

ARTÍCULO

## Información espacial para el control y administración del litoral en el Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano

### Spatial Information for the control and management of the littoral at the Morrosquillo Gulf, Colombian Caribbean

Fecha recepción: 2007-09-14 / Fecha aprobación: 2007-10-13



**Fernando Afanador Franco**, fafanador@cioh.org.co

**Iván Castro Mercado**, ifcastro@cioh.org.co

**Nixon Torres Otalvaro**, ntorres@cioh.org.co

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH, Isla Manzanillo, Cartagena de Indias, D. T. y C.

### Resumen

A raíz de la creciente ocupación de los bienes de uso público, principalmente de las playas y de los terrenos de bajamar por parte de los particulares, la Dirección General Marítima - DIMAR en su función de Autoridad Marítima Nacional encargada de controlar y administrar estos bienes, ha definido un modelo conceptual que utiliza información espacial, especificaciones y procedimientos técnicos para establecer técnicamente el límite de su jurisdicción. La información espacial utilizada comprendió fotografías aéreas digitales ortorectificadas tomadas durante 2005 e información tridimensional obtenida con un sensor LIDAR (Light Detection and Ranging) ALS40 que permitieron conformar una base cartográfica digital adecuada para las labores de administración y control del litoral en el Golfo de Morrosquillo.

La utilización de la información espacial en el control y administración del litoral en el Golfo de Morrosquillo, comprendió la definición del modelo conceptual, el establecimiento de las necesidades de información, la aplicación del modelo conceptual, la verificación de sus resultados en terreno, el análisis y discusión del límite de la jurisdicción de la DIMAR, el almacenamiento de la información de jurisdicción en el SIG Institucional de la DIMAR y finalmente, el desarrollo del control y administración del litoral por parte de la Capitanía de Puerto y de la Dirección General Marítima basados en la información espacial correspondiente.

Como resultado de la investigación, se obtuvo la base cartográfica digital del área de estudio, compuesta por 171 ortofotomapas a escala 1:2000; una base de datos asociada a la cartografía, resultante de un censo de las áreas litorales bajo jurisdicción; la interpolación desde el Modelo Digital del Terreno- DTM generado con base en datos LIDAR, del valor de la altura elipsoidal de la línea de más alta marea en la zona de estudio; la posición espacial del límite interno de las playas; localización y cuantificación de las áreas erosionadas y con acreción producidas por la construcción de espolones; espacialización y cuantificación de las áreas sometidas a rellenos antrópicos; localización y cuantificación de las planicies de inundación por un eventual ascenso del nivel medio

del mar; trazado del límite preliminar de la jurisdicción de la DIMAR y la estructuración y almacenamiento de la información espacial y alfanumérica en la Geodatabase Corporativa de la Autoridad Marítima Nacional. En relación con los bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR, a través de la investigación se estableció que 132.8 ha corresponden a playas, los terrenos de bajamar ocupan un área de 4260 ha y la franja de cincuenta metros de jurisdicción abarca 519.4 ha.

**Palabras clave:** Litoral, control y administración, jurisdicción de la DIMAR, Caribe colombiano.

## *Abstract*

Due to the squatting of the public properties, mainly of the beaches and intertidal zones, by individuals, Colombia's Maritime Authority DIMAR (Dirección General Marítima), acting as the National Maritime Authority, in charge of controlling and managing such properties, has defined a conceptual model which utilizes spatial data, technical specifications and procedures to establish technically the limit of jurisdiction. The spatial information used comprised orthorectified digital air photographs taken during 2005, as well as three-dimensional information obtained with a LIDAR (Light Detection and Ranging) ALS40 sensor which allowed to conform a digital cartographic base appropriate for the control and management tasks of the littoral at the Morrosquillo Gulf.

The utilization of the spatial information for the control and management of the littoral at the Morrosquillo Gulf, comprised the definition of the conceptual model, the establishment of the needs of spatial information, the application of the conceptual model, the verification of its findings on the field, the analysis and discussion of the limits of DIMAR jurisdiction, the storing of the information of jurisdiction at the Institutional GIS of DIMAR and finally, the development of the control and administration of the littoral by the Port Authorities and the DIMAR based on the corresponding spatial data.

As a result of the research, the digital cartographic base of the area of study was obtained which is

composed of 171 orthophotomaps to scale 1:2000, a database associated to the cartography resulting from a census of the littoral areas under jurisdiction, the interpolation from the Digital Terrain Model DTM- which was generated based on the LIDAR data, from the ellipsoidal height value of the highest tide line internal beach limit; location and quantification of the eroded and accretion produced by the construction of groins and breakwaters; spatialization and quantification of the areas subject to anthropic refilling; location and quantification of the flooding areas for an eventual sea level rise; trace of the preliminary limits of DIMAR jurisdiction and the structuring and storing of the spatial and alphanumeric information at the National Maritime Authority Corporative Geodatabase. Regarding the public properties under DIMAR jurisdiction, through the research it was established that 132.8 hectares correspond to beach field, the low tide fields occupy an area of 4,260 hectares and a strip of fifty meters of jurisdiction comprises 519.4 hectares.

**Key words:** Littoral, Control and management, DIMAR jurisdiction, Colombian Caribbean.

## *Introducción*

Los litorales son áreas complejas, compuestas por ambientes marinos y terrestres. Igualmente es el lugar en donde se presentan múltiples actividades, derechos, intereses y el hogar de aproximadamente el 44% de la población mundial. Por ello, las naciones del mundo se encuentran tan interesadas en balancear el desarrollo y la explotación de los recursos en estas zonas [1].

A pesar de lo anterior, por lo general se presenta una falta de entendimiento y conocimiento adecuado del sistema litoral. El ambiente terrestre cambia en escalas de tiempo de centenares de años, mientras que el ambiente marino es más dinámico, con procesos más determinantes para los cambios como las mareas y la erosión de la línea de costa, en escalas de tiempo mucho menores.

Como consecuencia de lo anterior, la información espacial y el acceso a ella, se convierten en elementos que proporcionan una invaluable ayuda en la toma de

decisiones para el control y administración de los litorales. De esta manera, los datos o la información espacial, deben cumplir dos características importantes: ser fácilmente entendible y fácilmente accesibles [2]. En este orden de ideas, la tecnología de la información espacial puede ser utilizada como soporte efectivo, coherente y oportuno para los procesos de toma de decisiones sobre su control y administración.

## Área de estudio

El área de estudio correspondió a la totalidad del Golfo de Morrosquillo, específicamente entre Punta San Bernardo y Bahía Cispatá, en el Caribe colombiano (figuras No. 1 y 2).

La zona costera del Golfo de Morrosquillo comprende territorios de los municipios de Tolú y de San Onofre (departamento de Sucre), así como de San Antero (departamento de Córdoba) y se encuentra ubicada entre las coordenadas 9° y 10° latitud Norte y entre los 75° y 76° longitud Oeste del meridiano de Greenwich. El golfo pertenece en su mayor parte al departamento de Sucre [3].

El clima es tropical, con temperaturas superiores a los 24°C y precipitaciones de 850 mm anuales; vientos predominantes de dirección Norte-Este y una época de lluvia que se prolonga desde el mes de abril hasta noviembre.

