectadas. Las áreas de pastos densos vulnerables se distribuyen así: en vulnerabilidad baja, el 30.8%; en vulnerabilidad media, el 11.7%; y en el área que presentará aumento del nivel freático, el 11.1%. De los cultivos, el más expuesto es el correspondiente a banano, con un área de 15.727 Ha potencialmente afectada, seguido por los misceláneos transitorios con 12.955 Ha.

Como resultado del análisis de la tabla 14, donde se presentan los resultados del análisis de vulnerabilidad por cultivo, se encontró que de un 4.88% del área cultivada en

la costa Caribe (conformada por los departamentos que tienen salida al mar), el 49.9% presenta vulnerabilidad alta, tanto para el cultivo en sí, como para el suelo que pierde su aptitud para el desempeño de la actividad agrícola.

Tabla 13. Distribución de los cultivos del litoral Caribe de acuerdo con el índice de vulnerabilidad

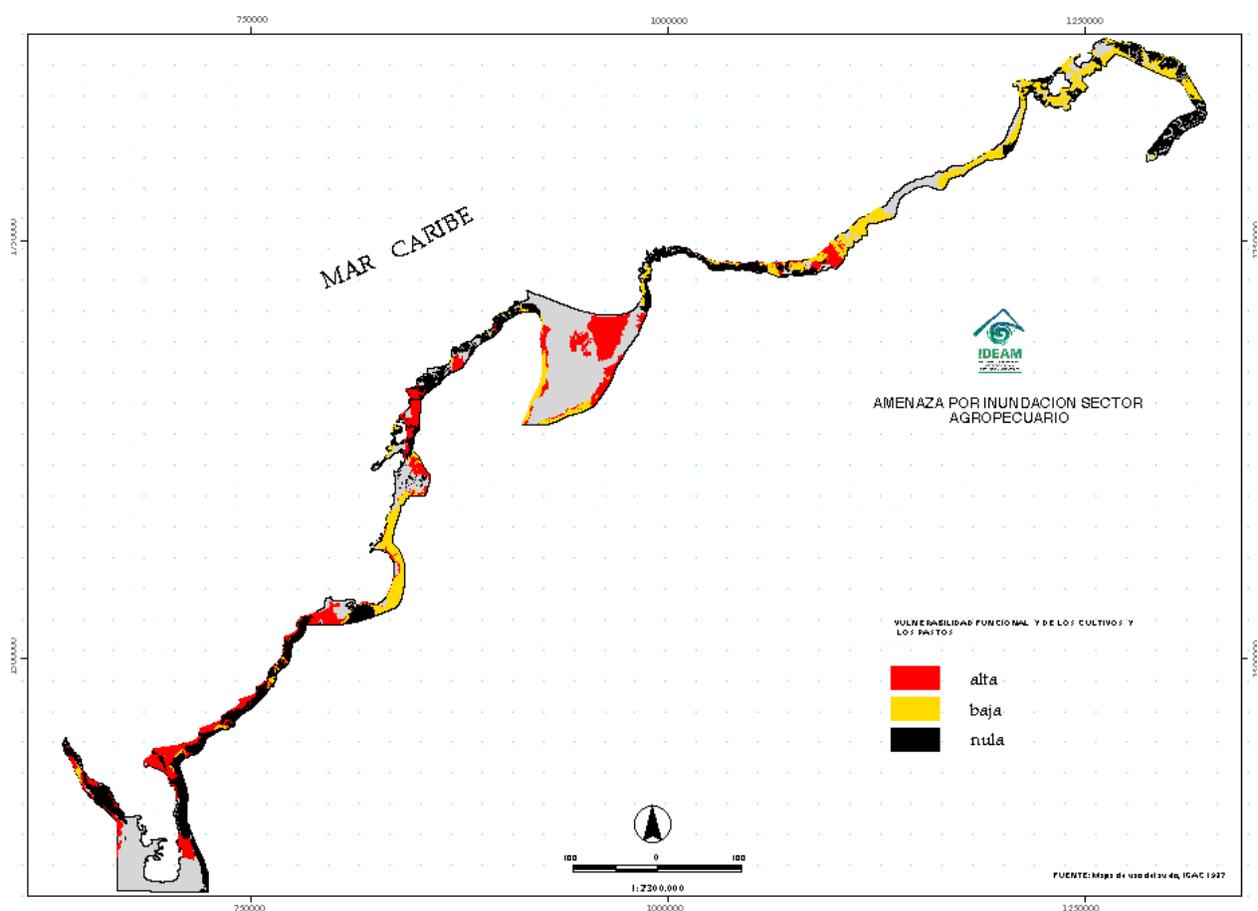
Elemento expuesto		Índice de Vulnerabilidad								Vulnerabilidad por otros efectos				Total
Clase	Tipo	Muy alta		Alta		Media		Baja		Ascenso del nivel freático		Sin efectos		Total general
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Hs
Área en cultivos	Banano	0,0	0,0	25,1	0,2	0,0	0,0	15.283,8	97,2	0,0	0,0	419,0	2,7	15.727,9
	Miscelánea de transitorios	0,0	0,0	1.422,6	11,0	1.222,9	9,4	7.379,8	57,0	1.087,8	8,4	1.842,7	14,2	12.955,7
	Miscelánea de permanentes entre frutales y rastrojos	0,0	0,0	0,0	0,0	1.825,7	36,0	3.061,8	60,3	72,3	1,4	118,2	2,3	5.078,0
	Palma Africana	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.496,7	81,9	0,0	0,0	329,9	18,1	1826,6
Área en pastos	Pastos mejorados y manejados	353,9	0,3	7.110,0	5,3	12.419,4	9,2	34.981,2	25,9	58.929,6	43,6	21.411,9	15,8	135.206,1
	Pastos densos	58,4	0,0	10.599,8	5,9	21.168,2	11,7	55.812,6	30,8	20.028,8	11,1	73.508,6	40,6	181.176,5
Total general		412,4	0,1	19.157,6	5,4	36.636,2	10,4	118.015,9	33,5	80.118,4	22,8	97.630,3	27,7	351.970,8

Tabla 14. Distribución de la vulnerabilidad por cultivos en la costa Caribe colombiana

Amenaza	Cultivos y pastos	Total (Ha)	% respecto al área de estudio	% respecto al total de cada cultivo o pasto de los departamentos costeros
Alta	Banano	15308.9	4.3	39.2
	Miscelánea de transitorios	10025.3	2.8	6.8
	Miscelánea de permanentes entre frutales y rastrojos	4887.5	1.4	1.2
	Palma africana	1496.7	0.4	9.7
	Pastos mejorados y manejados	54864.6	15.6	2.1
	Pastos densos	87639.0	24.9	2.3
<i>Total amenaza alta</i>		174222.1	49.5	
Baja	Pastos mejorados y manejados	58929.6	16.7	2.3
	Pastos densos	20028.8	5.7	0.5
<i>Total amenaza baja</i>		78958.4	22.4	
Media	Miscelánea de transitorios	1087.8	0.3	0.7
	Miscelánea de permanentes entre frutales y rastrojos	72.3	0.0	0.02
<i>Total amenaza media</i>		1160.1	0.3	0.1
Nula	Banano	419.0	0.1	1.1
	Miscelánea de transitorios	1842.7	0.5	1.2
	Miscelánea de permanentes entre frutales y rastrojos	118.2	0.0	0.0
	Palma africana	329.9	0.1	2.1
	Pastos mejorados y manejados	21411.9	6.1	0.8
	Pastos densos	73508.6	20.9	1.9
<i>Total sin efectos</i>		97630.3	27.7	
Total área evaluada		351970.8	100.0	4.88

El cultivo de banano es el más afectado por el ascenso del nivel del mar, con un área expuesta de 15.308 Ha, la cual representa el 39.2% del área total cultivada en banano de la costa Caribe. Para otros cultivos se obtuvieron los siguientes resultados de áreas afectadas: la palma africana, con 1.496,7 Ha (9.7% del área cultivada en la costa), y los cultivos misceláneos transitorios, con 11.113,1 Ha (6.8% del área cultivada). Por otro lado, los pastos en general presentan una mayor área con alta vulnerabilidad, la cual alcanza 142.503 Ha, pero su participación con respecto al total de los pastos reportados para la costa es del 4.4% solamente.

En el Mapa 9 se presenta de manera gráfica la zonificación de la vulnerabilidad del sector agropecuario de la costa Caribe colombiana al potencial ascenso del nivel del mar.



Mapa 9. Zonificación de la vulnerabilidad del sector agropecuario en la costa Caribe

6.3. Vulnerabilidad de las actividades industriales

Las actividades manufactureras en la zona costera del Caribe colombiano se encuentran asentadas en las ciudades de Barranquilla, Cartagena y Santa Marta, en

esta última en menor escala. La zona industrial en la ciudad de Barranquilla se localiza principalmente sobre el sector de la denominada vía 40, el sector de Las Flores y sobre la vía que conduce a la población de Soledad, zona ribereña con el río Magdalena. La zona industrial de Cartagena se sitúa en el sector de Mamonal, al sur de la ciudad. En Santa Marta, la actividad industrial se considera diseminada por toda la ciudad.

Del Censo Económico multisectorial de 1990 se determinó para la costa del Caribe el número total de establecimientos a escala municipal para varios sectores económicos, entre ellos el industrial. De acuerdo con los resultados del censo, el 87,7% de los establecimientos y el 96,7% del personal ocupado se encuentra en las ciudades de Barranquilla, Soledad, Cartagena y Santa Marta (tabla 15).

En la costa Pacífica no se encuentran locaciones industriales importantes. El desarrollo industrial en la zona se encuentra en la cuenca del río Cauca, en los departamentos de Valle y Cauca.

Con base en la información de la Encuesta Anual Manufacturera, DANE (1998), se establecieron las características económicas y sociales por agrupación económica para las áreas metropolitanas de Barranquilla - Soledad y Cartagena y para el departamento del Magdalena. En el caso del Magdalena se asume que la actividad industrial se concentra en la ciudad de Santa Marta, debido a que la información sobre la ciudad no se encuentra disponible por reserva estadística (tabla 16).

El sector industrial de la costa Caribe, en orden de importancia a nivel nacional, se encuentra en el cuarto lugar. El número de personas ocupadas en el sector representa el 8.6% de la ocupación de personal total nacional, así como el 7.9% del número de establecimientos constituidos y el 11.2% de la producción bruta nacional. Genera el 10.5% del valor agregado del país y tiene en activos fijos totales el 12.4% del total nacional.

