



ARTÍCULO

Ortofotografía digital y datos LIDAR para el control y administración del litoral en la isla de Tierra Bomba, Caribe colombiano

Digital orthophotography and LIDAR data to control and management of Tierra Bomba island littoral, Colombian Caribbean

Fecha recepción: 2008-09-02 / Fecha aceptación: 2008-9-26

Fernando Afanador Franco, Fernando.Afanador@cioh.org.co
Juan Carlos Gómez Mojica, j.mojica@cioh.org.co
Fernando Orozco Quintero, forozco84@gmail.com
Andrés Felipe Carvajal Díaz, andresfcarva@hotmail.com
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas - CIOH,
Isla Manzanillo, Cartagena de Indias, D.T. y C.

Resumen

Como resultado de la presión antrópica sobre los litorales colombianos, principalmente sobre las playas y los terrenos de bajamar (aquellos comprendidos entre la más alta y la más baja marea), la Autoridad Marítima Nacional, representada por la Dirección General Marítima, ha definido y adoptado, un modelo conceptual basado, entre otros componentes, en la utilización de ortofotografías digitales y datos del sensor LIDAR (*Light Detection And Ranging*) para la producción de una base cartográfica digital sobre la cual se establezca técnicamente el límite de la jurisdicción de la Autoridad Marítima Nacional y se puedan llevar a cabo las labores de administración y control del litoral en la isla de Tierra Bomba.

La utilización de las dos técnicas de sensoramiento remoto (fotografía aérea y sensor aerotransportado LIDAR) en la isla de Tierra Bomba, comprendió las etapas de aplicación del modelo conceptual, la verificación de sus resultados en terreno, el análisis y discusión del límite preliminar de la jurisdicción de la DIMAR, el almacenamiento de la información espacial de jurisdicción en el SIG Institucional de la DIMAR y finalmente, el desarrollo del control y administración del litoral por parte de la Autoridad Marítima Nacional.

Los resultados obtenidos incluyeron, en primer lugar, la base cartográfica digital del área de estudio, compuesta por 28 ortofotomapas a escala 1:2000; 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 identificación de 39 espolones alrededor de la isla; se reporta la presencia de 29 especies de vegetación costera pertenecientes a 18 familias distribuidas en 9 transectos; la posición espacial del límite interno de las playas; identificación y espacialización de 68 áreas sometidas a rellenos antrópicos (abarcando un área total de 23.23 ha) principalmente en los centros poblados de Caño del Oro y Bocachica; localización y cuantificación de las planicies de inundación por un eventual ascenso del nivel medio del mar (35.7 ha para un eventual ascenso de 30 cm y 331.1 ha para un ascenso de 100 cm); 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 DIMAR.

En relación con los bienes de uso público, se estableció que 10.27 ha corresponden a playas; 273,74 ha a terrenos de bajamar y 228.66 ha a la franja de jurisdicción de cincuenta metros, para un total de bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR de 284.02 ha.

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

Abstract

As a result of the anthropic pressure on the colombian littorals, mainly on the beaches and the intertidal zones (those understood between the highest and the lowest tide line), the National Maritime Authority, has defined and adopted, a conceptual model based, among other components, in the use of digital orthophotography and data of the LIDAR sensor (Light Detection And Ranging) for the production of a digital cartographic base on which settles down technically the limit of the jurisdiction of the National Maritime Authority to control and management the littoral on Tierra Bomba island.

The use of the two techniques of remote sensing (digital aerial photography and airborne LIDAR sensor) in Tierra Bomba island, understood the application of the conceptual model, the verification of their results in terrain, the analysis and discussion of the preliminary limit of DIMARS's jurisdiction, the storage of the spatial information of jurisdiction in the Institutional Geographic Information System of DIMAR and finally, the development of the control and management of the littoral by the National Maritime Authority.

The obtained results included, in the first place, the digital cartographic base of the study area, composed by 28 orthophotomaps to scale 1:2000; the interpolation from the Digital Terrain Model - DTM generated from LIDAR data, of the ellipsoidal height of the highest tide line in the study area; the identification of 39 groins around the island; the identification of 29 species of coastal vegetation belonging to 18 families reported in 9 transects; the spatial position of the internal beach limit; the identification of 68 areas subjected to anthropic landfill (embracing a total area of 23.23 hectares) mainly in the populated centers of Caño del Oro and

Bocachica; localization and quantification of the flood plains due to an eventual sea level rise (35.7 hectares for an eventual rise of 30 cm and 331.1 hectares for a rise of 100 cm); outlined of the preliminary limit of the DIMAR's jurisdiction and the structuring and storage of the spatial and alphanumeric information in the Corporative Geodatabase of the National Maritime Authority.

Concerning to public's use goods under jurisdiction, was established that 10.27 hectares correspond to beaches; 273.74 hectares to intertidal zones and 228.66 hectares to fifty meters fringe of jurisdiction, for a total of public's use goods under jurisdiction of 284.02 hectares.

Key words: Littoral, control and management, DIMAR's jurisdiction, Colombian Caribbean.