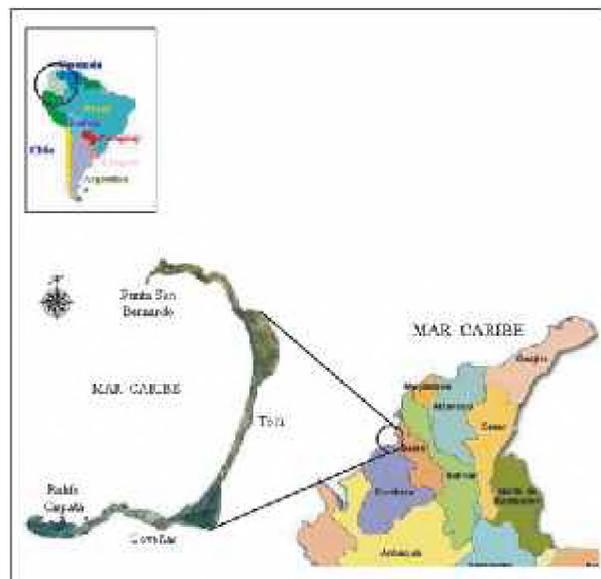
El Golfo de Morrosquillo está protegido de la acción de los vientos y las corrientes marinas fuertes, por la conjunción de dos hechos geográficos. El primero, la cercanía al norte de las Islas de Barú y del Rosario que, aminoran la acción de los alisios de dirección Nor-Este y el segundo, su forma de medio círculo coronado al norte, por el Archipiélago de San Bernardo.

Con respecto al transporte de sedimentos, el golfo presenta dos ejes principales de transporte de arenas. Uno procedente de la punta de San Bernardo, que se dirige hacia la boca del Francés y el otro, parte de la Bahía de Cispatá hacia Tolú. Las arenas procedentes del Norte siguen la punta y la Isla de San Bernardo y luego toman una dirección Oeste - Este, como ocurre frecuentemente, por la presencia de puntas rocosas paralelas al oleaje.

La ciénaga de La Caimanera tiene un papel importante en el movimiento de arenas en el sector la Boca - Tolú. Bajo el efecto de las olas, las arenas transitan de un lado al otro de la boca de la ciénaga, formando una barra que, en las épocas en que el caudal de la ciénaga es reducido, el oleaje cierra la boca al nivel de la playa. Cuando las lluvias hacen subir el nivel del agua, la apertura de la boca da paso hacia el mar, a las arenas amontonadas en la barra, que transitan hacia el Norte hasta Puerto Viejo y por la influencia del oleaje de allí hasta Palo Blanco.

Desde el punto de vista morfológico, el Golfo de Morrosquillo está limitado por las islas de San Bernardo al Norte e Isla Fuerte al Sur, su litoral está delineado por un amplio arco de círculo constituido por una amplia playa continua sobre más de 40 km de longitud, desde Punta San Bernardo hasta Cispatá, antigua desembocadura del Río Sinú.

Según se ha evidenciado del cambio morfológico y debido al cambio en la dinámica fluvial, en 1938 el río inició el cambio de su curso para desembocar directamente al mar; desde entonces el Sinú afecta aún más la morfología litoral especialmente en el sector sur del golfo. En este sentido, el río ha construido en esta zona un gran delta en donde la progradación hacia el Norte, ha hecho avanzar la línea de costa varios kilómetros [4].



**Figura 1.** Localización continental y nacional del área de estudio entre Bahía Cispatá y Punta San Bernardo, Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano.

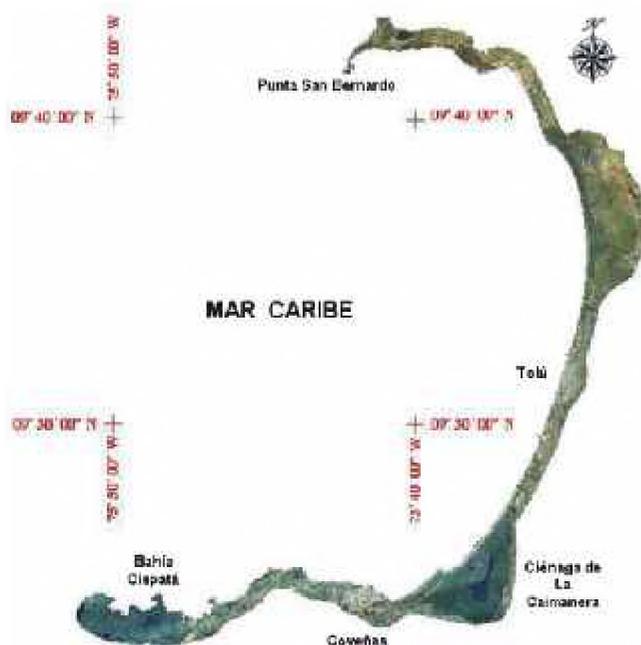


Figura 2. Ortofotomosaico del área de estudio. Coordenadas geográficas referidas al elipsoide WGS84.

## Metodología

### Planteamiento del problema

Como consecuencia de las diversas presiones y crecientes ocupaciones, por parte de los particulares, de los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar principalmente), ubicados sobre los litorales sometidos a la jurisdicción de la DIMAR, se hace necesario determinar técnica y espacialmente, el límite de la jurisdicción de la DIMAR en el sector del Golfo de Morrosquillo, con el objetivo de llevar a cabo su administración y control por parte de la Autoridad Marítima Nacional, en cabeza de la Capitanía de Puerto de Coveñas.

Lo anterior implica la producción de cartografía base digital a una escala adecuada, que permita la representación de los elementos que caracterizan el litoral, para con base en ella, junto con la aplicación del modelo conceptual para la determinación de la jurisdicción, obtener finalmente, la espacialización de su límite en este sector del litoral Caribe colombiano.

### Marco teórico y estado del arte

Esta etapa consistió en investigar y recopilar los enunciados teóricos que pudieran dar una explicación coherente a los hechos observados y solucionar el problema planteado.

### Información espacial de los litorales

Es generalmente reconocido, por una parte, el papel crítico de la información al permitir la responsabilidad y rigurosidad científica de las decisiones [5] y por otra, que la información espacial debe contar con una serie de características para que sea útil y efectiva en las labores de control y administración de los litorales [6]. La primera de ellas es la flexibilidad, es decir que se ajuste a las necesidades precisas de adquisición de datos para todos los usuarios; la segunda corresponde a la confiabilidad, ya que como se trata de información que será utilizada en la toma de decisiones, se requiere que sea confiable y completa; en tercer lugar el carácter holístico; como cuarta, su adecuación al marco legal vigente, ya que los tomadores de decisiones requieren conocer datos e información que se enmarquen dentro de las posibilidades de actuación definidas por los preceptos jurídicos vigentes y finalmente, su utilidad en el manejo y solución de conflictos que se puedan presentar, especialmente entre las actividades socioeconómicas y el medio ambiente, entre las actividades y la sociedad y, entre las actividades y la economía.

Por otra parte, las zonas litorales cambian rápidamente y por ello, su manejo debe ser establecido igualmente de forma rápida. Sin embargo, para que cualquier control y manejo sea efectivo, las políticas necesitan estar basadas en un proceso de toma de decisiones técnicamente soportado, lo que a su vez requiere, acceso rápido y a tiempo a los datos e información requeridos para la toma de la decisión. Es por ello que la llamada información de línea base y su componente de información espacial, hacen parte del proceso de planeación del control y manejo costero [7]. Dado que muchos de estos datos tienen un carácter espacial, la tecnología de sensoramiento remoto es una fuente importante de datos para el manejo de los litorales [8]. Además, los Sistemas de

Información Geográfica (SIG), contribuyen en gran medida al control y administración de los litorales a través de su efectividad en el manejo de grandes bases de datos; el almacenamiento eficiente y facilidades para análisis espacial de la información y; facilidades para modelar, probar y comparar escenarios alternativos de manejo antes que se implemente una estrategia o acción determinada.