Tabla 15. Caracterización por municipios de la actividad industrial en la costa Caribe

Fuente: Censo económico multisectorial, DANE (1990)

Departamento	Municipio	Número de establecimientos	Personal ocupado
Atlántico	Barranquilla (Distrito)	3063	44946
Atlántico	Soledad	373	4294
Atlántico	Malambo	121	733
Bolívar	Cartagena (Distrito)	1144	12956
Bolívar	San Jacinto	304	384
Bolívar	Magangué	146	462
Magdalena	Santa Marta	447	2262
Magdalena	Ciénaga	70	356
Magdalena	Fundación	66	263
<i>Total</i>		5734	66656

Tabla 16. Caracterización de las agrupaciones industriales a escala de área metropolitana y departamental sobre variables básicas de la Encuesta Anual Manufacturera (DANE, 1998). Sectores de Barranquilla-Soledad, Departamento del Magdalena y Cartagena.

Área metropolitana	CIIU rev. 2 a 3 Dígitos	Descripción de la actividad	Total personal ocupado	Número de establecimientos	Producción bruta industrial (miles de pesos)	Valor agregado (miles de pesos)	Valor activos fijos (miles de pesos)
Barranquilla – Soledad	311	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas I.	6595	67	583459595	155036648	278567014
	312	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas II.	852	21	82462174	27756679	40953659
	313	Industrias de bebidas	2428	6	407520274	252532390	825398547
	321	Fabricación de textiles	2243	12	102458246	42678062	106362139
	322	Fabricación de prendas de vestir, excepto calzado.	4031	54	46158343	26180569	22784664
	323	Industrias del cuero y productos del cuero y sucedáneos del cuero y pieles, excepto el calzado y otras prendas de vestir.	614	4	29252204	12242974	27677077
	324	Fabricación de calzado y sus partes, excepto el de caucho o de plástico.	1099	11	24440097	12961558	10312158
	331	Industria de la madera y productos de la madera y el corcho, excepto muebles.	1264	22	90764911	55078818	99373261
	332	Fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos	283	13	8936950	2388147	2021929
	341	Fabricación de papel y productos de papel.	811	12	82357186	34581504	95883487
	342	Imprentas, editoriales e industrias conexas.	497	21	11697084	5920136	4493821
	351	Fabricación de sustancias químicas industriales.	1769	11	469267003	221505307	259595463
	352	Fabricación de otros productos químicos	1990	32	132745950	67046547	60051064
	354	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón.	49	5	2260533	821147	482243
	355	Fabricación de productos de caucho.	481	3	8967109	3886758	3427184
	356	Fabricación de productos plásticos.	2420	38	140539541	57154374	109737073
	362	Fabricación de vidrio y productos de vidrio.	279	5	14310011	5745742	20724397
	369	Fabricación de otros productos minerales no metálicos.	1464	15	164716593	100180440	141296395
	371	Industrias básicas de hierro y acero	675	4	43370032	11792239	20258530
	381	Fabricación de productos metálicos exceptuando maquinaria y equipo.	1145	31	49398230	23724167	28305581
382	Construcción de maquinaria, exceptuando la eléctrica.	1705	22	77931322	38441358	88774826	
383	Fabricación de maquinaria, aparatos, accesorios y suministros eléctricos.	441	3	28387168	11713712	25974440	
384	Construcción de equipo y material de transporte.	974	14	39327256	25611904	12233145	
385	Fabricación de material profesional y científico, instrumentos de medida y control n.e.p., Aparatos fotográficos e instrumentos de óptica.	430	4	23358842	11074180	22785331	
390	Otras industrias manufactureras	2148	16	133675358	71788319	115096954	
<i>Total Barranquilla - Soledad</i>			36687	446	2797762012	1277843679	2422570382

Area metropolitana	CIIU rev. 2 a 3 Dígitos	Descripción de la actividad	Total personal ocupado	Numero de establecimientos	Producción bruta industrial (miles de pesos)	Valor agregado (miles de pesos)	Valor activos fijos (miles de pesos)
Magdalena	3115	Fabricación de aceites y grasas vegetales y animales, excepto la manteca de cerdo y otras grasas comestibles del ganado.	1055	8	51412018	15393852	15595535
	3116	Productos de MOLINERÍA	216	6	5839596	2369986	7696691
	3117	Fabricación de productos de panadería.	42	4	624720	147035	147910
	3121	Elaboración de productos alimenticios diversos	144	3	11702444	3033838	5114304
	3420	Imprentas, editoriales e industrias conexas.	46	3	587210	276659	556418
	3699	Fabricación de productos minerales no metálicos n.e.p.	106	4	4478448	1568937	1746955
	3909	Otras industrias manufactureras diversas.	817	14	33724660	14096681	19340151
<i>Total Departamento del Magdalena</i>			2426	42	108369096	36886988	50197964

Area metropolitana	CIIU rev. 2 a 3 Dígitos	Descripción de la actividad	Total personal ocupado	Numero de establecimientos	Producción bruta industrial (miles de pesos)	Valor agregado (miles de pesos)	Valor activos fijos (miles de pesos)
Cartagena	311	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas i.	4350	26	297481626	87017358	205566121
	312	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas II.	180	6	27026920	6414369	7057846
	313	Industrias de bebidas	779	4	136265263	78152582	85518413
	322	Fabricación de prendas de vestir, excepto calzado.	48	3	644502	92309	265265
	331	Industria de la madera y productos de la madera y el corcho, excepto muebles.	207	11	5773348	1811997	2260547
	332	Fabricación de muebles y accesorios, excepto los que son principalmente metálicos	187	3	2281373	1356718	2337515
	342	Imprentas, editoriales e industrias conexas.	554	11	14447736	9336412	10274680
	351	Fabricación de sustancias químicas industriales.	1460	13	921372634	334183484	1002411170
	352	Fabricación de otros productos químicos	184	8	14189621	3955570	12423118
	356	Fabricación de productos plásticos.	1039	10	127306480	61661564	201652391
	369	Fabricación de otros productos minerales no metálicos.	552	6	80569244	41026474	133857678
	371	Industrias básicas de hierro y acero	642	8	52988050	11636177	77972053
	381	Fabricación de productos metálicos exceptuando maquinaria y equipo.	144	5	10935371	5300513	8551794
	382	Construcción de maquinaria, exceptuando la eléctrica.	454	4	20452541	9635564	10559391
	384	Construcción de equipo y material de transporte.	133	6	21965152	6328196	8148952
390	Otras industrias manufactureras	1055	9	706295303	296612035	531459608	
<i>Total Cartagena</i>			11968	133	2439995164	954521322	2300316542
TOTAL GENERAL			51081	621	5346126272	2269251989	4773084888

6.3.1. Caracterización de las zonas industriales

Las actividades industriales de la costa Caribe representan un importante peso en el ámbito nacional, las cuales están especialmente localizadas en las ciudades de Barranquilla y Cartagena. En estas ciudades se encuentran establecimientos considerados fundamentales en la producción de insumos para la productividad del resto del país, tales como refinación de petróleo, productos químicos básicos, plásticos y cementos.

Estas actividades se caracterizan por la alta inversión en bienes de capital en general (maquinaria y equipos), aunque algunas de ellas muestran una participación significativa de mano de obra. Estas actividades por su complejidad tienen características restrictivas en las condiciones de operación y en su ubicación. A continuación se hace una descripción de las principales zonas industriales del litoral Caribe colombiano.

6.3.1.1. Zona industrial Barranquilla - Soledad

Esta área metropolitana concentra el 71.8% del personal ocupado por la actividad industrial asentada en el litoral Caribe, el cual a su vez representa 6.2% del total nacional; en cuanto a la producción bruta, representa el 52.3% de la producción del total del Caribe, así como 5.9% del total nacional. La zona Barranquilla-Soledad también representa el 71.8% del número de establecimientos del litoral norte, porcentaje que corresponde al 5.7% del total nacional. También produce el 56.3% del valor agregado correspondiente a la costa Caribe, que a su vez representa 5.9% del valor agregado nacional producido por el sector industrial. Finalmente, esta área costera representa el 50.8% de los activos fijos totales de esta variable en el Caribe, que en el ámbito nacional son el 6.3% de los activos fijos totales (tabla 16).

Las actividades de mayor peso respecto al personal ocupado del total de la costa Caribe son: alimentos, con el 13.5%; seguido de confecciones, con el 7.9%; las bebidas, con el 4.8%; los productos plásticos, con el 4.7%; y los textiles con el 4.4%.

Respecto al número de empleados se obtuvieron los siguientes resultados: los alimentos participan con el 14.3%, las prendas de vestir con el 8.7%, los productos plásticos con el 6.1 %, y la fabricación de otros productos químicos con el 3.1%.

El análisis de la producción bruta mostró que: los alimentos con el 11.4%, la fabricación de sustancias químicas industriales con el 8.8%, las bebidas con el 7.6%, y la fabricación de productos minerales no metálicos con el 3.1%, fueron las actividades más sobresalientes.

Para el valor agregado, la agrupación de bebidas con el 11.1%, las sustancias químicas industriales con el 9.7%, los alimentos con el 8.0% y la fabricación de otros productos no metálicos con el 4.4%, fueron los grupos de actividades más representativos.

En activos fijos, las agrupaciones manufactureras con mayor peso fueron: las bebidas, con el 17.3%; los alimentos, con el 6.7%; la fabricación de sustancias químicas industriales, con el 5.4%; y los productos minerales no metálicos con el 2.9%.

6.3.1.2. Zona Industrial de Cartagena

La participación de esta zona industrial en los totales de las variables presentadas para la región de la costa Caribe son las siguientes: personal ocupado, 23.4%; producción bruta, 45.6%; número de establecimientos, 21.4%; valor agregado, 42.1%; y activos fijos, 48.2% (tabla 16).

La participación a escala sectorial en el total de personal ocupado de la región, mostró que el sector de alimentos fue el de mayor participación, con el 8.9%; seguido por la fabricación de sustancias químicas industriales, con el 2.9%. Respecto al número de establecimientos, se observó que la fabricación de alimentos, con el 5.1%, encabezó la participación, seguido por la fabricación de sustancias químicas industriales, con el 2.1%.

Respecto a la producción bruta, el sector de sustancias químicas industriales participó con el 17.2%; los establecimientos agrupados en otras industrias, que contribuyeron con el 13.2%; los alimentos con el 6.1% y las bebidas con el 2.5%.

En relación con el valor agregado, se observó que la fabricación de sustancias químicas industriales tiene la mayor participación, la cual alcanzó el 14.7%; le siguen el grupo otras industrias, con el 13.1%; los alimentos, con el 4.1%; y las bebidas con el 3.4%.

La agrupación otras industrias presenta la mayor participación en la variable total activos fijos, contribuyendo con el 15%; le sigue la fabricación de sustancias químicas industriales, con el 9.4%; los alimentos, con el 7.9%; y las bebidas, con el 3.4%.