Introducción

Los litorales son áreas complejas de controlar y administrar debido a problemas espaciales y a la combinación de aspectos físicos, jurisdiccionales, legales y a las necesidades de los diferentes actores presentes en ella [1]. Se trata de 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 [2].

No obstante lo anterior, por lo general se presenta una falta de entendimiento y conocimiento adecuado de los sistemas litorales. 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 entendibles y fácilmente accesibles [3].

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 el control y administración.

Área de estudio

La isla de Tierra Bomba, perteneciente al departamento de Bolívar, en el Caribe colombiano (figuras 1 y 2), con un área de 1984.99 ha, y una extensión en su línea de costa de 43.695 km está ubicada entre las coordenadas 10°19' y 10°23' latitud Norte y entre los 75°32' y 75°36' longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

La isla, dada su situación geográfica central en el litoral Caribe colombiano, se encuentra influenciada por cuatro fenómenos meteorológicos principales, a saber: la zona de convergencia intertropical, los vientos Alisios, el paso de las ondas del este y frentes fríos provenientes del hemisferio norte. De acuerdo con la interacción de estos fenómenos, el clima en general de la isla se puede clasificar como tropical semiárido. A todo lo anterior se suma un sistema de corrientes muy particular, que se mueve a una velocidad promedio de 6.29 cm por segundo y que aumenta a 8.51 a final de año. La temperatura máxima es de 31.9 °C en el mes de agosto y 22.5 °C para el mes de enero. El promedio la temperatura mensual es de 27.2 °C, y precipitaciones de 976.4 mm anuales, siendo los meses de máximas lluvias de mayo a octubre y los de menos lluvias de noviembre hasta abril, presión atmosférica media mensual de 755.1 cm y brillo solar (horas-minutos) de 296.55 [4].

La isla se encuentra constituida por cuatro centros poblados; Tierra Bomba, Punta Arena, Caño del Oro y Bocachica, con presencia de una vasta zona de pantanos y lagunas costeras entre el centro poblado de Bocachica, Caño del Oro y Punta Arena. Además existen algunas zonas de vocación turística y presencia de playas en el sector de Bocachica y Punta Arenas, la cual es la principal fuente de ingreso de sus pobladores.

Las geoformas predominantes corresponden a una terraza coralina hacia la parte de Bocachica, lomas y colinas en la parte central de la isla, terraza marina alta en la parte norteoccidental y terraza marina baja y algunas lagunas costeras en el sector oriental de la isla, mientras que hacia la parte norte de la isla existe una

extensa zona conformada por una plataforma de abrasión elevada, formadas por la acción abrasiva del mar en el pasado; que no permite la acumulación de sedimento.

Con respecto a la flora existente en la isla se observa una vegetación de tipo bosque seco tropical de crecimiento secundario, una vegetación de tipo bosque de manglar y áreas de matorral. La flora existente se caracteriza por presentar vegetación caducifolia dependiente de las lluvias. En general, se define como vegetación pluriestratificada con dosel cerrado relacionada directamente con el suministro del agua en el suelo [5].



Figura 1. Localización continental y nacional de la isla de Tierra Bomba, departamento Bolívar, Caribe colombiano.

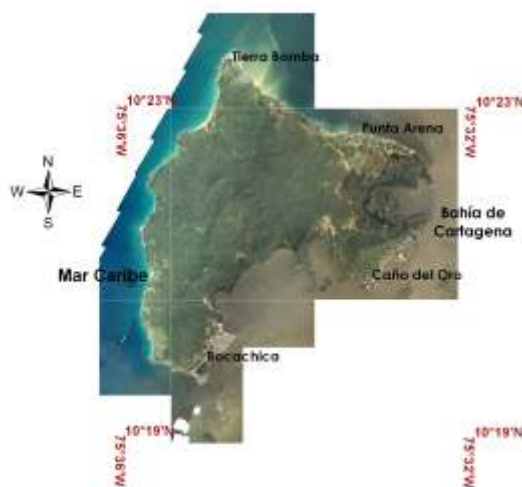


Figura 2. Ortofotomosaico del área de estudio. Coordenadas geográficas referidas al elipsoide WGS84.

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 la isla de Tierra Bomba, con el fin de llevar a cabo su administración y control por parte de la Autoridad Marítima Nacional.

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

Marco teórico y estado del arte

Esta etapa consistió en investigar y recopilar los enunciados teóricos que permitieran conformar 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 [6] 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 [7]. 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 sean efectivos, 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 [8]. 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 [9]. 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 utilización de un sensor LIDAR requiere de los siguientes elementos: 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, es un dispositivo que integra giróscopos y acelerómetros junto con un reloj para 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 una cámara 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. De esta forma, 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 [10].

• 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 [11].

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 [12].

• Administración y control de los litorales

Tal como se mencionó anteriormente, el litoral es la zona compleja donde confluyen e interactúan 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 hábitats 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 [8]. 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 [13].

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 [14].

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 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 línea de 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. De esta manera, 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.