Actualmente, con el desarrollo de las técnicas para recolección de datos espaciales y de las tecnologías de sensoramiento remoto y de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la tendencia a nivel mundial se orienta hacia el uso de datos espaciales y del SIG por las organizaciones e investigadores, para el direccionamiento de la planeación y el manejo de los problemas relacionados con las zonas litorales.

El LIDAR (Light Detection And Ranging) o escaneo láser, es un sistema de sensoramiento activo, que permite efectuar mediciones a distancia sobre la superficie terrestre, a partir de un sensor dispuesto en el interior de una aeronave. El sensor obtiene puntos tridimensionales (x, y, z), a partir de los cuales se pueden generar Modelos Digitales de Elevación (DEM). La tecnología se basa en el principio LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que amplifica la luz por simulación de emisión y radiación.

La tecnología de un sistema LIDAR está conformada por los siguientes componentes: aeronave, unidad de GPS, unidad de movimiento inercial y, unidad láser (sensor LIDAR). Mediante la combinación de estos elementos, se obtienen puntos de elevación a través de la emisión de señales de luz que viajan desde la fuente (sensor) hasta los objetos en la superficie terrestre, regresando nuevamente al sensor. El tiempo de regreso queda registrado en el sistema y a partir del sistema GPS y la unidad de movimiento inercial - UMI, se calcula la posición (x, y, z) de cada punto. La unidad de movimiento o de medida inercial (UMI), es un dispositivo que integra giróscopos y acelerómetros junto con un reloj permite la medición de los tres posibles giros de la aeronave durante el vuelo: viraje, cabeceo y balanceo.

Por otra parte, la fotografía aérea digital, empleando cámara métrica digital, ha sido una técnica relativamente reciente, que ha encontrado en la información obtenida con el sensor LIDAR, un buen nivel de complementación, especialmente para la modelación y análisis del terreno. Las fotografías aéreas digitales, entre otras ventajas, presentan la de su estabilidad dimensional, ya que no les afectan las variaciones de temperatura del medio ambiente y no son objeto de una manipulación directa por parte de los usuarios. Sin embargo, la principal ventaja de la fotografía aérea digital es la representación pictórica de grandes extensiones del terreno, lo que facilita en gran medida, las labores de fotointerpretación y análisis del terreno por parte de los técnicos y profesionales de diversas áreas del conocimiento [9].

#### **Modelos conceptuales**

Uno de los más grandes avances del hombre ha sido su habilidad para entender sistemas complejos a partir del reconocimiento de que reglas simples pueden conformar complejidades y que los patrones complejos pueden, a su vez, ser generados a partir de reglas simples [10].

Dentro de esta aproximación, es normal la utilización de modelos conceptuales. Desde el punto de vista teórico, los modelos conceptuales se consideran como herramientas para formular hipótesis y teorías. Son mapas de la realidad, que permiten guiar, por una parte, las investigaciones y, por otra, el conocimiento sistemático. Adicionalmente, revelan interrelaciones entre variables y orientan a los investigadores hacia el establecimiento de preguntas de investigación [11].

#### **Administración y control de los litorales**

Tal como se mencionó anteriormente, el litoral es la zona donde confluyen e interaccionan el medio marino y el medio terrestre, creando una franja de territorio que, en algunos casos, cuenta con pocos kilómetros y con características geomorfológicas y biológicas únicas dentro del planeta.

Las áreas litorales del mundo han sido y están siendo sometidas a serias presiones antropogénicas. Sus características naturales han sido utilizadas y

disfrutadas durante mucho tiempo por el hombre. Esa franja de transición entre la tierra y el mar contiene algunos de los hábitat más productivos y valiosos de la biosfera. Por ello ha sido lugar de alta prioridad e interés para la humanidad, el comercio, actividad militar y múltiples industrias.

Los procesos que se dan en los litorales se caracterizan por una relación compleja y dinámica de procesos naturales, demográficos y económicos relacionados unos con otros, en una red de influencia recíproca. Esos procesos son esencialmente ciclos dinámicos que involucran la explotación de los recursos naturales, la transformación y uso de los recursos por el crecimiento demográfico, la organización social y la producción económica.

En el corto plazo, su ocupación sin planificación y sus patrones de uso, conllevan a procesos de degradación y eventualmente, al agotamiento de sus recursos. Es por esta razón que la administración de los litorales requiere de una aproximación integrada: las decisiones de manejo necesitan basarse en un conocimiento completo del sistema litoral y de las fuerzas dinámicas que operan sobre él. Una lección clave que se ha aprendido de varios proyectos de manejo costero, es que es imposible planearlos e implementarlos sin una aproximación multisectorial [7]. Requiere además, una continua e iterativa aproximación, ya que se trata de ambientes altamente dinámicos. Además requiere de permanentes y exactos monitoreos de las circunstancias de cambio y evaluación constante de la efectividad de los esfuerzos de manejo y acciones tomadas, con el fin de corregir las futuras medidas y políticas.

En relación con las actividades de origen antropogénico, se asume que las actividades humanas ejercen una presión sobre el medio produciendo cambios y la sociedad responde a estos cambios con actuaciones sobre el medio o con respuestas económicas [12].

Por todo lo anterior, se requiere, desde el punto de vista administrativo, el conocimiento del destino o uso actual de estas zonas y la identificación clara de las personas, bien sean de tipo natural o jurídico, que se encuentran ocupando estos espacios.

A lo largo y ancho de los litorales colombianos se encuentran ciertas áreas denominadas como bienes de uso público, cuyo dominio pertenece a la Nación y su uso o aprovechamiento pertenece a todos los habitantes del territorio. De acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, los bienes de uso público que se encuentran bajo responsabilidad de la Dirección General Marítima, son las aguas interiores marítimas, las playas marítimas, las zonas de bajamar, y las aguas y playas fluviales de los ríos bajo su jurisdicción [13].

Para fines de control y administración de los espacios litorales bajo su jurisdicción, la DIMAR utiliza dos figuras: la concesión y el permiso. Una concesión es una autorización que la Nación otorga a un particular (natural o jurídico) para utilizar un bien de uso público por un período de tiempo determinado. El concesionario está obligado a efectuar, entre otras actividades, el mantenimiento y conservación de las playas y terrenos de bajamar y a evitar completamente los cerramientos que impidan la vista de las playas. Por su parte, un permiso es una autorización que la Nación otorga a un particular (natural o jurídico) para utilizar un bien que, sin ser de uso público, forma parte de su jurisdicción. De esta forma, la DIMAR otorga permisos para aquellos proyectos que se encuentren fuera de los bienes de uso público, pero dentro de la franja de los 50 metros de jurisdicción medidos desde la línea que representa la altura de la más alta marea del sector.

A nivel nacional, la Comisión Colombiana del Océano respondiendo a las necesidades del país en materia de políticas y directrices del orden nacional, ha formulado una política integral que comprende los espacios oceánicos y costeros y, establece las líneas de acción en cinco áreas temáticas que agrupan los principales aspectos para el fortalecimiento continuo del tema marítimo en Colombia. Una de estas áreas temáticas es el “Desarrollo territorial” como parte fundamental del progreso y fortalecimiento de la competitividad económica y socio-cultural de un país, siempre teniendo presente los elementos que permitan un adecuado uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.