En la agrupación de otras industrias, la de mayor peso corresponde a las dedicadas a la refinación de petróleo, actividad concentrada totalmente en la refinería de Cartagena. Este establecimiento tiene una capacidad de procesamiento de 75000 barriles/día, de los cuales procesa en promedio 70700 barriles/día. La refinería puede ser definida como tipo medio baja^{1,2}. Los procesos desarrollados y las cantidades procesadas en la refinería se presentan en las tablas 17 y 18.

¹ ECOPEL. Vicepresidencia de Refinación y Mercadeo.

² Se considera como refinería media baja aquellas que por los procesos involucrados producen básicamente combustibles como naftas y diesel.

Tabla 17. Operaciones del Proceso de Refinación de Petróleo en Cartagena

Fuente: ECOPETROL, Vicepresidencia de Refinación y Mercadeo.

Unidades de operaciones y de proceso	Capacidad de proceso
Destilación combinada	70.7 miles de barriles
Viscorreductora	20 miles de barriles
Ruptura catalítica	29 miles de barriles
Polimerización	3600
Tratamiento productos intermedios	60.5
Servicios: tratamiento de aguas	2900 gal/min
Unidad de generación de vapor	500000 lb/h 22.5 KW
Unidades de Aire comprimido	5600 pie cúbico /min
Unidad de enfriamiento de agua	120000 gal/min

Tabla 18. Producción diaria de la refinería de Cartagena.

Fuente: ECOPETROL, Vicepresidencia de Refinación y Mercadeo.

Combustible	Cantidad (Barriles/día)
Gases	3500
Naftas	33500
Turbojet y queroseno	6900
Diesel	14000
Combustóleo	15000
Arostral alquitrán	400
GLP	800
Asfalto	500

El crudo procesado corresponde al producto resultante de la mezcla de los crudos procedentes de los llanos orientales y de la cuenca del Magdalena. Tiene una capacidad de almacenamiento de 1.000.000 de barriles para petróleo crudo y 60.000 barriles para combustóleo de exportación.

La refinería ocupa a 520 personas, de las cuales 442 son permanentes y 78 son temporales. La inversión total considerada, correspondiente al valor de plantas, equipo, construcciones y terrenos, incluyendo el puerto y las instalaciones de almacenamiento, a precios corrientes, es de 996.000 millones de pesos. De acuerdo con el plan maestro de inversiones de la refinería, las inversiones futuras serán de 600 millones de dólares para la ampliación de la capacidad de refinación.

6.3.1.3. Zona industrial de Santa Marta

La actividad industrial del departamento del Magdalena se considera centrada en su mayor parte en la ciudad de Santa Marta. Para todas las variables consideradas, la participación de esta ciudad se encuentra entre el 4.3% y el 6.2% de los valores totales de la región Caribe. El sector de alimentos es el más significativo, con una participación que varía entre 2.4% y el 3.5%.

La actividad manufacturera de mayor presencia en esta zona es la fabricación de aceites y grasas, que utiliza el 2.1% de los empleados ocupados, representa el 1.3% de los establecimientos y el 0.9% de la producción bruta, respecto al total para la costa Caribe.

6.3.2. Actividades industriales expuestas

Para la determinación de la vulnerabilidad de las actividades socioeconómicas se definieron los potenciales elementos expuestos al proceso de inundación marina, posteriormente se establecieron los niveles de daño para cada una de ellas de acuerdo con el grado de amenaza al que están expuestas y su nivel de daño. Los elementos expuestos considerados para el sector manufacturero fueron los siguientes:

- Construcciones y edificaciones: edificios de áreas administrativas, edificaciones de áreas de procesos manufactureros que no impliquen grandes equipos y para almacenamiento.
- Plantas y equipos de gran tamaño con hornos, plantas de generación eléctrica, equipos de procesos complejos (p.e. refinerías y petroquímicas).
- Maquinaria y equipo de tamaño menor que permita su fácil desplazamiento.
- Instalaciones eléctricas.
- Obras civiles para diferentes usos complementarios: estanques, canales, diques de contención, dársenas, entre otros.
- Ductos de transporte de diferentes fluidos: vapor, materias primas, productos intermedios y finales.

La variable que resume estos elementos es el valor del total de activos. La magnitud de esta variable habla del tamaño de la actividad y por lo tanto de la magnitud de los potenciales daños en el caso de producirse un ascenso de un metro del nivel del mar. Las actividades con mayor valor de activos tienen la infraestructura más grande y compleja. Estas corresponden a industrias de bebidas, sustancias químicas, fabricación de productos no metálicos, refinación de petróleo y productos plásticos, entre otros. De acuerdo con el tamaño, en la especificación de la parte estructural de los elementos expuestos, se integran las construcciones y los grandes equipos donde el deterioro físico y funcional están estrechamente ligados.

Con base en la metodología definida, los elementos expuestos se clasificaron de acuerdo con el tamaño de la instalación, el material de construcción y la complejidad de sus procesos. Los siguientes fueron los tipos definidos:

- Construcciones en cemento y ladrillo.
- Construcciones en concreto.
- Estructuras metálicas.
- Maquinarias y equipos de proceso de cada unidad.
- Sistemas de generación y conducción de energía en las plantas.

6.3.3. Análisis del nivel de daño y exposición

Con la información del sector manufacturero se trabajó en los mapas para definir las áreas de asentamientos industriales, específicamente para las ciudades de Cartagena y Barranquilla. Para la ciudad de Santa Marta no fue posible hacer este análisis debido a la no disponibilidad de la información sobre ubicación de las áreas industriales.

De acuerdo con la localización de la actividad manufacturera y la información de la encuesta anual manufacturera, en la ciudad de Barranquilla se observó que la industria de sustancias químicas básicas, de productos minerales no metálicos, de abonos, de productos plásticos y de alimentos, son las que presentan mayor exposición al proceso de inundación por su ubicación en zonas bajas.

Para la actividad industrial se realizó un análisis, donde se definió el nivel de daño del sector manufacturero de acuerdo con el tipo de construcción del elemento expuesto y la categoría de amenaza donde se encuentra ubicado, y que se resume en la tabla 19.

Tabla 19. Calificación de los niveles de daño del sector manufacturero del litoral Caribe

Elemento expuesto		Categoría de Amenaza						Otro efecto	
		Baja		Media		Alta		Ascenso del nivel freático	
Clase	Tipo	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional
Edificaciones	Construcción en cemento y ladrillo	II	IV	III	IV	IV	IV	II	II
	Construcción en concreto	II	IV	III	IV	III	IV	II	I
	Estructuras	III	IV	III	IV	III	IV	III	II
Unidades de operaciones y procesos	Maquinarias y equipos de proceso de unidad	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	II
	Sistemas de generación y conducción de energía en las plantas	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	II

Se considera que las industrias asentadas en la costa están expuestas a daños estructurales importantes a mediano plazo por corrosión en las estructuras metálicas, equipos y maquinaria. El deterioro de las construcciones en cemento y mampostería se asume que es bajo. Las amenazas presentadas pueden producir pérdida de la capacidad portante del suelo, la cual dependerá de sus características intrínsecas, afectando la cimentación de las construcciones, de los equipos y la maquinaria misma.

En los diferentes niveles de amenaza se produce la pérdida total de la funcionalidad de las empresas por interrupción de las comunicaciones y el transporte de materiales, insumos y productos. Se presenta también interrupción de las operaciones básicas para

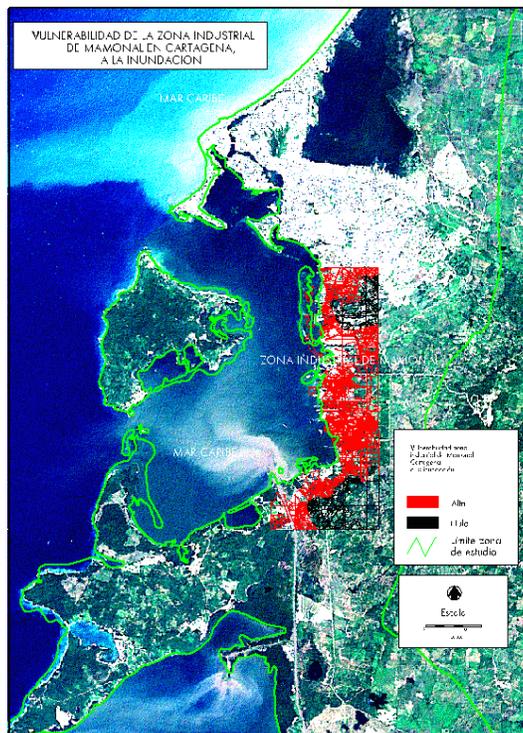
la producción (condiciones inseguras de trabajo, equipos inutilizados, interrupción del suministro de energía, entre otros).

La superposición del mapa de localización de las zonas industriales con el mapa de zonificación de la amenaza por inundación marina mostró que estas zonas se encuentran expuestas a un alto grado de amenaza en su mayoría. El área de asentamientos industriales considerados en la zona de evaluación correspondió a 632 hectáreas en Barranquilla-Soledad, y de 880 hectáreas en Cartagena. La cuantificación de las zonas expuestas a la amenaza para los dos sectores mostró los siguientes resultados: para el corredor Barranquilla-Soledad se encontraron 369 Hs (58.40% del área total de esta zona) en amenaza y 877 Hs en Cartagena (99.67 % del área total de esta zona) igualmente amenazadas. La zona industrial de Barranquilla presenta en amenaza alta comprende el 58.38% de su área, en tanto que en amenaza baja está el 0.02% de su área. En Cartagena, el área de amenaza alta comprende el 15.46% de su extensión, y la amenaza baja el 84.1% del total del corredor (tabla 20).