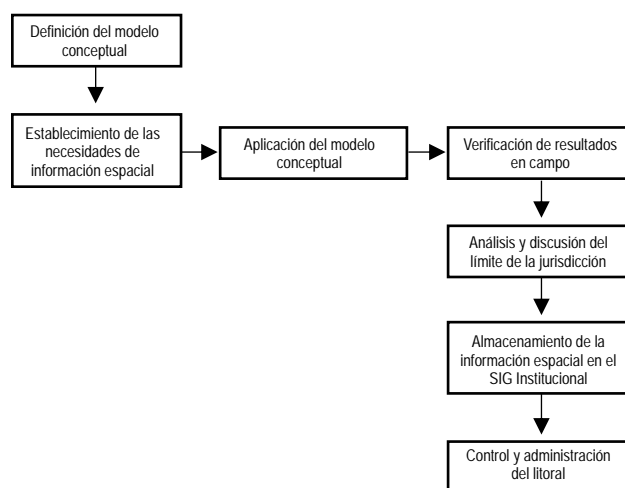


Figura 3. Etapas de trabajo para el empleo de la información espacial en el control y administración de los litorales.

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.

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 establecer 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 [15]. 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 que permite obtener los detalles planimétricos necesarios (fotografías digitales) para completar la información requerida en 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.

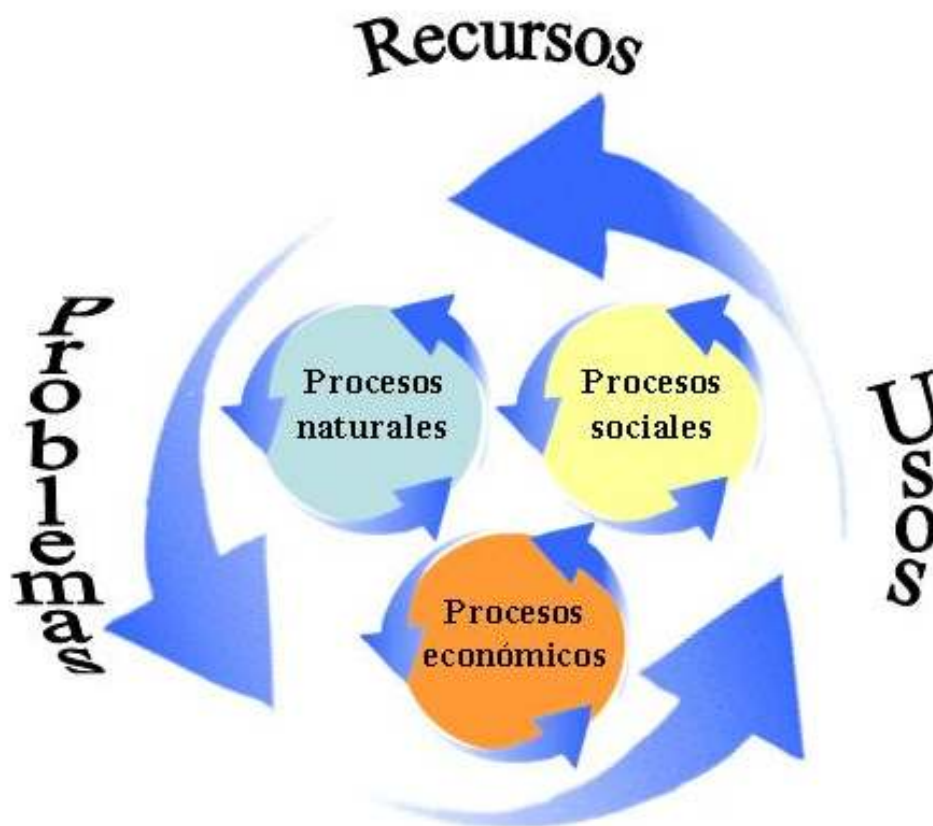


Figura 4. Interacción de procesos en los litorales colombianos.