El área temática de desarrollo territorial, en su numeral 2.3.1 establece el manejo integrado de la zona costera como un proceso de planificación especial dirigido a áreas complejas como es la zona costera, en donde se debe realizar un uso racional de acuerdo con la legislación vigente identificando claramente las playas marítimas, las zonas de bajamar y las áreas marítimas jurisdiccionales como bienes de uso público de carácter nacional y de carácter estratégico para la soberanía del Estado.

Con base en lo anterior, la Política Nacional del Océano y Espacios Costeros - PNOEC determina unas líneas de acción a través de las cuales se identifican las estrategias y planes a desarrollar articuladamente entre las instituciones, un control y desarrollo sostenible de la zona costera y ecosistemas marinos.

En el caso particular de la Dirección General Marítima se establece una línea de acción que indica la realización de una “Plan Director de Costas”, con el apoyo de las instituciones con competencias sobre control y administración de las actividades que se realizan en los litorales y áreas marinas del país. Es aquí precisamente, en donde la información espacial producida por la DIMAR, juega un papel fundamental como insumo para la concepción y elaboración de dicho plan director, al permitir conocer de manera rápida, eficiente y técnicamente sustentada, qué hay actualmente en las áreas bajo su jurisdicción.

### Metodología

La metodología para el empleo de la información espacial en el control y administración de los litorales, comprendió las etapas ilustradas en la figura 3.

El control y administración de los litorales colombianos parte de la base de la interacción de tres grandes procesos que actúan sobre estos espacios: los procesos naturales, procesos sociales y los procesos de tipo económico (figura 4). Como es de esperarse, la interacción de estos procesos está relacionada directamente con los recursos disponibles, los usos del suelo y los problemas de diversa índole que se presentan en los litorales colombianos.

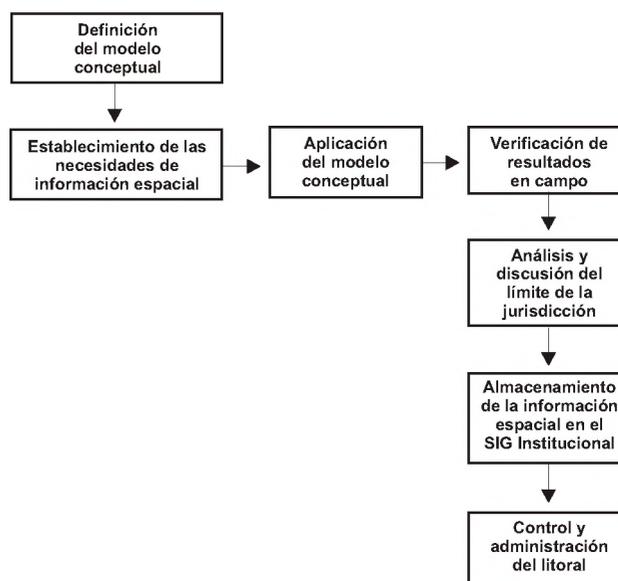


Figura 3. Etapas de trabajo para el empleo de la información espacial en el control y administración de los litorales.

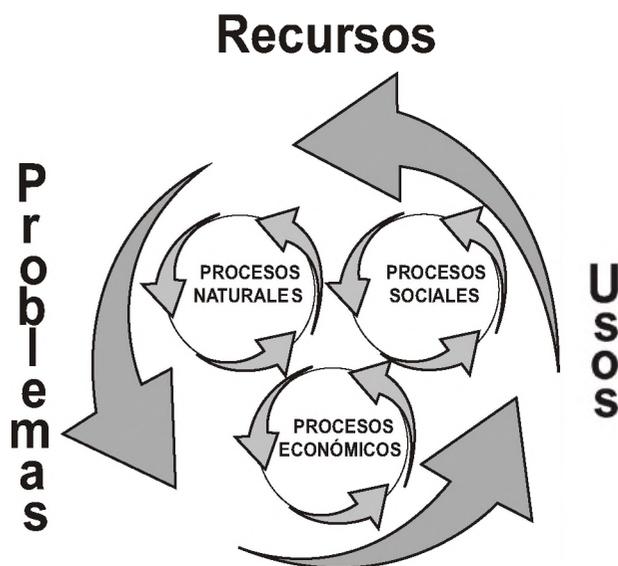


Figura 4. Interacción de procesos en los litorales colombianos.

De conformidad con lo anterior y con el fin de lograr un mejor control de los litorales colombianos, se definió y aplicó un modelo conceptual en el que se detectaron y analizaron los posibles significados y

relaciones entre las variables del modelo, dentro de una aproximación dinámica y sistemática de los ambientes litorales. La definición de este modelo conceptual permitió establecer claramente las necesidades en materia de información espacial para determinar el límite de la jurisdicción de la DIMAR en los litorales colombianos y con base en ello, llevar a cabo un adecuado control y administración de estos espacios.

**Definición del modelo conceptual para la determinación del límite de la jurisdicción de la DIMAR**

Una descripción detallada del modelo conceptual utilizado, de sus características y de sus componentes, se encuentra en [14]. De forma resumida, en el modelo se incluye, para la obtención de la base cartográfica digital, la utilización de un sistema láser aerotransportado conocido con el nombre de LIDAR (Light Detection and Ranging) junto con el empleo de la fotografía aérea digital. De manera complementaria, se utiliza una cámara aérea con la que se obtienen los detalles planimétricos necesarios (fotografías digitales) para completar la información requerida para la determinación de la jurisdicción.

Adicionalmente, también se incluyeron otros componentes de información necesarios para abordar el problema de la determinación del límite de la jurisdicción de la DIMAR, de una manera más integral. Se trata de los componentes de base de datos asociada, cota de inundación, el análisis del impacto de las actuaciones antrópicas sobre el litoral, el establecimiento del límite interno de la playa, el análisis de las determinaciones previas efectuadas para definir el límite de la jurisdicción y finalmente, el análisis de riesgos asociados a las costas, como uno de los elementos condicionantes de las actuaciones administrativas de la DIMAR en lo relacionado con los litorales.

De manera esquemática y resumida, en la figura 5 se ilustran los macro componentes del modelo. Durante la aplicación de la totalidad de estos macrocomponentes, se utilizó información espacial bien fuere ortofotomapas (cartografía base), datos LIDAR filtrados o modelos digitales del terreno.



**Figura 5.** Macrocomponentes del modelo conceptual para el establecimiento del límite de la jurisdicción de la DIMAR en los litorales colombianos.

**Necesidades de información espacial para el control y administración de los litorales**

De acuerdo con las experiencias adquiridas durante los proyectos de establecimiento de la jurisdicción llevados a cabo con anterioridad al año 2005 y a través del análisis del objeto de la DIMAR, sus funciones y su jurisdicción espacial definidas en el Decreto Ley 2324 de 1984; así como también del análisis de los requerimientos específicos de información espacial en materia de trámites sobre los litorales, se establecieron las siguientes necesidades de información espacial y su escala ideal, enfocadas al establecimiento del límite de la jurisdicción y el control y administración de los litorales colombianos:

**Tabla 1.** Información espacial y escalas requeridas para la base cartográfica digital.

Información espacial requerida	Escala ideal
Construcciones en el área de la jurisdicción	1: 1000
Posición de las líneas de más baja y alta marea	1: 1000
Cuerpos y cursos de agua	1:1000
Elementos culturales (vías de comunicación, infraestructura comunal, etc.).	1:1000
Línea de costa	1:1000
Áreas de vegetación costera	1:1000 1:10000
Alturas o cotas en el área de la jurisdicción	-----

Una vez establecidas las necesidades de información espacial, se evaluaron 17 alternativas tecnológicas

existentes en el mercado (LIDAR, CASI, LANDSAT, SPOT, Radarsat, IRS, IKONOS, QuicBird, ASTER, cámara NIKON, fotografía aérea métrica digital, levantamiento topográfico, ERS, MOMS, CBERS, MODIS y MOS), obteniéndose que las opciones que cumplían en su totalidad con los criterios de selección establecidos (escala, exactitud planimétrica de  $\pm 2$  mm a la escala de publicación y exactitud altimétrica de  $\pm 30$  cm) fueron las opciones LIDAR, fotografía aérea métrica digital y los levantamientos topográficos.