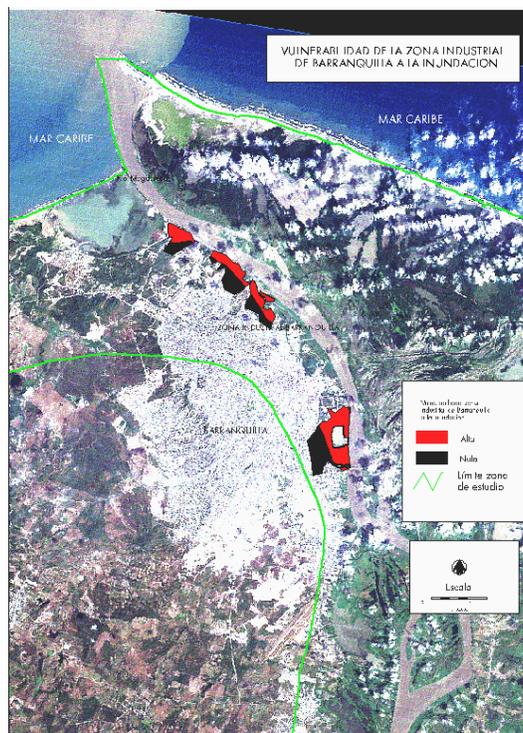
Tabla 20. Distribución según la amenaza de las áreas ocupadas por establecimientos del sector manufacturero del litoral caribe

Elemento expuesto		Categoría de amenaza								Otros efectos				Sin efecto		Total
Clase	Tipo	Baja		Media		Alta		Total amenaza		Profundización		Ascenso del nivel freático		Nulo		Hs
		Hs	%	Hs	%	Hs	%	Hs	%	Hs	%	Hs	%	Hs	%	
Elemento Estructural	Zona industrial de Barranquilla	0.1	0.016	0	0	369	58.38	369	58.38	0	0	107	16.93	156	24.68	632.1
	Zona industrial de Cartagena	741	84.21	0	0	136	15.46	877	99.67	0	0	0	0	2.9	0.33	879.9

Como resultado del análisis de vulnerabilidad se encontró lo siguiente: para Barranquilla, de las 632 Hs ocupadas por los establecimientos industriales, el 75.3% del área presenta vulnerabilidad alta; y para Cartagena, el 99.7% de las 880 Hs presenta vulnerabilidad alta (ver tabla 21). Dadas las características de los procesos industriales presentes, las actividades que estarían en situación más crítica por ser potencialmente mas afectadas corresponden a: de productos químicos básicos, de minerales no metálicos, de petroquímica y de otros productos químicos. Este sector por lo tanto presenta la más alta exposición y es muy vulnerable a la amenaza de inundación por la elevación en 1 metro del nivel medio del mar. En los mapas 10 y 11 se muestra la zonificación de la vulnerabilidad de las actividades industriales a la amenaza por ascenso del nivel del mar en los sectores industriales de Cartagena y Barranquilla.



Mapa 10. Vulnerabilidad del corredor industrial de Cartagena



Mapa 11. Vulnerabilidad del corredor industrial de Barranquilla - Soledad

Tabla 21. Vulnerabilidad de las actividades manufactureras ante el ascenso del nivel del mar.

Zona industrial	Vulnerabilidad (índice)	Area caracterizada (Hs)	% de área ocupado por la actividad según índice de vulnerabilidad	% de área respecto al total evaluado
Barranquilla	Alta	475	75.3	31.5
	Nulo	157	24.7	10.3
Total Barranquilla		632	100.0	41.8
Cartagena	Alta	877	99.7	58.0
	Nulo	3	0.3	0.2
Total Cartagena		880	100.0	58.2
Total zonas manufactureras		1512		100.0

6.3.4. Los impactos directos identificados

Los asentamientos manufactureros, de acuerdo con los resultados de la vulnerabilidad obtenidos, presentarán potenciales impactos en su funcionalidad, los cuales pueden ser traducidos en una reducción del número de empleados ocupados, la producción y los activos fijos totales, afectando toda la actividad industrial en la ciudad de Cartagena y de manera significativa la de la ciudad de Barranquilla.

En la tabla 22 se presentan los valores relacionados con las variables afectadas para los asentamientos industriales de Cartagena y Barranquilla, obtenida a partir de la identificación de las actividades manufactureras vulnerables para las dos ciudades.

Tabla 22. Valores de las variables afectadas para los asentamientos industriales

Area donde se localiza la actividad (*)	Personal ocupado total	Número de establecimientos	Producción bruta industrial (miles de pesos)	Valor agregado (miles de pesos)	Valor de activos fijos (miles de pesos)
Total Cartagena	11968	133	2439995164	954521322	2300316542
Total Barranquilla – Soledad	27589	335	2,103,917,033.02	960,938,446.61	1,821,772,927.26

(*) Este valor se estableció en una primera aproximación como proporcional al área definida como vulnerable, al no contarse con la información específica de los establecimientos afectados.

Existen limitaciones en el análisis para el área metropolitana de Barranquilla - Soledad porque se hace necesario establecer que parte específica de los establecimientos localizados en la zona amenazada serán afectadas por el ascenso del nivel del mar.

En Cartagena, es en la zona industrial de Mamonal donde se concentra la industria con mayor tamaño, área en la que se destaca la actividad de refinación de crudo. La producción potencialmente afectada es de aproximadamente 75.000 barriles de diferentes productos, y una inversión de 996.000 millones de pesos (ver tablas 17 y 18).

7. VULNERABILIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE Y PUERTOS

La red vial de transportes en Colombia en el año 1999 ascendía a 142.000 kilómetros, de los cuales la red vial carretable poseía 114.000 kilómetros, la férrea 2.000 kilómetros, la línea fluvial 18.000 kilómetros y la de ductos alcanza 7.500 kilómetros. De estas, sobre la línea costera se encuentran únicamente la red vial carretable de la costa caribe y la línea férrea del Cerrejón. El resto de la red está presente como acceso a los puertos y a la vía costera. Para este análisis no se incluyó la línea férrea presente en la costa por no tenerse información específica de esa red.

7.1. Caracterización de la red vial general en las costas colombianas

La red vial carretable principal localizada en las zonas costeras colombianas asciende a 1081 Kilómetros. De ellos, sobre la línea de costa solamente se encuentran 547 kilómetros localizados en la costa Caribe. El resto de la red vial está constituida por vías que comprenden accesos a terminales y troncales, como son los dirigidos a algunos puertos como el de Buenaventura y Tumaco en el Pacífico, y el acceso a la vía costera en el Atlántico, de los cuales la mayor parte se encuentra por encima de la cota de inundación proyectada en este estudio.

Del análisis de la red vial del Caribe, se encontró que uno de los tramos más largo es el que une a Toluviejo con San Antero y que a la vez presenta la mayor exposición, sin embargo, el tramo que presenta mayor susceptibilidad es el que une a Barranquilla con la Ye de Ciénaga, en la vía hacia Santa Marta. En la tabla 23 se presenta un resumen de las características de la red vial de la costa Caribe por tramos y subtramos.

Por otra parte, con base en la información digitalizada por IDEAM - Universidad Nacional (1998) se identificó la infraestructura de vías de transporte terrestre en sus diferentes modos (férreo, carretable, caminos y senderos) a nivel cartográfico para la zona costera del Caribe colombiano. A partir de esta información se estableció la longitud para cada tipo de vía que estaba contenido en la cartografía digital (tabla 24) y permitió también identificar las redes secundarias y las vías para transporte animal y senderos peatonales de uso continuo, que potencialmente podrían ser afectados por el ascenso del nivel del mar.

Tabla 23. Tramos y subtramos de la red vial de la costa Caribe
(Fuente: Invias. Red vial georreferenciada 1998)

Nombre del tramo	Código tramo	Cabeceras municipales de entrada y salida	Longitud (Km)	
			Longitud subtramo	Longitud tramo
Lomita Arena Cartagena (Límite 90A01)	90A1	CARTAGENA	3.1	49.3
		Cartagena (Límite 90A01)	46.2	
Puerto Colombia Santa Verónica	90A2	Barranquilla (Límite 90A02)	3.6	65.8
		Lomita Arena	26.9	
		Puerto Colombia	16.4	
		Santa Verónica	18.9	
Santa Marta (Límite 9007) - Barranquilla (Límite 9007)	9007	BARRANQUILLA	2.9	73.0
		Barranquilla (Límite 9007)	58.2	
		Ciénaga	5.2	
		Pueblo Viejo	5.3	
		Santa Marta (Límite 9007)	1.4	
Río Palomino - Santa Marta (Límite 9008)	9008	Buritacá	21.8	75.0
		Mamatoco	46.8	
		SANTA MARTA	1.8	
		Santa Marta (Límite 9008)	4.7	
Riohacha (Límite 9009) - Río Palomino	9009	Campana	49.5	91.2
		Mingueo	40.7	
		Riohacha (Límite 9009)	1.0	
Toluviejo – San Antero	9004	Coveñas	20.0	102.4
		Lorica	18.5	
		San Antero	7.8	
		Tolú	17.9	
		Toluviejo	38.2	
<i>Total general</i>			456.7	456.7

Tabla 24. Longitud de la infraestructura vial terrestre del litoral caribe colombiano
(Fuente: IDEAM - Universidad Nacional, 1998)

Tipo de vía	Longitud (Km)
Vía pavimentada	548.2
Vía angosta pavimentada	0.4
Vía sin pavimentar	277.7
Vía angosta sin pavimentar	150.7
Vía transitable	409.9
Carretera	21.6
Carreteable	143.5
Camino	1761.1
Sendero	2444.5
Ferrocarril	23.6
Puente	7.4
<i>Total</i>	5788.6

7.2. Caracterización física portuaria de las zonas costeras año 1998

Los terminales marítimos colombianos se encuentran localizados en la línea de costa, en islas cercanas a la línea de costa o en instalaciones artificiales mar adentro³. Las instalaciones portuarias se componen de la red de infraestructura que acerca el emplazamiento a su "hinterland" o área de servicio continental, las condiciones del canal de acceso al terminal y el terminal con sus instalaciones portuarias tales como atracaderos, instalaciones de almacenamiento y/o bodegaje y de procesamiento.

Colombia cuenta con aproximadamente 183 terminales portuarios (tabla 25), los cuales se distribuyen a lo largo de las dos costas. En la costa Pacífica se encuentran 50 terminales y en la costa Atlántica 133. El mayor número de terminales en la costa Atlántica se encuentra en Cartagena y Barranquilla, en tanto que para la costa Pacífica la mayor concentración se presenta en Buenaventura.

En general se puede decir que los puertos dedicados a la carga a granel especializada (sólida o líquida) utilizan instalaciones mar adentro, como son las boyas, las de cargue por fondeo o las instalaciones en zonas de islas. Los que se dedican al manejo de carga en contenedores se localizan exclusivamente en las zonas costeras continentales.

Tabla 25. Número de terminales portuarios identificados por regiones

(Fuente: Consorcio Incoplan & Parsons (CIP), 2002:
"Ordenamiento Físico Portuario de los Litorales Colombianos")

Costa Atlántica		Costa Pacífica			
Región	No.	Región	No.	Región	No.
Guajira	6	Juradó	2	Guapi	2
Santa Marta	3	Bahía Solano	1	Iscuandé	1
Barranquilla	50	Nuquí	3	El Charco	2
Cartagena	51	Querá (río Baudó)	1	La Tola	3
Morrosquillo	6	San Isidro (río Calima)	1	Satinga	1
Turbo	11	Buenaventura	15	Mosquera	1
Atlántico chocoano	3	Puerto Merizalde	2	Salahonda	1
Isla de San Andrés	3	Timbiquí	1	Tumaco	13
<i>Total Costa Atlántica</i>	133	<i>Total Costa Pacífica</i>			50

7.2.1. Zona portuaria de Cartagena

La zona portuaria de la bahía de Cartagena comprende instalaciones asentadas directamente sobre la línea costera y en algunos islotes adyacentes a la costa, los

³ El presente informe contiene un inventario de las características físicas de la infraestructura principal portuaria colombiana, con base en tres fuentes de información: un estudio realizado por la firma Incoplan y Parsons denominado "Ordenamiento Físico Portuario de Los Litorales Colombianos", el Anuario estadístico de la Superintendencia General de Puertos y el Estudio del sistema integrado de la región Caribe.

cuales fueron conectados a la parte continental por extensiones de la misma o por puentes.