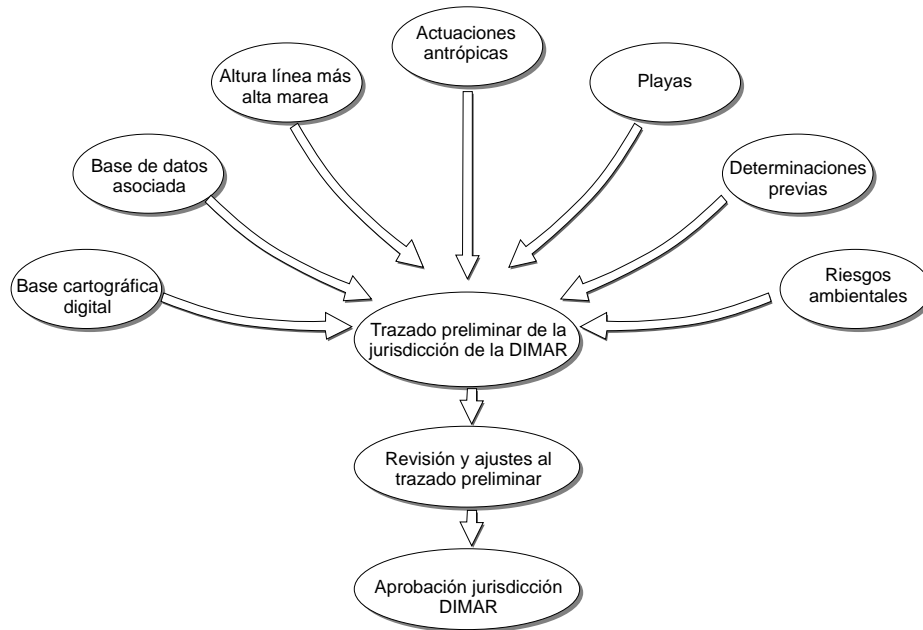


Figura 5. Macrocomponentes del modelo conceptual para el establecimiento del límite de la jurisdicción de la DIMAR en los litorales colombianos.

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 como necesidades de información espacial, enfocadas al establecimiento del límite de la jurisdicción y el control y administración de los litorales colombianos, las construcciones presentes en el litoral, la posición de la línea de más alta marea, los cuerpos y cursos de agua, vías de comunicación, infraestructura comunal, línea de costa, áreas con vegetación costera y las alturas o cotas en el área litoral.

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 ± 2 mm a la escala de publicación, y exactitud altimétrica de ± 30 cm) fueron las opciones LIDAR, fotografía área 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. Sin embargo, 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.

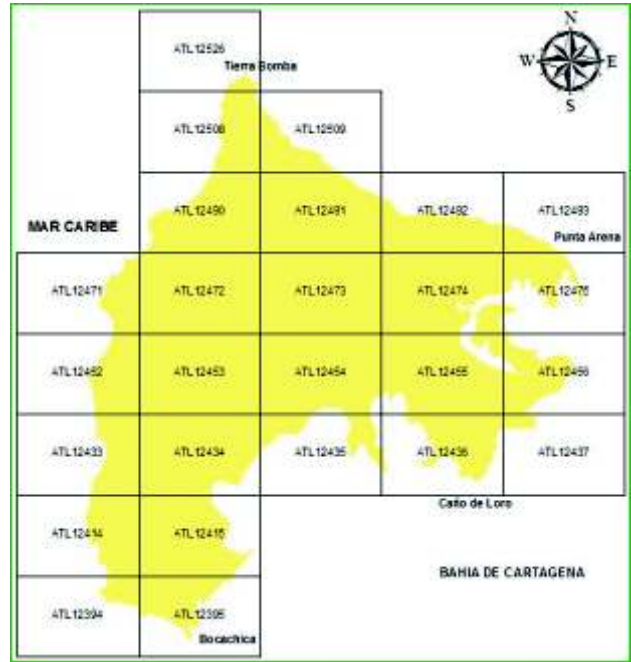


Figura 8. Distribución de ortofotografías y datos LIDAR para la isla de Tierra Bomba. Cada rectángulo corresponde a una ortofotografía a escala 1:2000 para un total de 28 planchas.



Figura 7. Líneas de vuelo (en color verde) en la isla de Tierra Bomba.

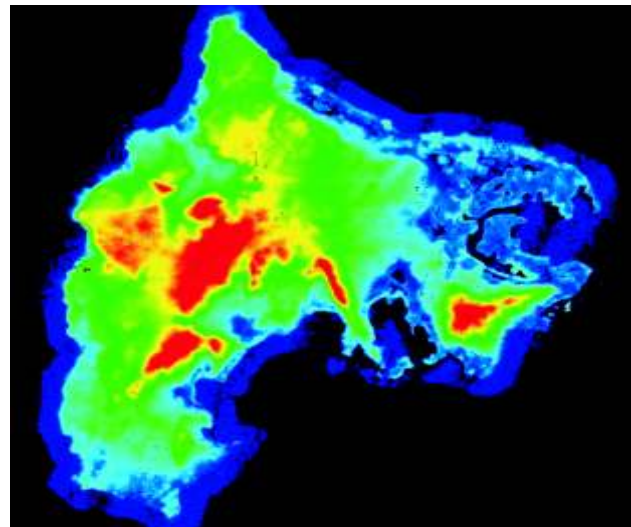


Figura 9. Nube de puntos (correspondientes al suelo) capturados por el sensor LIDAR para la isla de Tierra Bomba.

Aplicación del modelo conceptual

La figura 11 muestra la secuencia de etapas requeridas para la aplicación del modelo conceptual. Una descripción más detallada de esta secuencia se encuentra en [16].



Figura 10. Fragmento de una ortofotografía del área de estudio en inmediaciones del corregimiento de Bocachica. Nótese la alta resolución espacial (25 cm) que permite identificar claramente cada una de las construcciones presentes en el litoral.



Figura 11. Etapas para la aplicación del modelo conceptual.

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 [17], se obtuvo una probabilidad del 95% de obtener errores iguales o menores en (x, y) de 0.787 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 0.260 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 esta investigación.

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. Conformados 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 DIMAR para la isla de Tierra Bomba.