La opción de levantamientos topográficos fue descartada debido a su alto costo, gran cantidad de recursos técnicos y humanos, así como el excesivo tiempo requerido. Al efectuar una revisión del estado del arte de las tecnologías LIDAR y fotografía aérea digital, se encontró que lo más recomendable era su uso complementario, con el fin de aprovechar sus respectivas ventajas. Como resultado de ello, se optó por acoplar dentro de una aeronave, un sensor LIDAR y una cámara aérea digital para la adquisición, al mismo tiempo, de datos LIDAR y fotografías aéreas digitales (figura 6).

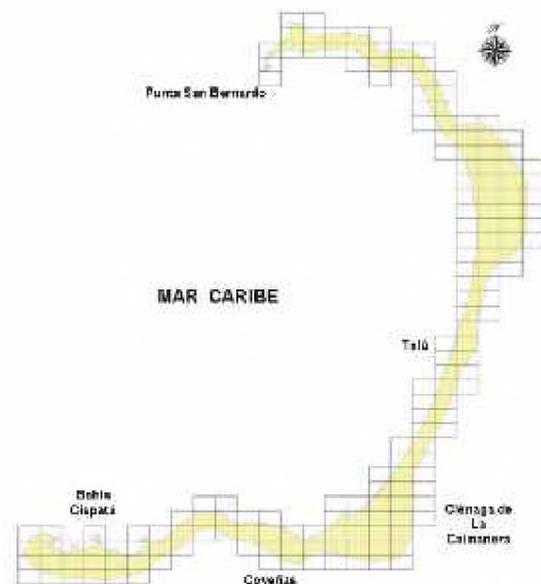
Realizado el diseño del vuelo fotogramétrico (figura 7), se tomaron simultáneamente los datos (fotografías aéreas digitales y datos del sensor LIDAR) respectivos, resultando en una distribución de ortofotografías y datos LIDAR mostrados en la figura 8. En las figuras 9 y 10 se ilustran respectivamente ejemplos de nube de puntos capturados por el sensor LIDAR y parte de una ortofotografía del área de trabajo.



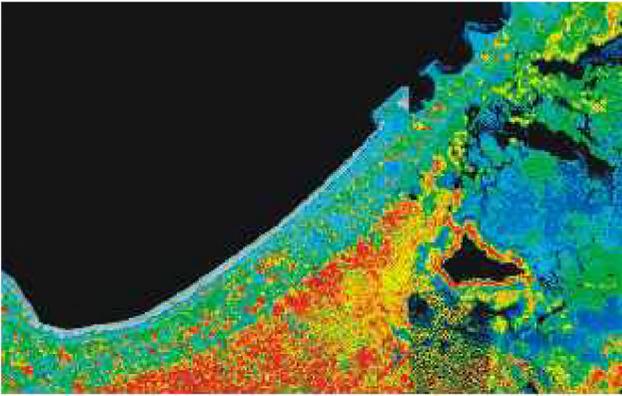
**Figura 6.** Cámara digital y sensor LIDAR ALS40 adaptados para toma de información simultánea en una aeronave.



**Figura 7.** Líneas de vuelo (en color verde) y límite aproximado de la zona de trabajo (línea roja) en el Golfo de Morrosquillo.



**Figura 8.** Distribución de ortofotografías y datos LIDAR en el sector del Golfo de Morrosquillo. Cada rectángulo corresponde a una ortofotografía a escala 1:2000 para un total de 171 planchas.



**Figura 9.** Nube de puntos (correspondientes al suelo) capturados por el sensor LIDAR en un sector del Golfo de Morrosquillo.

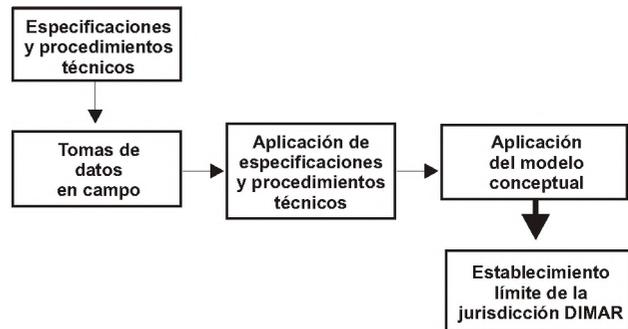


**Figura 10.** Fragmento de una ortofotografía del área de estudio en inmediaciones de la población de Tolú. Nótese la alta resolución espacial que permite identificar claramente cada una de las construcciones presentes en el litoral.

### Aplicación del modelo conceptual

La figura 11 muestra la secuencia de etapas requeridas para la aplicación del modelo conceptual. En primer lugar, se efectuó la aplicación de las especificaciones y procedimientos técnicos definidos para cada uno de los componentes del modelo. Dichas especificaciones y procedimientos contienen los lineamientos y metodologías que permiten obtener cada uno de los insumos requeridos por el modelo conceptual para el establecimiento técnico del límite de la jurisdicción de

la DIMAR con base en la utilización de información espacial de ortofotografías digitales y datos LIDAR correspondientes a las características del terreno (suelo desnudo).



**Figura 11.** Etapas para la aplicación del modelo conceptual.

La utilización de la información espacial requirió el alistamiento de los sensores, el diseño geométrico del vuelo y la toma de datos como tal. De esta forma, con el fin de garantizar el óptimo funcionamiento de los sensores LIDAR Leica ALS40 y la cámara digital DACS (Digital Airborne Camera System) con matriz de 4080 x 4080 y distancia focal de 55.127 mm, éstos fueron sometidos a los procedimientos de calibración pre-vuelo requeridos. Una vez realizados estos procedimientos de calibración, se efectuó el diseño geométrico del vuelo sobre el área de estudio, con el fin de garantizar los requerimientos de cubrimiento de la zona y escala de las fotografías, de tal forma que la escala de publicación de las fotografías fuera de 1:2000.

Posteriormente, con base en el diseño geométrico del vuelo, se efectuó, en forma simultánea, la toma de fotografías aéreas digitales y las mediciones con el sensor LIDAR sobre el área de estudio, referenciadas al sistema MAGNASIRGAS con origen Bogotá-Magna (04° 35' 46.3215" N; 74° 04' 39.0285" W).

En relación con el procesamiento de la información adquirida con el sensor LIDAR y la generación de ortofotografías digitales, una vez tomadas las fotografías aéreas y efectuadas las mediciones con el sensor ALS40, se procedió a efectuar el tratamiento digital de la información LIDAR a través de la utilización del software MARS ® para el filtrado y

clasificación de los datos en tres categorías: terreno (suelo desnudo), construcciones y vegetación.