Los modos de acceso a esta zona portuaria son carreteable, fluvial y cabotaje. El modo carreteable se hace mediante accesos directamente conectados a la carretera transversal de la costa o vía del mar y la carretera de la cordialidad, que recoge el tráfico desde el interior de las dos troncales más importantes del país (vías 25 y 45).

Esta zona cuenta con dos canales de acceso desde mar abierto: el canal comercial o canal de Bocachica, con una profundidad de 11.9 m, un ancho de 150 m y una longitud de 15 km. El otro canal marítimo es el denominado canal de Isla de Brujas, con profundidad de 11.3 m y con puntos de referencia en el faro de la punta de Castillo Grande y la isla Draga.⁴ El acceso fluvial se realiza a través del Canal del Dique, el cual se conecta con la bahía en su desembocadura de Pasacaballos y que permite la entrada y salida de embarcaciones desde y hacia el río Magdalena.

La zona cuenta con 39 puestos de atraque, que representan 6800 metros de ocupación portuaria. Esta zona portuaria admite principalmente buques "handy size" y buques de turismo con calado no superior a 30 pies. Por medio de este puerto se transportaron 10 millones de toneladas en el año de 1998.

7.2.2. Zona portuaria de Barranquilla

La mayor parte de las instalaciones portuarias de la zona de Barranquilla se encuentran localizadas sobre el margen izquierdo del río Magdalena. El canal de acceso cuenta con una extensión de 22 kilómetros hacia adentro de la desembocadura, contados a partir de Bocas de Cenizas, y representado en la construcción de diques direccionales para controlar el canal natural del río. En promedio cuenta con 23 pies de calado máximo.

Esta zona portuaria tiene acceso por los modos carreteable, fluvial, y cabotaje. Tiene acceso por la vía 90 y sus vías internas que la conectan con el interior del país. Cuenta con 21 puestos de atraque que ocupan una longitud de 5400 metros. Admite buques del tipo "handy size". Por medio de esta zona portuaria se transportaron 3,8 millones de toneladas en el año de 1998.

7.2.3. Zona portuaria de Santa Marta

Las instalaciones portuarias de esta zona se encuentran localizadas sobre la bahía de Santa Marta. Esta es una bahía profunda, sin tributarios y sin aporte de sedimentos fluviales. El canal de acceso al puerto se encuentra señalizado por el faro de Morro Grande y dos boyas que lo delimitan. Ofrece en la actualidad una profundidad de 70 – 120 pies.

Esta zona tiene ferrocarril, carretera y cabotaje como modalidades de acceso. Al igual que las zonas portuarias de Cartagena y Barranquilla, tiene acceso por la vía 90 y 91 y

⁴ Cal y Mayor asociados. 2000. "Estudio del sistema integrado de la región Caribe."

por sus conexiones internas. En esta zona el modo férreo juega un papel importante, debido al transporte del carbón procedente principalmente del departamento del Cesar. Cuenta con 11 puestos de atraque, distribuidos en 1800 metros de ocupación. Admite buques de tipo “cape size”, no obstante que por la profundidad del canal le permitiría admitir buques de mayor tamaño. Por esta zona portuaria se transportaron 13 millones de toneladas en el año 1998.

7.2.4. Zona portuaria de La Guajira

En esta zona, el puerto de mayor tamaño es Puerto Bolívar, por el cual se movilizaron 17 millones de toneladas en 1998. Está situado en la punta sur de la boca de Bahía Portete y se halla conectado mediante una vía férrea de 150 km a la mina de El Cerrejón zona norte. La mina está 75 km al norte de la población de Uribe, a 166 km de Riohacha y 450 km de Barranquilla por carretera. El puerto se ubica en una zona de baja pluviosidad (200-300 mm al año) y los vientos en la zona durante las horas de la tarde pueden ser de hasta 30 nudos.

El acceso desde su “hinterland” es principalmente por vía férrea. Cuenta con un tren que moviliza toda la producción desde el Cerrejón. En cada vagón se pueden transportar 100 toneladas. El canal de acceso a este puerto desde mar abierto tiene una profundidad de 19 metros y una longitud de 3,5 Km. Cuenta con cuatro puestos de atraque que ocupan 720 metros de longitud. Es el puerto que admite el mayor número de buques tipo “cape size” o mayores a 85.000 DTW.

7.2.5. Zona portuaria del Golfo de Morrosquillo

Se transportan desde esta zona aproximadamente 21,6 millones de toneladas/año de crudo de petróleo. Las instalaciones para el transporte de crudo son muy sencillas, teniendo en cuenta que este se embarca por medio de un sistema de mono-boyas que por lo general se localizan en mar abierto.

La mayor parte de su carga llega por medio de ductos, que son parte de la red de oleoductos a escala nacional. Esta zona tiene conexión con el resto del país y especialmente con su “hinterland” por medio del modo carretable y el modo de cabotaje.

7.2.6. Zona portuaria de Buenaventura

En 1998 se movilizaron por esta zona portuaria 7.8 millones de toneladas. El canal de acceso tiene una longitud de 28 km medidos desde las proximidades de La Bocana, en mar afuera, hasta el costado occidental de la isla Cascajal, junto al terminal de la Sociedad Portuaria Regional de Buenaventura. El ancho en la base es de 160 metros. En diciembre de 1997 se terminaron los dragados de profundización a 10 metros, encontrándose fondos duros (arcillas de alta compactación) en varios sectores a lo largo de la bahía.

7.2.7. Zona portuaria de Tumaco

En 1998 se transportaron por esta zona 2.7 millones de toneladas. Cuenta con un canal de acceso de 8 Km de longitud y una profundidad de 10 metros. El acceso a su “hinterland” es relativamente diversificado. Se utilizan los modos de cabotaje y carretable principalmente.

7.3. Infraestructura portuaria y de transporte expuesta

En este aparte se hace la identificación de los principales elementos expuestos de la infraestructura portuaria y de transporte expuestos a la amenaza por ascenso del nivel del mar. Posteriormente se definen los posibles niveles de daño que sobre las estructuras ocasionará el cambio del nivel del mar previsto y se define el grado de vulnerabilidad de cada elemento.

7.3.1. Elementos expuestos en la infraestructura de vías

Los elementos expuestos considerados para el sector de infraestructura de vías fueron los siguientes:

- Vías pavimentadas: con capa sub-base, capa base y capa superficial, alcantarillas, taludes, cunetas, muros de contención y barreras.
- Vías sin pavimentar: con capa sub-base, alcantarillas, taludes, cunetas, muros de contención y barreras.
- Vías férreas
- Puentes y otras obras civiles.

7.3.2. Definición de los niveles de daño para la infraestructura de vías

Se realizó la calificación del nivel de daño de las vías por el ascenso del nivel del mar respecto de la parte estructural, en correspondencia con las características descritas en el ítem anterior y a su funcionamiento. Este análisis se resume en la tabla 26.

La funcionalidad se interpretó sobre la base de las siguientes variables: volumen o cantidad de la carga recibida, características de la carga movilizadora y la conexión con otros centros.

Se considera que las vías principales en la costa Caribe están expuestas a daños estructurales. Para las condiciones de inundación permanente se tuvo en cuenta que las vías presentarían cambios fuertes por dos acciones: la acción de la erosión por el oleaje y la saturación del suelo. Esto acarreará una acción permanente de horadación y cambios de estructura en la vía que desencadenaría como consecuencia su destrucción. En el ámbito funcional se producirá una suspensión permanente del funcionamiento.

Tabla 26. Calificación de los niveles de daño para las vías principales en la costa Caribe

Elemento expuesto		Nivel de daño							
Clase	Tipo	Amenaza baja		Amenaza media		Amenaza alta		Ascenso nivel freático	
		Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional
Total vías pavimentadas	Vía pavimentada	III	IV	IV	IV	IV	IV	III	III
Redes secundarias	Vía sin pavimentar	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Camino	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Carreteable	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Carretera	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	Sendero	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
Férreo	Ferrocarril	III	IV	III	IV	IV	IV	II	III
Infraestructura	Puente	II	IV	II	IV	II	IV	II	II

Por causa del encharcamiento y el aumento del nivel freático se presentará en las vías un proceso de fuerte deterioro a largo plazo, principalmente debido a los cambios en la estructura del suelo; fundamentalmente se considera que la funcionalidad de las vías se verá afectada en su totalidad, aunque la amenaza real afecte sólo algunos tramos, razón por la cual la vulnerabilidad funcional y estructural se considera en el rango de media y alta.

Los resultados del proceso de estimación de la longitud de vías e infraestructura expuesta a las diferentes categorías de amenaza por inundación marina mostraron que del total de las redes viales principales, secundarias, de caminos y férrea, el 5.4% se encuentra en amenaza alta, el 11.8% en amenaza media y el 25.0% en amenaza baja; el 30.4% de las vías se verán afectadas por el proceso de ascenso del nivel freático (tabla 27).

Como resultado de la evaluación de la vulnerabilidad de los 5788.6 Km de la infraestructura de vías de transporte terrestre al ascenso del nivel del mar, se obtuvo que 2592.8 Km son altamente vulnerables, los cuales corresponden 1601.6 Km a senderos y caminos, 691.6 Km a vías sin pavimentar, 286.8 km a vías pavimentadas, 10.9 Km a vías férreas y 1.9 Km a puentes. Son moderadamente vulnerables 144.6 Km de vías pavimentadas, 139.6 Km de vías sin pavimentar, 12 Km de vías férreas y 5.5 Km de puentes. Con baja vulnerabilidad fueron considerados 1312 Km de senderos y caminos. Los resultados de la evaluación de vulnerabilidad se presentan en la tabla 28 y su zonificación es mostrada en el mapa 12.