Determinación del límite de la vegetación permanente como criterio de decisión para el establecimiento del límite interno de playa

- **Delimitación del área de estudio y ubicación de perfiles de verificación**

El límite de vegetación permanente se forma debido a la acción del oleaje de temporal al fertilizar los suelos

cercanos a su máximo alcance y dado que los temporales no son fenómenos que ocurran con demasiada frecuencia, algunas especies vegetales, características de la playa, pueden alcanzar un cierto grado de desarrollo. No obstante, el oleaje de temporal tendrá un alcance máximo, es decir, que a partir de ese punto, ya no tendrá efecto en la vegetación que espontáneamente se desarrolle sobre ese sector. Es precisamente allí en donde se forma el límite de lo que se conoce como vegetación permanente (figura 12) [18].

Con la ayuda de un ortofotomosaico del área de estudio, se preestablecieron los sitios para levantar la información de campo; es decir, los sectores en donde se realizarían los perfiles de vegetación, que permitieran establecer las especies de vegetación costera presentes en la isla.

Es de anotar que la ubicación de los perfiles fue lo más representativa posible de las zonas con vegetación no intervenida, áreas con vegetación intervenida y, sectores con diferentes morfologías costeras. De esta manera, se buscó la realización de una caracterización lo más representativa posible del área de estudio.

• Materialización, posicionamiento de las líneas de perfil y puntos de reconocimiento

Luego de haber definido previamente los perfiles y direccionándolos de forma tal que quedaran perpendiculares a la línea de costa, se siguió la metodología propuesta por [19]. Esta técnica facilita la ubicación de los diferentes tipos de vegetación,

asociaciones posibles y/o grupos de vegetación diferenciables.

En cada transecto de 100 m se registraron todas las especies vegetales presentes teniendo en cuenta la sucesión natural estratificada que se encontraba dentro del área de muestreo [20], estimando la altura y registrando todas las características que permitieran reconocerlo posteriormente. Adicionalmente, se demarcaron nuevos puntos sobre la línea del perfil, cada vez que se encontraron cambios en la cobertura vegetal.

Por otra parte, y adicional a lo anterior, se tomaron puntos de reconocimiento de la vegetación en zonas donde, no aplicaba la técnica de muestreo antes mencionada [20], con el fin de describir la flora más sobresaliente.

• Procesamiento de datos y trazado digital del límite de vegetación permanente

Luego de materializar los perfiles, se procedió a crear una matriz con los datos obtenidos en campo ayudados con un software de manejo de datos (Excel). Se obtuvieron datos referentes a ecología básica como alturas, abundancias, frecuencia, dominancia, riqueza.

Para el trazado digital del límite de vegetación permanente se utilizó el software ArcMap el cual permitió trazar dicho límite, representado por una línea de color verde que se plasma sobre las capas

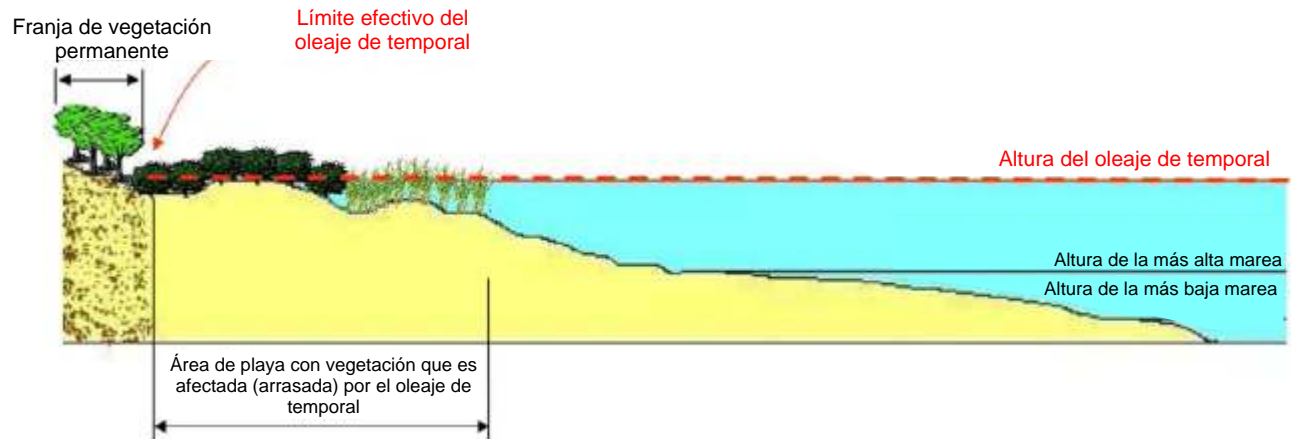


Figura 12. Esquema explicativo de la afectación por parte del oleaje de temporal, sobre la disposición típica de la vegetación sobre una playa cualquiera.

correspondientes a las ortofotografías. Mediante la utilización de la herramienta *Sketch tool* del software antes mencionado, se efectuó el trazado del límite en todo el área de estudio, teniendo en cuenta que éste correspondiera al estrato arbustivo descrito en el numeral 7.2.1.2.1.3.1, del Manual de Procedimientos Técnicos [18].