Por su parte, las aerofotografías fueron sometidas a un proceso de ortorectificación digital, con el fin de obtener una base confiable y libre de deformaciones, que permitiera disponer de una cartografía (ortofotomapas) exacta y actualizada.

Desde el punto de vista de estimación de la exactitud posicional, se aplicó una verificación estadística a las ortofotografías y a los datos LIDAR, basada en la suposición de que los errores posicionales se comportan siguiendo una distribución de probabilidad de tipo normal o campana de Gauss. Aplicada la prueba estadística [3], se obtuvo una probabilidad del 95% de obtener errores iguales o menores en (x, y) de 0.993 m en cualquier punto muestreado sobre la cartografía. En lo que respecta a la información obtenida con el sensor LIDAR, se aplicó un tratamiento estadístico similar al anterior pero sólo a la coordenada (z), obteniéndose una probabilidad del 95% de obtener errores iguales o menores a 0.3 m para cualquier punto muestreado en la nube de datos LIDAR. Los valores de exactitud obtenidos, tanto para la base cartográfica como para los datos LIDAR, se consideraron aceptables para los fines de la presente investigación.

Por otra parte, la toma de datos en campo consistió en la recolección de información relacionada principalmente con las áreas rellenadas por acción antrópica, las áreas afectadas por el Plan de Ordenamiento Territorial, el Plan de Expansión Portuaria y el Plan Sectorial de Turismo; y la toma de muestras del material constitutivo de playas y terrenos aledaños.

Una vez recopilada y analizada la información de campo, se llevó a cabo la aplicación propiamente dicha de las especificaciones y procedimientos técnicos establecidos con base en la información recopilada durante la fase de campo. Conformado cada uno de los bloques temáticos del modelo conceptual, se efectuó la superposición digital de cada uno de sus resultados a través de la utilización del

Sistema de Información Geográfica ArcGis 9.2® y se realizó el trazado preliminar del límite de la jurisdicción de DIMAR en el Golfo de Morrosquillo.

### **Verificación de resultados en campo**

Esta etapa consistió en realizar visitas directamente a los sitios del área de trabajo en los cuales se tenían dudas sobre el trazado del límite de la jurisdicción. En estos sectores se analizaron directamente en el terreno, la extensión de los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar, principalmente) y sus principales características como material constitutivo, presencia de vegetación permanente y conformación geomorfológica del sector. Efectuada esta verificación, se realizaron los ajustes del caso al trazado preliminar con el fin de ser puesto a consideración de la Capitanía de Puerto de Coveñas.

### **Análisis y discusión del límite de la jurisdicción en el área de estudio**

Esta etapa consistió en analizar detenidamente, por parte de personal de la oficina de litorales de la Capitanía de Puerto de Coveñas y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, el trazado preliminar de la jurisdicción de la DIMAR efectuado sobre la base cartográfica digital. Con base en el conocimiento de la zona de trabajo por parte del personal de la capitanía y la experiencia en materia de actuaciones administrativas anteriores, se efectuó la revisión minuciosa de la totalidad del trazado efectuado.

En aquellos sectores del área de trabajo sobre los cuales se presentaron dudas o inquietudes sobre el trazado preliminar, fueron objeto de una nueva verificación en terreno, en la cual, de forma similar a la etapa de verificación de resultados, se analizaron cuidadosamente, la extensión de los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar, principalmente) y su condición actual.

### **Carga de la información al SIG institucional de la DIMAR**

Muchos países alrededor del mundo están desarrollando infraestructuras de datos espaciales

(SDI) como una forma para manejar mejor y utilizar las relaciones espaciales de los datos.

Debido a la necesidad de centralizar la información espacial producida por los Centros de Investigación de la DIMAR, esta última creó el Sistema de Información Geográfica Institucional denominado SIG-DIMAR en el cual reposa toda la información espacial de carácter oficial producida por la entidad. Como era de esperarse, la información del límite de la jurisdicción de la DIMAR en el Golfo de Morrosquillo fue almacenada en la base de datos geográfica (Geodatabase Corporativa), cumpliendo con los requerimientos técnicos de sistema de referencia y consistencia lógica (reglas topológicas) definidos para la correcta disposición final y funcionalidad de la información espacial.

Para ello, se efectuó el acceso desde una estación remota a la Geodatabase Corporativa del SIG-DIMAR utilizando una aplicación de escritorio vía ArcCatalog versión 9.2 ArcEditor con un rol de datos de consulta de edición que habilita los permisos de ingreso, actualización y eliminación sobre los objetos existentes en la Geodatabase Corporativa de la DIMAR (figura 12). La información fue almacenada directamente en el Feature Dataset 2102 (un Feature Dataset es una agrupación de Feature Class que comparten la misma referencia espacial y es utilizado en el modelamiento de las relaciones espaciales entre los Feature Class) y en sus correspondientes Feature Class (un Feature Class es una agrupación de características geográficas con el mismo tipo de geometría, bien sea punto, línea o polígono, los mismos atributos y la misma referencia espacial, lo que permite agrupar características homogéneas en una sola unidad) siguiendo las etapas contempladas en el documento del procedimiento técnico para la carga de la información en el SIG-DIMAR (figuras 13 y 14).



Figura 12. Ventana del árbol de ArcCatalog en el cual se efectuó la conexión con la Geodatabase Corporativa de la DIMAR.

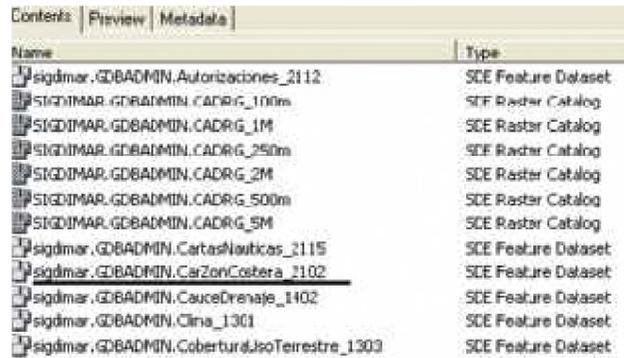


Figura 13. Feature Dataset en el que se almacenó la información espacial correspondiente a los bienes de uso público localizados en los litorales bajo jurisdicción de la DIMAR.

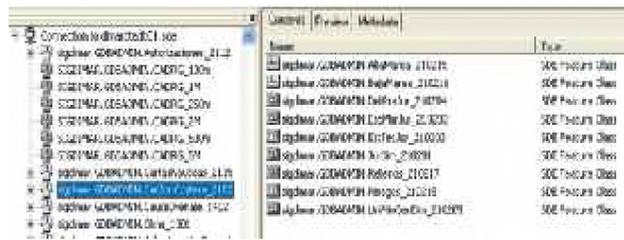


Figura 14. Feature Class presentes en el Feature Dataset de zona costera en la Geodatabase Corporativa de la DIMAR.

Como se puede apreciar en la figura 14, la información espacial requerida para el control y administración de los litorales se organiza y almacena en Feature Class que a su vez, corresponden a los bloques temáticos que componen el modelo conceptual implementado. Cada uno de los objetos almacenados en los diferentes Feature Class tiene asociados unos atributos que los caracterizan y coadyuvan en el control y administración de los litorales.

### Control y administración del litoral del Golfo de Morrosquillo

El control y administración del litoral del Golfo de Morrosquillo se lleva a cabo en primer lugar, por la Capitanía de Puerto de Coveñas. Para ello, la oficina de litorales de la capitanía dispone de un acceso a la Geodatabase Corporativa del SIG-DIMAR, a través

del cual es posible la consulta y despliegue de la información espacial relacionada con el trazado de la jurisdicción en el golfo.