7.3.3. Elementos expuestos en la infraestructura de puertos

La infraestructura portuaria, como el sector industrial, es compleja. Depende del objeto para el cual fue construida, el cual a su vez define la infraestructura para la prestación del servicio. Para resolver esta especificidad y como primera aproximación, se definieron los elementos expuestos sobre constituyentes comunes en las siguientes categorías genéricas de infraestructura:

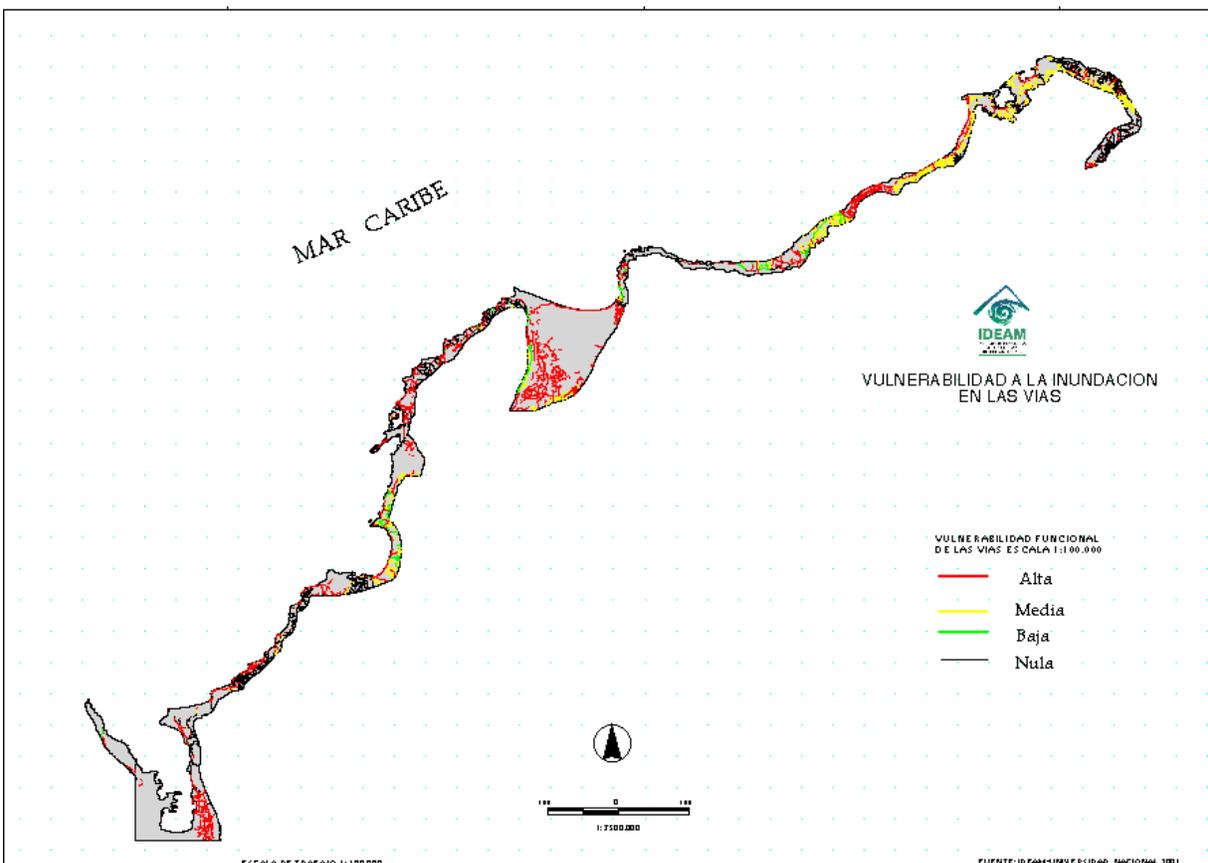
Tabla 27. Red de transporte del litoral Caribe expuesta a la amenaza marina

Clase	Elemento expuesto	Extensión de la red de transporte expuesta a la amenaza marina													
		Categoría de amenaza								Otro efecto		Sin efectos		Total	
		Bajo		Medio		Alto		Total en amenaza		Nivel freático		Nula			
		Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%
Vía pavimentada	Vía pavimentada	172.7	31.5	71.4	13.0	42.4	7.7	286.5	52.3	144.6	26.4	117.1	21.4	548.2	9.5
	Vía pavimentada angosta	0.4	100.0		0.0		0.0	0.4	100.0		0.0		0.0	0.4	0.0
Vía sin pavimentar	Vía sin pavimentar	149.5	53.8	6.9	2.5	18.5	6.7	174.9	63.0	50.8	18.3	52.0	18.7	277.7	4.8
	Vía sin pavimentar angosta	55.4	36.8	10.0	6.6	14.0	9.3	79.4	52.7	48.7	32.3	22.6	15.0	150.6	2.6
	Vía transitable	176.7	43.1	20.9	5.1	29.9	7.3	227.5	55.5	136.9	33.4	45.4	11.1	409.9	7.1
	Carreteable	20.8	14.5	16.8	11.7	10.0	7.0	47.5	33.1	45.0	31.4	50.9	35.5	143.5	2.5
	Carretera	9.7	44.8		0.0		0.0	9.7	44.8	8.0	36.8	4.0	18.4	21.6	0.4
	Sendero	711.6	29.1	318.5	13.0	123.9	5.1	1154.0	47.2	581.4	23.8	707.6	29.0	2443.0	42.2
	Camino	137.6	7.8	238.6	13.5	69.8	4.0	446.1	25.3	730.6	41.5	584.5	33.2	1761.1	30.4
Férreo	Ferrocarril	9.9	42.0	0.5	2.1	0.5	2.0	10.9	46.2	12.0	50.7	0.7	3.1	23.6	0.4
Infraestructura	Puente	4.0	54.6		0.0	1.9	25.3	5.9	79.8	1.5	20.1	0.0	0.1	7.4	0.1
Total		1448.3	25.0	683.7	11.8	310.8	5.4	2442.7	42.2	1759.3	30.4	1584.9	27.4	5787.0	100.0

Tabla 28. Resultados de vulnerabilidad para la infraestructura en vías.

Clase	Tipo de vía	Índice de vulnerabilidad										
		Grado de amenaza								Sin amenaza		Total general
		Alta		Media		Baja		Nula				
		Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	Km	%	
Vía pavimentada	Vía pavimentada	286.5	52.3	144.6	26.4					117.1	21.4	548.2
	Vía angosta pavimentada	0.4	100.0							0.0		0.4
Vías diversas sin pavimento	Vía sin pavimentar	225.7	81.3							52.0	18.7	277.7
	Vía angosta sin pavimentar	128.2	85.0							22.6	15.0	150.7
	Vía transitable	227.5	55.5	136.9	33.4					45.4	11.1	409.9
	Carretera	17.6	81.6							4.0	18.4	21.6
	Carreteable	92.6	64.5							50.9	35.5	143.5
	Camino	446.1	25.3			730.6	41.5	584.5	33.2	1761.1		
	Sendero	1155.5	47.3			581.4	23.8	707.6	28.9	2444.5		
Férreo	Ferrocarril	10.9	46.2	12.0	50.7					0.7	3.1	23.6
Infraestructura	Puente	1.9	25.3	5.5	74.6					0.0	0.1	7.4
Total general		2592.8	44.8	298.9	5.2	1312.0	22.7	1584.9	27.4	5788.6		

- Construcciones y edificaciones administrativas y/o de servicios complementarios: edificios de áreas administrativas, hoteles, zonas aduaneras, zonas de comercio y zonas francas, entre otras.
- Infraestructura de atraque y recibo, almacenamiento y despacho de carga: equipos de carga y descargue, tanques, silos, bodegas, área de trasiego de la carga, dársenas y muelles entre otros.
- Obras civiles e instalaciones para diferentes servicios complementarios: estanques, canales, diques de contención, suministro de energía y combustible
- Vías, ferrocarril y ductos de transporte de diferentes fluidos.



Mapa 12. Vulnerabilidad de las redes viales del litoral Caribe para transporte automotor, férreo y puentes.

7.3.4. Definición de los niveles de daño para la infraestructura de puertos

La calificación de los niveles de daño se realizó sobre los componentes estructurales y funcionales definidos en el numeral anterior, con base en los cuales se elaboró la tabla 29. Para la definición de los niveles de daño en cuanto a la funcionalidad, esta se interpretó sobre la base de las siguientes variables:

- Volumen o cantidad de la carga recibida
- Características de la carga movilizada
- Conexión con otros centros.

Tabla 29. Calificación de los niveles de daño en las zonas de puertos por elemento expuesto y categoría de amenaza

Elemento expuesto		Categoría de amenaza					
		Baja		Media		Alta	
Clase	Tipo	Físico	Funcional	Físico	Funcional	Físico	Funcional
Infraestructura portuaria	Construcciones y edificaciones de administración y servicios.	I	II	II	III	II	IV
	Infraestructura de atraque y recibo, almacenamiento y despacho de carga	I	I	II	III	II	IV
	Obras civiles para diferentes servicios complementarios	I	II	II	IV	II	IV
Servicios complementarios	Obras civiles e instalaciones para diferentes servicios complementarios	II	I	II	IV	III	IV
	Vías, ferrocarril y ductos de transporte de diferentes fluidos	II	III	II	IV	III	IV

El diseño de los puertos contempla el manejo de fenómenos marinos que puedan afectar el funcionamiento o la infraestructura instalada, sin embargo, en los diferentes niveles de amenaza se podría llegar a afectar en forma total la funcionalidad de las actividades. Estos son construidos, en su mayoría con factores de seguridad que pueden garantizar la resistencia ante la capacidad destructiva de las olas, con una probabilidad de duración estimada entre 50 y 100 años. Esto permite, en teoría, plantear un nivel de susceptibilidad bajo a medio para este tipo de elemento expuesto. Por otro lado, los potenciales cambios en la capacidad portante del suelo por el ascenso del nivel freático y la inundación marina afectarán de manera negativa algunas estructuras y la funcionalidad misma en el largo plazo, considerado bajo el escenario supuesto en este estudio.

8. ADAPTACION DE LAS ZONAS COSTERAS

La evaluación geomorfológica y el modelamiento morfodinámico de las zonas costeras colombianas permitieron definir los posibles efectos que se presentarían por el ascenso acelerado del nivel del mar asociado al cambio climático. Los potenciales impactos que sufran los ecosistemas, las actividades socioeconómicas y los asentamientos humanos dependerán en buena medida de la respuesta que las diferentes geoformas, ecosistemas y sistemas naturales y socioeconómicos den al cambio del nivel del mar.

Con base en la zonificación de la amenaza por inundación litoral y los efectos asociados pueden definirse algunas opciones de adaptación para los sistemas naturales litoral y deltáico y para los grupos humanos allí asentados al ascenso del nivel del mar. Las opciones definidas son de contenido general para los litorales colombianos y están basadas en las propuestas metodológicas de IPCC (Feenstra *et al.*, 1998; IPCC, 1995; IPCC, 1992) y autores como Bird, Nicholls y Capobianco.