Caracterización geomorfológica

Para el desarrollo de la caracterización geomorfológica se utilizaron como base cartográfica 28 ortofotomapas georeferenciadas tomadas en el año 2005, a una resolución de 30 cm, se utilizaron datos LIDAR los cuales fueron la base de construcción de los modelos digitales de terreno y se efectuó un análisis de pendientes para la identificación de algunas macrounidades geomorfológicas a partir de la información LIDAR.

Durante la etapa de fotointerpretación se utilizaron adicionalmente fotografías aéreas del IGAC de los años 1954 y 1974 a escalas 1:60000 y 1:30000 respectivamente. La interpretación de las ortofotografías y fotos aéreas del IGAC tuvo como objetivos la elaboración de mapas geomorfológicos de las zonas de estudio e identificar la evolución de la línea de costa en el lapso posible de acuerdo con la información disponible a la fecha.

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 preliminar 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.

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

Esta etapa consistió en analizar detenidamente, por parte del personal de la oficina de litorales de la Capitanía de Puerto de Cartagena 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.

Carga de la información al Sistema de Información Geográfica (SIG) Institucional de la DIMAR

Debido a la necesidad de centralizar la información espacial producida por los Centros de Investigación de la DIMAR, ésta 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 la isla de Tierra Bomba será 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.

Control y administración del litoral para la isla de Tierra Bomba

De esta manera, la oficina de litorales de la Capitanía de Puerto puede 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 la isla, 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 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, la improvisación 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 de la isla de Tierra Bomba, 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 28 ortofotomapas a escala 1:2000 (figura 13); 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 14); determinación del límite de vegetación permanente (figura 15), 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 la isla de Tierra Bomba, se encuentran 10.27 ha de playas; 273.74 ha de terrenos de bajamar y 228.66 ha de franja de 50 m de jurisdicción.

Se identificaron y cartografiaron 8 unidades geomorfológicas: sistemas de lomas y colinas, terrazas coralinas, terrazas marinas altas y bajas, lagunas costeras, espiga, playas y pantanos de manglar. En ellas se detectaron cambios experimentados a través de los años, identificadas en las fotografías aéreas. Se elaboraron 3 modelos digitales de terreno (DTMs), a partir de los cuales se obtuvieron las alturas y pendientes de cada unidad, esto gracias a



Figura 13. Fragmento de un ortofotomapa a escala 1:2000 en el corregimiento de Punta Arena, isla de Tierra Bomba, Departamento Bolívar.

los datos tomados por el sensor LIDAR. Como resultado final se elaboraron 28 mapas geomorfológicos a escala 1:2000 para toda la isla donde se describen las unidades geomorfológicas encontradas en el lugar ver figura 16.

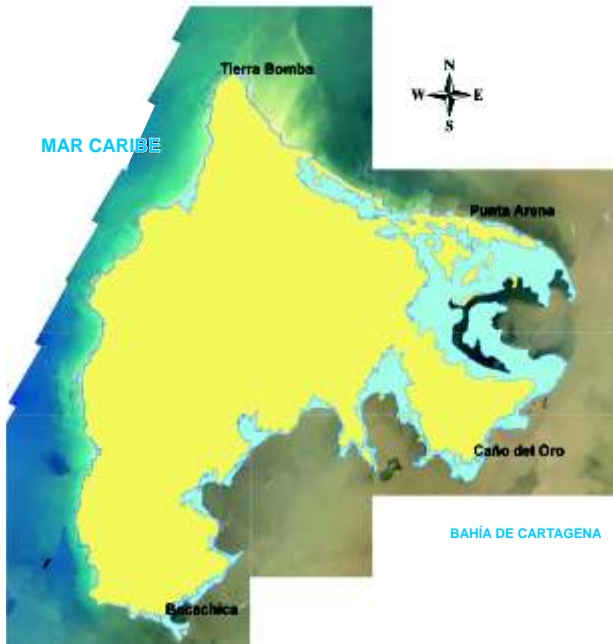


Figura 14. Planicie de inundación (zona en color azul) ante un eventual ascenso del nivel medio del mar de 1 m para el litoral del área de estudio.



Figura 15. a) Perfil de vegetación generado por el software MARS®, b) Ejemplo del trazado de la línea de vegetación permanente (en color verde) en el sector Nor-occidental de la isla Tierra Bomba, c) Panorama de la playa viéndola de norte a sur, d) Panorama de la playa viéndola de sur a norte.