De esta manera, la oficina de litorales de la capitanía de puerto ha podido consultar, de manera eficiente, la información correspondiente a la localización espacial y límites de los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar principalmente) sometidos a la jurisdicción de la DIMAR en el golfo, franja de 50 metros de jurisdicción, áreas afectadas por rellenos de origen antrópico, pronunciamientos previos de la DIMAR en materia de jurisdicción en esta área, localización espacial de la altura de la línea de más alta marea y la base de datos resultante del censo efectuado a las construcciones (denominadas UMCDs o Unidades Mínimas de Censo DIMAR) como información adicional y complementaria.

La disponibilidad de esta información constituye, para la Capitanía de Puerto de Coveñas, un soporte técnico de gran efectividad en el proceso de toma de decisiones sobre el control y administración de esta parte del litoral Caribe colombiano. De esta forma, las decisiones que se adopten como Autoridad Marítima Nacional a través de las figuras administrativas actualmente disponibles, cuentan con un soporte técnico en esta información espacial, evitando de esta forma y sesgos en las decisiones tomadas y aportando transparencia al proceso de toma de decisiones.

De acuerdo con lo anterior, las soluciones de los trámites de concesiones, permisos y demás figuras administrativas, en el área del Golfo de Morrosquillo, se efectúa tomando como base el límite de la jurisdicción y la localización espacial de los bienes de uso público que se encuentran dispuestos en la base de datos del SIG Institucional de la DIMAR.

## ***Resultados y discusión***

Como resultado de la investigación, se obtuvo la base cartográfica digital del área de estudio, compuesta por 171 ortofotomapas a escala 1:2000 (figura 15); una base de datos asociada a la cartografía, resultante de un censo de las áreas litorales bajo jurisdicción; la

interpolación desde el Modelo Digital del Terreno-DTM generado con base en datos LIDAR, del valor de la altura elipsoidal de la línea de más alta marea en la zona de estudio; la posición espacial del límite interno de las playas; localización y cuantificación de las áreas erosionadas y con acreción producidas por la construcción de espolones; espacialización y cuantificación de las áreas sometidas a rellenos antrópicos; localización y cuantificación de las planicies de inundación por un eventual ascenso del nivel medio del mar (figura 16); trazado del límite preliminar de la jurisdicción de la DIMAR (figura 17) y la estructuración y almacenamiento de la información espacial y alfanumérica en la Geodatabase Corporativa de la Autoridad Marítima Nacional. En relación con los bienes de uso público, la investigación logró establecer que en el Golfo de Morrosquillo, se encuentran 132.8 ha de playas; 4260 ha de terrenos de bajamar y 519.4 ha de franja de 50 metros de jurisdicción.

Tal como se mencionó anteriormente, el litoral es un espacio dinámico y complejo y por ello mismo, deber ser bien entendido con el fin de efectuar un efectivo control y administración. Con la combinación de información espacial, las funciones analíticas y de modelamiento de los SIGs, se puede responder rápida y flexiblemente a preguntas relacionadas con los litorales.

Sin embargo, la falta de información puede ser un factor que contribuye a las fallas de las políticas. Frecuentemente, en los países en desarrollo, hace falta información, especialmente en aquellas áreas en donde se presentan los recursos renovables tal como es el caso del litoral. De esta forma, el SIG y la información espacial deben ser vistos como una oportunidad para el avance en el campo del manejo de los recursos litorales. En este sentido, la tecnología SIG ha demostrado ventajas sin precedentes en el manejo litoral [15].

Las experiencias anteriores y actuales en el control y administración de los espacios litorales colombianos, han evidenciado, en primer lugar, la necesidad del soporte científico para la selección y adopción de las medidas de control y manejo de estos espacios; en segundo lugar, que las necesidades de información

espacial del litoral a nivel nacional, muestran a su vez, que dichos requerimientos son específicos para cada área geográfica en el planeta, debido a las diferencias que existen en los problemas de control y administración en cada país o región del planeta.

Por otra parte, la determinación de las necesidades de información espacial para el establecimiento del límite de la jurisdicción de la DIMAR, permitió también concluir que existen dos factores claves relacionados con la efectividad de la fotografía aérea digital en las labores de control y administración de los litorales colombianos. El primero de ellos es la resolución espacial que dadas las condiciones actuales de ocupación de los litorales colombianos, debe ser alta (del orden de 25 cm aproximadamente) con el fin de permitir la clara identificación de las construcciones y pequeños elementos que se encuentran localizados sobre los litorales.

El segundo factor corresponde a la exactitud posicional de las ortofotografías utilizadas. La exactitud debe permitir una representación de los elementos localizados sobre el litoral, tal que el nivel de error no sea mayor a 0.5 mm de la escala de publicación (es decir,  $\pm 1.0$  m), con lo que se garantiza una representación con nivel de exactitud adecuado para las labores de control y administración de las áreas litorales.

En relación con la efectividad de la utilización de datos LIDAR, específicamente en la elaboración de Modelos Digitales del Terreno DTMs, existen dos factores claves. El primero de ellos corresponde también a la exactitud posicional en la coordenada Z (alturas elipsoidales), la cual se requiere, en el caso de los litorales colombianos, del orden de  $\pm 30$  cm, lo que ha permitido representar las alturas del terreno con un buen grado de exactitud en comparación con otras fuentes de información. Un segundo factor clave es la densidad de puntos emitidos por el sensor, que alcanzan la superficie del suelo. Dicha densidad debe ser tal que permita efectuar interpolaciones de alturas del orden de unos pocos centímetros, para lo cual en el caso del área de estudio, esta densidad se encuentra en  $\pm 25$  puntos/m<sup>2</sup>.

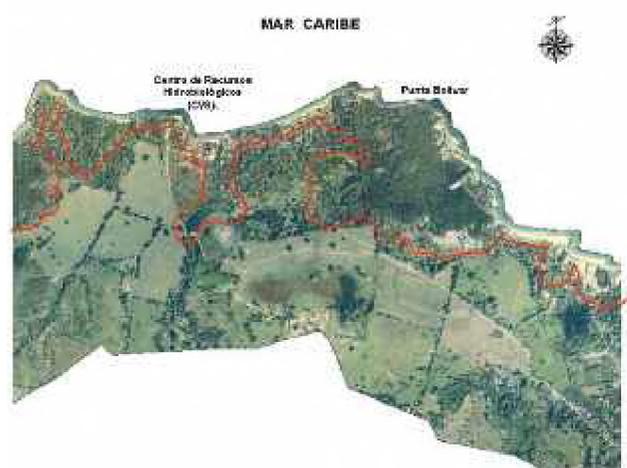
Una aplicación similar de información espacial para el manejo costero y la toma de decisiones, fue implementada exitosamente durante los inicios de los

años 2000, en sectores específicos de la Bahía de Tampa por parte del laboratorio de mapeo y SIG de la Universidad de Ohio en los Estados Unidos [16]. De forma similar a la presente investigación, se empleó información espacial procedente de varias fuentes entre las que se encuentran datos instrumentales de niveles del agua, datos batimétricos, modelos digitales de elevación, fotografías aéreas y datos tomados con tecnología GPS. Otra aplicación similar basada en información espacial litoral (ortofotografías y mapas topográficos, principalmente), fue desarrollada por la Oficina de Infraestructura de Datos Espaciales de Catalonia en España con el fin de proporcionar a los diversos usuarios de la información, acceso a ella para la evaluación e implementación de políticas y medidas de manejo, especialmente enfocadas hacia la mitigación de la erosión [17].