La adaptación incluye numerosas opciones de adecuación que dependen fuertemente de las características biogeofísicas y socioeconómicas locales, donde la opción óptima para una región específica puede ser una mezcla de ellas. Las medidas de adaptación son agrupadas en dos categorías generales: la *adaptación autónoma* y la *adaptación planeada*. La adaptación autónoma hace referencia a la utilización de la capacidad de respuesta libre de los sistemas costeros al cambio marino, en tanto que la adaptación planeada utiliza estrategias de prevención y respuesta antrópica al fenómeno marino adverso. En las estrategias correspondientes a las dos categorías mencionadas, el planeamiento requiere de la consideración de largos períodos de tiempo para garantizar su efectividad, que en este caso debe ser de al menos 100 años.

Las siguientes son las diferentes opciones de adaptación y estrategias de respuesta al cambio del nivel del mar definidas con base en la geomorfología y la morfodinámica para los litorales colombianos.

8.1. Adaptación autónoma

La adaptación autónoma utiliza la capacidad que tienen los sistemas costeros para responder libremente a las presiones externas, como son las producidas por el cambio climático. La capacidad de respuesta depende ampliamente de la resiliencia y la resistencia de los sistemas costeros, las que a su vez están controladas por los procesos morfodinámicos litorales y fluviales.

Los sistemas costeros con resiliencia y resistencia alta pueden llegar a tener la suficiente autorregulación para compensar el ascenso acelerado del nivel del mar, bien sea migrando hacia el continente o compensando el ascenso marino acelerado mediante la acreción de sedimentos. No obstante, las actividades humanas han reducido notoriamente la resiliencia de los sistemas costeros debido a la alteración de los ecosistemas. Esta interferencia incluye principalmente el desarrollo de infraestructura y la contaminación, actividades que evitan que tomen lugar procesos naturales como el crecimiento de los corales, la acreción de los manglares y los aportes de sedimentos por la deriva litoral.

La opción de permitir la libre adaptación natural puede ser considerada en dos formas: no hacer nada y prevenir y/o revertir malas adaptaciones. La primera medida implica no tomar ninguna acción, dejando en libertad a los sistemas costeros para que se ajusten al nivel más elevado del mar. En la segunda opción son adoptadas medidas para reducir la interferencia de los sistemas y de la dinámica natural, así como para restablecerlas cuando sea posible.

La adaptación autónoma del litoral puede ser facilitada mediante la adopción de las siguientes opciones de adaptación: no-intervención de áreas naturales de amortiguación de inundaciones, no-alteración y/o interrupción de la dinámica natural costera y fluvial y reversión de malas adaptaciones. Los dos primeros lineamientos hacen referencia a la prevención de nuevos desarrollos en áreas de amortiguación de eventos súbitos y extraordinarios tanto marinos como fluviales y la no-interrupción de los procesos de transporte y acumulación de sedimentos en el litoral y el delta, con el propósito de fortalecer los mecanismos de resiliencia de los sistemas costeros y aumentar su capacidad de respuesta.

La tercera opción considera la reversión de malas adaptaciones, como la eliminación de estructuras y la corrección de usos inadecuados de la tierra que interfieren con la dinámica litoral y deltáica. La reversión puede incluir el desmonte de estructuras que interfieren o su adecuación para reducir los impactos de su interferencia, así como el cambio de uso de la tierra hacia opciones de conservación del medio natural y la restricción de la ocupación (para prevenir potenciales amenazas y recuperar zonas de amortiguación).

Estas opciones de adaptación pueden considerar acciones específicas para algunos sitios del litoral como:

- Adecuación de los tajamares de Bocas de Ceniza para permitir un mayor paso de sedimentos al litoral. Esta opción permitiría restablecer la alimentación natural de las playas actualmente amenazadas en la zona de Puerto Colombia y la Isla de Salamanca.
- Control de la contaminación y los daños sobre los corales y manglares e implementación de programas para su recuperación con el propósito de aumentar la

resiliencia de la línea de costa. En estos casos sería fundamental reducir sustancialmente la contaminación a los sistemas coralinos de Islas del Rosario y San Bernardo, fuentes básicas de sedimentos para la alimentación natural de las playas de Barú y el golfo de Morrosquillo, con sus poblaciones y centros turísticos concentrados principalmente en Tolú y Coveñas.

- Eliminación y/o reducción de la intervención de los deltas para permitir la adaptación autónoma del complejo deltáico al ascenso del nivel del mar. Debe incluir obras para el restablecimiento de las condiciones naturales del sistema hídrico y la conservación de las zonas anegadizas. Con estas medidas se mejoraría la función de estas áreas como receptoras y amortiguadoras de inundaciones y de refugio de flora y fauna, la recuperación de los ecosistemas existentes y el fortalecimiento de los mecanismos de resiliencia.
- Creación y ampliación de áreas protegidas para asegurar la no-interferencia en los procesos autónomos de adaptación. Las medidas más indicadas podrían incluir la ampliación de parques naturales para incluir mayores zonas de manglares e islas coralinas, y la creación de nuevas zonas de reserva natural en los humedales y pantanos costeros. Casos sobresalientes podrían incluir las islas de San Bernardo, frente a Tolú y el golfo de Morrosquillo, además de zonas del Darién y los deltas del Patía y Mira, sectores de Salahonda-Caballos y cabo Manglares, respectivamente.

8.2. Adaptación planeada

La adaptación planeada hace referencia a las medidas futuras para prevenir, reducir y resistir los impactos del cambio climático y en especial del ascenso del nivel del mar. Para el IPCC, la adaptación planeada puede darse mediante tres categorías de respuesta: el retiro manejado, la acomodación y la protección. Las estrategias de retiro manejado y acomodación incluyen principalmente medidas preventivas para áreas donde se permitirá la pérdida de terreno por erosión e inundación, facilitando la adaptación autónoma y la estabilidad de la dinámica de los sistemas costeros. La protección involucra tanto medidas de respuestas como de prevención para tratar de mantener la línea de costa en el sitio actual.

8.2.1. Retiro manejado

El retiro manejado considera el abandono estratégico progresivo de las tierras y de las estructuras que puedan ser afectadas por el ascenso del nivel del mar. El abandono puede ser motivado en algunos sectores del litoral por el alto impacto ambiental y económico de las medidas de protección, considerándose como posible alternativa óptima permitir el avance de los ecosistemas hacia el continente. En el retiro manejado se consideran opciones de adaptación como: reubicación de la población amenazada, desarrollo condicionado a las fases de abandono, adopción de medidas de acomodación y prevención de futuros desarrollos importantes en áreas amenazadas.

Para el litoral colombiano, estas opciones de adaptación pueden ejemplificarse con acciones en sitios específicos como:

- No-intervención de áreas altamente susceptibles como los manglares, los humedales salobres y las llanuras de inundación de los principales ríos para permitir que cumplan su función de amortiguación de inundaciones y expansión de los cuerpos de agua. En este caso se destaca la mayoría de los deltas grandes y medianos del país, incluyendo el Magdalena, el Sinú, el Atrato, el San Juan, el Patía y el Mira.
- No-desarrollo de áreas susceptibles como cordones de playas, islas coralinas, marismas y llanuras de inundación. En este caso se destacan las islas de Barú, San Bernardo y Rosario y la costa del Darién.
- Retiro de la población actualmente asentada sobre marismas de mangle y pantanos costeros; retiro gradual de la población asentada en las llanuras de inundación de los principales ríos. En este caso se destacan sectores de las poblaciones de Tasajera y Ciénaga, en el departamento del Magdalena; Salgar, en el departamento de Atlántico y Turbo, en el departamento de Antioquia, además de sectores de Mosquera y Satinga, en el departamento de Nariño.



*Area litoral amenazada por erosión marina que destruyó las playas y causó el retroceso de los acantilados de Pradomar (Atlántico).
Fotografía de Kim Robertson.*

8.2.2. Acomodación

La estrategia de acomodación comprende el continuo pero modificado uso de la tierra y la inclusión de respuestas adaptativas de la población. Para el IPCC (1990), la

acomodación implica que los habitantes continúen el uso de la tierra bajo su riesgo pero sin intentar prevenir que la tierra sea inundada o erosionada. Las respuestas adaptativas incluyen medidas como la elevación de las construcciones sobre los niveles de inundación, la modificación de los sistemas de drenaje y el cambio de uso de la tierra. La estrategia de acomodación considera opciones de adaptación como la conservación de los ecosistemas en armonía con la ocupación, la modificación del uso de la tierra, la protección de los ecosistemas amenazados y la regulación estricta de las zonas inundables. La ocupación continua considera el uso de áreas altamente susceptibles a la inundación mediante la adopción de respuestas de adaptación y la modificación de los códigos de construcción.

Para los litorales colombianos las opciones de adaptación relacionadas con la acomodación pueden incluir acciones como:

- Modificar el uso de la tierra en los deltas y establecer usos de acuerdo con la oferta natural y bajo prácticas conservacionistas. El IPCC recomienda la introducción de agricultura de crecimiento anegado y/o resistente a la sal.
- Promover el cambio de uso de la tierra en las llanuras de inundación de los principales ríos. Esta situación se destaca en los ríos Sinú, Magdalena y Patía.
- Creación y/o ampliación de áreas protegidas como parques nacionales para la protección de los humedales y pantanos costeros. En esta situación se destaca como principales ejemplos la posible ampliación de los parques de Salamanca, Katíos y Sanquianga, para permitir la inclusión de las áreas deltáicas de los ríos Magdalena, Atrato Patía, respectivamente. Además se recomienda la creación de nuevos parques en las zonas de Darién, islas de San Bernardo y las bahías Honda y Hondita en el Caribe, y San Juan y Cabo Corrientes en el Pacífico.
- Reglamentación de distancias mínimas para el levantamiento de construcciones cerca de la línea de costa (por ejemplo, playas y acantilados no resistentes), las cuales deberán estar apoyadas en detalladas mediciones de tasas locales de retroceso de la línea de costa.
- Desarrollo de programas de investigación para realizar el seguimiento de la dinámica litoral y medición de las tasas locales de retroceso de la línea de costa. Esta situación se hace especialmente necesaria en los deltas de los ríos Ranchería, Atrato, Sinú, Mira y Patía.
- Incentivar programas de investigación científica de los humedales costeros, manglares, ciénagas y ecosistemas en general, para conocer mejor el funcionamiento y la dinámica con el propósito de lograr su recuperación y aumentar su productividad. Así se contribuirá a encontrar nuevas alternativas de producción sostenible para los habitantes de los litorales.

- Creación de programas científicos y de investigación para realizar el seguimiento y monitoreo de los efectos que se presentarán en los deltas y los litorales por el ascenso del nivel del mar. Se debe incluir programas para el seguimiento y medición de la intrusión de la cuña salina, comportamiento de los niveles freáticos, salinización de suelos y de acuíferos, cambios ecológicos, estabilidad de cauces y modificación de los niveles de inundación, entre otros aspectos. Estos estudios serán básicos para el diseño de los planes de retiro programado.
- Realizar el modelamiento hidráulico y dinámico de los deltas de los principales ríos para evaluar los impactos que se presentarán por el aumento de las inundaciones y los nuevos patrones de sedimentación debidos al ascenso del nivel del mar.