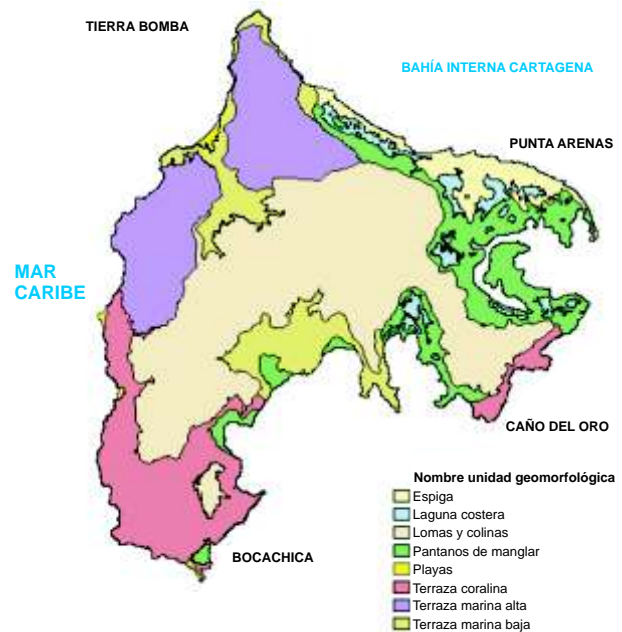


Figura 16. Mosaico de las unidades geomorfológicas establecidas para la isla de Tierra Bomba.

Adicionalmente, se identificaron 4 unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas: pantanos de manglar, lagunas costeras, espigas y playas. Los pantanos de manglar cubren una extensa parte de la isla con conexiones a través de una serie de canales y acumulaciones de materia orgánica, especialmente en la parte Noreste de la isla. Esta geoforma comienza al final del corregimiento de Punta Arenas y se extiende hasta el comienzo del corregimiento de Caño del Oro. También se encuentran algunos remanentes de esta unidad al final del corregimiento de Caño del Oro los cuales se desarrollan por todo el costado Sur de la isla con una vegetación bastante exuberante.

Las lagunas costeras están desarrolladas básicamente en el sector de Punta Arena debido a la gran espiga que atrapa las aguas de estas lagunas. Según las épocas del año están se encuentran totalmente inundadas o secas.

En la isla de Tierra Bomba se ha desarrollado una gran espiga en el corregimiento de Punta Arenas, la cual separa las pequeñas lagunas costeras del mar. Se encuentra en proceso de crecimiento en sentido de la deriva litoral con una composición de arena fina y media que se extiende desde la playa hasta el inicio de las lagunas. En el lugar se encuentran evidencias de

sustrato rocoso el cual origina la acumulación y el crecimiento de esta espiga, de origen calcáreo y con fragmentos de coral.

En relación con las playas, la isla posee playas que van desde los 2 metros hasta los 150 m; se trata de playas de arena fina algunas con minerales tales como cuarzo feldespato y con fragmentos de material calcáreo que ha sido transportado por las corrientes y otras debidas a la erosión de las terrazas marinas que están presentes en la zona.

En general gran parte de las playas están siendo afectadas por procesos de erosión litoral y sólo en algunos sectores la construcción de una serie de espolones distribuidos de forma irregular ha disminuido un poco el retroceso de la línea de costa, ya que la construcción de estas estructuras sólo ha contemplado algunos estudios previos puntuales.

Las playas desarrolladas en el sector de Punta Arenas van asociadas a los procesos de formación y desarrollo de la espiga la cual fue descrita anteriormente. Se trata de playas amplias, de arena gruesa debido a la pendiente fuerte de la playa en algunas partes con fragmentos de conchas y materiales calcáreos, debido al retroceso de las terrazas marinas que se encuentran a su alrededor.

Las playas de Bocachica han sufrido un retroceso debido a la energía del oleaje, son playas de pendiente altas con arenas de 3 mm en promedio con fragmentos de material calcáreo y conchas, debido a la antesala de la terraza coralina que se encuentran presente en todo el sector.

En la parte trasera de la isla, más específicamente donde la isla sufre impacto directo del mar y no de la bahía se encuentran una serie de playas características debido a que se encuentran entre afloramientos de roca lo cual hace que existan este tipo de playas llamadas de bolsillo, las cuales tienen longitudes hasta de 100 m. En estas playas aparece un marcado cambio en la forma fisiográfica, son playas de arenas finas de pendiente moderada, en algunas con fragmentos de material calcáreo.

Por otra parte, se identificaron 4 unidades geomorfológicas asociadas a costas altas: lomas y colinas, terrazas coralinas, terrazas marinas altas y

terrazas marinas bajas. Las lomas y colinas presentan alturas inferiores a 80 m, cuya morfología ondulada o abrupta se debe a la acción de procesos internos tales como litología, fallas y plegamientos; y también externos como el clima y procesos erosivos. Las lomas conforman un relieve suavemente ondulado con alturas entre 10 y 40 m. Las colinas con alturas entre 40 y 80 m hacia la línea de costa, se extienden en forma alargada en sentido Noreste, limitando con el mar en forma de acantilados casi verticales. Están talladas en rocas sedimentarias, constituidas por rocas coralinas. Esta geoforma se encuentra ubicada en el corazón de la isla.

Entre tanto, las terrazas coralinas se encuentran ubicadas en el sector de Bocachica y el corregimiento de Caño del Oro. Por su parte la terraza marina baja se encuentra en la parte Norte de la isla como primera expresión topográfica para luego terminar en una terraza marina que va hasta los 40 m (terrazza marina alta). En esta zona se encuentra la población de Tierra Bomba, presenta material calcáreo y fragmentos de corales los cuales han sido sometidos a la abrasión marina modificando la terraza, en varias zonas presenta signos de erosión. Para el costado Oeste de la isla se desarrolla una terraza marina la cual posee alturas hasta 12 m de altura la cual presenta grandes signos de erosión debido al embate de las olas. En el lugar esta terraza está constituida por fragmentos de corales, con presencia de grandes bloques caídos.