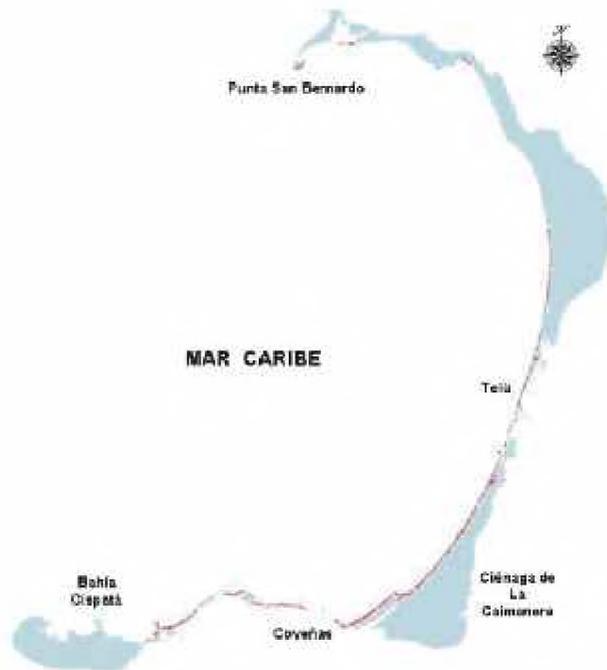
En Suráfrica también se desarrolló una aplicación similar a la presente investigación, consistente en la conformación de una base de datos de casetas ubicadas sobre las playas, con información acerca del propietario, vecinos y detalles de éstas permitiendo localizarlas espacialmente [5]. Por su parte, el desarrollo de la presente investigación, además de confirmar la utilidad de la información espacial principalmente fotografías aéreas y datos del sensor LIDAR, hizo evidente también la necesidad de efectuar implementación un entrenamiento en los temas de toma de datos espaciales y en el manejo y diseminación de éstos (entrenamientos en procesamiento de datos LIDAR, entrenamiento en rectificación y manejo de fotografías aéreas digitales y capacitación en el diseño e implementación de un SIG institucional, entre otros temas). Esto a su vez condujo al planteamiento de un reto institucional para la Autoridad Marítima Nacional consistente en el desarrollo de una estrategia efectiva de información y de su diseminación accesible para la toma de decisiones relacionadas con el control y administración de los litorales colombianos, la cual ha conducido hacia la consolidación del SIG Institucional de la DIMAR, el cual además de contener la información espacial base y temática para la administración de los litorales, centraliza y hace más accesible, confiable y segura, la información espacial relacionada con las demás actividades que desarrolla la DIMAR a nivel nacional.



**Figura 15.** Fragmento de un ortofotomapa a escala 1:2000 en el sector de la Boca de la Ciénaga, en inmediaciones de la población de Coveñas, Golfo de Morrosquillo.



**Figura 17.** Ejemplo del trazado preliminar del límite de la jurisdicción (línea en color rojo) en cercanías a la población de Coveñas, Golfo de Morrosquillo. De esta manera, la zona más próxima al Mar Caribe estará sometida a la jurisdicción de la DIMAR; mientras que la zona después de la línea roja hacia el continente, estará por fuera de dicha jurisdicción.



**Figura 16.** Planicie de inundación (zona en color azul) ante un eventual ascenso del nivel medio del mar de 30 cm para el litoral del área de estudio. En color rojo las construcciones que se verían afectadas por la inundación.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Señor Capitán de Fragata Marco Antonio Olier, Capitán de Puerto de Coveñas, al Suboficial Segundo Jairo Paternina y a los señores Gildardo Velásquez, William Monroy y Luis Pérez de la Oficina de Litorales de la Capitanía de Puerto de Coveñas, por su invaluable y decidido apoyo para el desarrollo de la presente investigación.

## Referencias bibliográficas

- [1] Strain L, Rajabifard A, Williamson I. Spatial Data Infrastructure to Facilitate Coastal Zone Management. Centre for Spatial Data Infrastructures and Land Administration. Department of Geomatics, The University of Melbourne, Australia; 2004.
- [2] Gillespie R, Butler M, Anderson N, Lucera H, LeBlanc C. MGDI: An Information Infrastructure to Support Integrated Coastal Management in Canada. GeoCoast. 2000; 1:15-24.
- [3] Afanador F, Camacho H. Establecimiento de la aptitud de uso como característica de calidad de la cartografía digital costera generada por el CCCP. Boletín Científico CCCP. 2004; 11: 50-64.

- [4] Burel T. Caracterisation de Modalites d'Evolution Recente de la Marge Continentale Nord-Colombienne [PhD Thesis]. Bordeaux: Université de Bordeaux; 1982.
- [5] Knight R, Cooks M. Web-based spatial information system for coastal management and governance in South Africa. Biodiversity and Conservation Biology Department. University of the Western Cape. Bellville. 2002.
- [6] THE CENTRE FOR ENVIRONMENT, FISHERIES AND AQUACULTURE SCIENCE. Integrated Mapping of the UK Marine and Coastal Zone The Way Forward. Report of a MAFF-sponsored workshop held at CEFAS Lowestoft Laboratory on 17-18 June 1999; 1999.
- [7] DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND NATIONAL RESOURCES, BUREAU OF FISHERIES AND AQUATIC RESOURCES AND DEPARTMENT OF THE INTERIOR AND LOCAL GOVERNMENT. Philippine Coastal Management Guidebook Series No. 1: Coastal Management Orientation and Overview. Philippines. 2001.
- [8] King, S. Remote Sensing as an Information Source for Better Coastal Zone Management. Centre for Marine and Coastal Zone Management (CMCZM), University of Aberdeen, Elphinstone Road, Aberdeen, Scotland. 2004.
- [9] Afanador F, Torres R, Gómez J, Gutiérrez J. LIDAR y fotografía aérea digital en la determinación del impacto del aumento en el nivel medio del mar en el sector de "La Boquilla", Cartagena de Indias; Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH. 2006; 24: 94-106.
- [10] Sperb R, Pacheco R, Khator R. Legal and socio-economic dynamics in coastal zone management: Agent-based Modeling of Spatial Processes. CoastGIS- International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management; 2006.
- [11] Järvelin K, Wilson T. On conceptual models for information seeking and retrieval research. Information research. An international electronic journal. 2003; 9(1).
- [12] Valdemoro H. La influencia de la morfodinámica en los usos y recursos costeros [MsC Thesis]. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña; 2005.
- [13] CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto Ley 2324 de 1984.
- [14] Afanador F, Castro I. Modelo conceptual para el control y administración de los litorales colombianos. Boletín Científico CIOH. 2006; 24: 73-93.
- [15] Li R, Niu X, Ali T, Ma R, Elaksher A. Development of a Web-based, mobile, spatial system for coastal management and decision making. Department of Civil & Environmental Engineering and Geodetic Science. The Ohio State University. Columbus. 2003.
- [16] Li R. Integration of multi-source spatial information for coastal management and decision making. Mapping and GIS Laboratory. The Ohio State University. Columbus. 2004.
- [17] Guimet J. Coastal management in Catalonia. Case study. Spatial Data Infrastructure of Catalonia. Catalonia, España. 2005.