8.2.3. Protección

La estrategia de protección busca mantener la línea de costa en su posición actual mediante medidas de defensa, las que pueden consistir en la construcción y/o ampliación de estructuras y en la alimentación artificial y mantenimiento de playas. Las opciones de protección pueden involucrar la pérdida de funciones naturales de los sistemas costeros, del valor de los recursos naturales y el debilitamiento de los mecanismos de resiliencia. Por tanto, la selección de una opción de defensa debe involucrar importantes consideraciones ambientales, sociales y económicas, que necesitan ser previamente evaluadas en forma cuidadosa.

En la protección se hace énfasis en la defensa de áreas altamente vulnerables como centros de población, actividades económicas y ecosistemas estratégicos. Las medidas de protección pueden ser adoptadas para la línea de costa completa, para las áreas de marcada importancia o no ser protegido ningún sector litoral, en una elección que dependerá de razones ambientales y económicas fundamentalmente. La estabilización de la línea de costa puede intentarse mediante opciones estructurales blandas como la alimentación de playas, la restauración de humedales y la reforestación de las zonas aledañas a la línea de costa. La protección también puede involucrar el levantamiento de estructuras duras como diques, malecones, espolones y rompeolas, obras que requieren grandes inversiones y la transformación de la línea de costa.

Las posibles opciones adecuadas de protección para los litorales colombianos pueden incluir la defensa de las zonas de importancia económica y turística potencialmente afectadas por inundación y erosión. Por su importancia económica se considera necesaria la protección de la zona industrial de Mamonal y los puertos de Cartagena y Barranquilla. La opción de proteger zonas de importancia turística mediante la alimentación de playas, permitiría mantener la función recreativa de las playas y el uso turístico de la tierra en las localidades que desarrollan este tipo de actividad. Igualmente, las zonas portuarias de Buenaventura y Tumaco requerirán un tratamiento similar también.

El diseño e implementación de las medidas de protección requerirá la utilización de información básica detallada como la caracterización geológica, geomorfológica, morfodinámica, geotécnica y oceanográfica. Para su recolección podría ser necesaria la implementación de programas científicos para la caracterización detallada y el seguimiento de los sistemas costeros. Ejemplo de ello es la necesidad de iniciar la recolección de información referente al oleaje climático, parámetro básico para diseñar los programas de alimentación de playas y las estructuras de protección.

9. CONCLUSIONES

El análisis de vulnerabilidad del litoral colombiano frente al potencial ascenso del nivel del mar proyectado en un metro para dentro de 100 años, permitió tener una visión general del grado de afectación por inundación y erosión que tendrán algunos sistemas naturales y actividades socioeconómicas localizadas en las costas colombianas.

La población localizada en la zona de estudio del litoral Caribe es de 2,103,787 habitantes, de los cuales el aproximadamente el 74% será afectada por algún tipo de efecto por inundación, lo que representaría 1,553.646 personas potencialmente afectadas. De esta población, 1,152,365 recibirán efectos directos por inundación marina y la restante población, 26%, podría recibir efectos indirectos asociados al cambio del nivel del mar. De la población que recibirá efectos directos, el 19% están en la zona de amenaza por inundación permanente, el 13% en la zona de amenaza por encharcamiento fuerte a inundación y la restante 68% están en la zona de encharcamiento leve a moderado. De la población afectada por algún grado de amenaza, aproximadamente el 90% se encuentra localizada en las cabeceras municipales, en tanto que la restante se distribuye en forma dispersa en las zonas de amenaza. Los centros urbanos que más población presentan en las zonas de amenaza corresponden a Cartagena, San Juan de Urabá, Turbo, Ponedera, Puerto Colombia, al igual que el área rural de Cartagena.

En el litoral Pacífico la población total que ocupa la zona analizada es de aproximadamente 462,457 personas, de las cuales el 49% aproximadamente será afectada por algún tipo de inundación, que representa aproximadamente 226,322 pobladores potencialmente afectados. De esta población, 196,065 recibirán efectos directos por la inundación marina debida al ascenso del nivel del mar, en tanto que la población restante, 13%, podría recibir efectos indirectos como profundización y cambios en el nivel freático. Sobre la población que recibirá efectos directos por la inundación, aproximadamente el 3% se encuentra en la zona de amenaza por inundación permanente, el 40% en la zona de amenaza por inundación fluctuante ampliada, el 34% en la zona de amenaza por encharcamiento fuerte a inundación y el 23% restante en la zona de amenaza por encharcamiento leve a moderado.

De la población afectada por algún grado de amenaza, aproximadamente el 36% se encuentra localizada en cabeceras municipales, en tanto que la población restante se distribuye en forma dispersa en las zonas de amenaza. Debido a esta distribución, la población rural del Pacífico se verá mayor expuesta a las diferentes amenazas por inundación comparada con la del Caribe. Por su parte, las cabeceras municipales de

Tumaco, El Charco, Nuquí, Juradó, Santa Barbara y Olaya Herrera son las que mas población urbana concentran en las zonas con algún grado de amenaza.

Para el sector agropecuario, se encontró que de las 1.533.290 Ha identificadas con cultivos y pastos en la zona, 351.971 Ha están expuestas a los diferentes tipos de amenaza, que a su vez equivale al 23% del área total cultivada en los departamentos considerados. Del área expuesta, el 49.5% del área de cultivos y pastos presenta alta vulnerabilidad, donde el cultivo del banano se verá afectado en un 55.4%, los cultivos transitorios en un 7.7%, los cultivos permanentes en un 2.2% y la palma africana en un 31.7%, considerado este porcentaje con respecto al total de cada uno de estos cultivos existentes en los departamentos considerados.

En el sector industrial, el análisis de vulnerabilidad mostró que el 75.3% (475 Ha) del área ocupada por los establecimientos manufactureros en Barranquilla y el 99.7% (877 Ha) en Cartagena son altamente vulnerables a la inundación por el ascenso del nivel del mar.

En cuanto a la infraestructura de vías, se tiene que el respectivo análisis estableció que el 44.8% de la infraestructura vial terrestre presenta alta vulnerabilidad, el 5.2% moderadamente vulnerable y el 22.7% es poco vulnerable.

REFERENCIAS CITADAS

- Bijlsma, L. *et al.*, 1996. *Coastal Zones and Small Islands*. En: Watson, R.T., Zinyowera, M.C. And Moss, R.H. (eds.). *Climate Change 1995 - Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific - Technical Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 289-324.
- Bird, E. C. F., 1993. *Submerging Coasts. The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. Chichester: Jhon Wiley and Sons. 184 p.
- Capobianco, M. *et al.*, 1999. *Coastal Area Impact and Vulnerability Assessment: The Point of View of a Morphodynamic Modeller*. En: *Journal of Coastal Research*. Vol. 15, No. 3; p. 701-716
- Chaparro, J. y Jaramillo, O., 2000. *Impactos socio-ambientales del ascenso del nivel de mar en la Isla de San Andrés*. Bogotá, 127 p. Trabajo de grado (Departamento de Geografía), Universidad Nacional de Colombia.
- Davis, R. A., 1996. *Coasts*. New Jersey: Prentice-Hill. 274 p.
- Feenstra, J.F. *et al.* (eds), 1998. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*. Amsterdam: UNEP. 1 v.
- Gornitz, V. and Lebedeff, S., 1987. *Global Sea Level Changes During the Past Century*. En: NUNMEDAL, D. *et al.* (eds). *Sea Level Change and Coastal Evolution*. SEPM Special Publication. No. 41; p. 3-16.
- IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1996a. *Sistemas Morfogénicos del Territorio Colombiano*. Convenio IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL. 115 p. Bogotá.
- IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1996b. *Distribución Espacial de la Población*. Convenio IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL. Bogotá.
- IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1997. *Morfodinámica, Población y Amenazas Naturales en La Costa Pacífica Colombiana*. Convenio IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL. 78 p. Bogotá.
- IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL, 1998. *Litoral Caribe: Morfodinámica y Amenazas Naturales*. Bogotá: Convenio IDEAM-UNIVERSIDAD NACIONAL. 187 p.

- IGAC, 1987. *Uso Actual de las Tierras de Colombia*. Mapa escala 1.500.000. Bogotá: IGAC.
- IPCC, 1995. *Cambio Climático, Segunda Evaluación*. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. Ginebra: OMM-PNUMA. 71 p.
- IPCC CZMS, 1992. *A Common Methodology for Assessing Vulnerability to Sea Level Rise*. 2nd Revision. En: IPCC CZMS. Global Climate and The Rising Challenge of The Sea. The Hague: Ministry of Transport, Public Works and Water Management of The Netherlands. Appendix C, 27 p.
- IPCC, 1990. *Climate Change: The IPCC Response Strategies*. Geneva: Report of the Response Strategies Working Group of The Intergovernmental Panel on Climatic Change, World Meteorological Organization and United Nations Environment Programme. 273 p.
- KLEIN, R.J. *et al.*, 1998. *Coastal Zones*. En: FEENSTRA, J.F. *et al.*, (eds). Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. Amsterdam: UNEP. p. 7-1 to 7-34.
- Martínez A., N.J., 2001. *La Dinámica Fluvial y Litoral del Delta del Magdalena. Bases para un Manejo Sostenible Frente al Ascenso del Nivel del Mar*. Bogotá, 115 p. Trabajo de grado (Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Area de Gestión Ambiental) Universidad Nacional de Colombia - IDEAM.
- Mimura, N. (ed.), 1996. *Data Book of Sea-level Rise*. Tokio: Center for Global Environmental Research. 88 p.
- Molina, L.E. *et al.*, 1998. Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe Colombiano. En: Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS. No. 21; p. 1-74.
- Nicholls, R., Leatherman S., Dennis K., Volonte C., 1995. *Impacts and responses to sea level rise: qualitative and quantitative assessments*. En: Spec. Iss. No. 14, Journal of Coastal Research, Maryland, E.U.
- OMM. 1992. *Cambio Climático. Evaluación científica del IPCC*. Madrid: Gráficos Jogamar.
- Robertson, K. y Martínez A., N. J., 1999. *Cambios del Nivel del Mar Durante el Holoceno en el Litoral Caribe Colombiano*. En: Cuadernos de Geografía. Vol. 8, No.1; p. 168-198.

Warrick, R.A. *et al.*, 1996. *Changes in Sea Level*. En: Houghton, J.T.; MEIRA FILHO, L.G. and CALLANDER, B.A. (eds.). *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 359-406.

Zambrano P., F. R., 1993. *Ciudad y Territorio: El Proceso de Poblamiento en Colombia*. Bogotá: Academia de Historia de Bogotá, 297 p.