La composición florística de la zona litoral de la isla de Tierra Bomba presentó un total de 29 especies pertenecientes a 18 familias, distribuidas en 9 transectos que se ubicaron sobre 7 escenarios preestablecidos en donde existe evidencia de material no consolidado propio de playa marítima. El borde costero de la isla es susceptible a un amplio rango de intervención y ocupación; es por ello que se trató de aprovechar al máximo los escenarios en los que la intervención del hombre fuera poca y presentase playas estables.

En términos de vegetación, la intervención más común por parte del hombre sobre las playas de la isla de Tierra Bomba está representada por la tala y quema de terrenos pertenecientes al bosque seco tropical. Pese a la dificultad para establecer la línea de vegetación permanente en varios sectores de la isla, fue posible establecer una clasificación de los estratos de

vegetación presentes en el área. De esta manera, en el sector Noroccidental de la isla, conocido como Playa Linda, el sector sur de Playa Las Monjas y el sector de la parte suroriente de Bocachica, fue evidente la presencia de bosque seco tropical, mientras que en el área suroriental de la isla, hacia los sectores de Caño del Oro y Punta Arena, fue notoria la presencia del bosque de manglar que forma un cinturón entremezclado de especies como: Mangle rojo (*Rizophora mangle*), Mangle negro (*Avicennia germinans*), Mangle blanco (*Leguncularia racemosa*) y Mangle zaragoza (*Conocarpus erecta*).

Tal como se mencionó anteriormente, el litoral es un espacio dinámico y complejo y por ello mismo, debe ser bien entendido con el fin de generar 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 [21]. Los análisis espaciales llevados a cabo con tecnología de SIG, son importantes para soportar la toma de decisiones a nivel de manejo integrado de zonas costeras. Por esta razón, se requiere una buena infraestructura de información espacial para recolectar y hacer accesible los datos espaciales [22].

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 clave 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, ± 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 ± 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 ± 25 puntos/m².

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 [23]. 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 [24].

En Sur África 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 [6].

Por otra parte, en Nicaragua y más exactamente en el instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), se está trabajando en la actualidad con ortofotografía digital, que es el resultado de la aplicación de una nueva tecnología de producción instalada recientemente en este estudio con el fin de adelantar levantamientos parcelarios o catastrales. La ventaja con esta clase de tecnología es que ha proporcionado una visión directa de los objetos del terreno, lo que proporciona enormes posibilidades de aplicación en la planificación del desarrollo tanto de las áreas rurales como de los centros urbanos [25].

Referencias bibliográficas

[1] Longhorn R. Coastal Spatial Data Infrastructure. GIS for Coastal Zone Management. 2001.

[2] 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.

[3] 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.

[4] DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL DE CARTAGENA DE INDIAS. Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias. 2001.

[5] Dugand A. Geobotánica, Botánica y Ecología Vegetal. Ministerio del Medio Ambiente. Corporación Autónoma Regional del Atlántico. 1998.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 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.

[11] Sperb R, Pacheco R, Khator R. Legal and socio-economic dynamics in coastal zone management: Agent-based Modelling of Spatial Processes. CoastGIS- International Symposium on GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management; 2006.

[12] Järvelin K, Wilson T. On conceptual models for information seeking and retrieval research. Information research. An international electronic journal. 2003; 9 (1).

[13] Valdemoro H. La influencia de la morfodinámica en los usos y recursos costeros [MsC Thesis]. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña; 2005.

[14] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto Ley 2324 de 1984.

[15] Afanador F, Castro I. Modelo conceptual para el control y administración de los litorales colombianos. Boletín Científico CIOH 2006; (24): 73-93.

[16] Afanador F, Castro I, Torres N. Información espacial para el control y administración del litoral en el Golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Boletín Científico CIOH 2007; (25).

[17] 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.

[18] DIRECCIÓN GENERAL MARÍTIMA. Procedimiento técnico para el establecimiento del límite interno de playas. 2005.

[19] Bolfor M, Fredericksen T. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis de ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia. 2000.

[20] GEMA. Grupo de exploración y monitoreo ambiental. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 1997.

[21] 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 and Environmental Engineering and Geodetic Science. The Ohio State University. Columbus. 2003.

[22] Douven W, Buurman J, Kiswara W. Spatial Information for costal zone management: the example of the Banten Bay seagrass ecosystem, Indonesia. *Ocean and Coastal Management* 2003; 46.

[23] Li R. Integration of multi-source spatial information for costal management and decision making. *Mapping and GIS Laboratory*. The Ohio State University. Columbus. 2004.

[24] Guimet J. Coastal management in Catalonia. Case study. *Spatial Data Infrastructure of Catalonia*. Catalonia, España. 2005.

[25] INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES. La nueva tecnología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. 1999.