



## ARTÍCULO

### **Sensoramiento remoto y análisis geomorfológico como información base para el control y administración del litoral entre la desembocadura del río Gaira y el sur del Aeropuerto Simón Bolívar, Departamento del Magdalena, Caribe Colombiano**

### **Remote sensing and geomorphologic analysis as base information for control and management of the littoral between the mouth of Gaira river and the south end of the Simón Bolívar Airport, Magdalena Region, Colombian Caribbean**

Fecha recepción: 2010-07-27 / Fecha aceptación: 2010-11-03

**Fernando Afanador Franco**, Fafanador@dimar.mil.co  
**Andrés Felipe Carvajal Díaz**, andrescarva@hotmail.com  
**Juan Carlos Gómez Quesada**, juancho2282@gmail.com  
**Paola Echeverry Hernández**, paolechhe@gmail.com  
*Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas – CIOH,  
Cartagena de Indias, D.T. y C., Colombia*

## RESUMEN

Las zonas litorales son uno de los ecosistemas más amenazados del planeta. El incremento de la población asentada en ellas, el desarrollo de actividades económicas y sociales, al igual que fenómenos como el calentamiento global, constituyen las mayores amenazas para estas valiosas y frágiles zonas.

La Autoridad Marítima Nacional, representada por la Dirección General Marítima (DIMAR), estableció una metodología de trabajo basada en la utilización, entre otros componentes, de ortofotografías digitales y datos del sensor LiDAR (Light Detection And Ranging), así como también de análisis geomorfológicos para el establecimiento del límite espacial de los bienes de uso público localizados sobre la totalidad del litoral Caribe colombiano y que por mandato legal, se encuentran bajo su jurisdicción.

La presente investigación de la aplicación del sensoramiento remoto y el análisis geomorfológico, se desarrolló en un sector del litoral del departamento del Magdalena comprendido entre la desembocadura del río Gaira y la parte sur del aeropuerto Simón Bolívar, con el fin de generar la información técnica base (análisis y mapa geomorfológico) para que posteriormente, la Autoridad Marítima Nacional ejerza, de una manera más exacta, la administración y control de este importante espacio litoral.

El desarrollo de la investigación comprendió la utilización de las dos técnicas de sensoramiento remoto antes mencionadas, la generación de Modelos Digitales del Terreno, perfiles del terreno, mapas de pendientes y fotointerpretación y análisis para el mapeo de las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio. Adicionalmente, se efectuó la toma de datos en campo y el análisis de fotografías oblicuas disponibles, como información complementaria y de referencia para el análisis y mapeo correspondiente. El almacenamiento de la información se llevó a cabo a través de la conformación de una Geodatabase local, permitiendo identificar y cuantificar las unidades geomorfológicas de loma y colina (235.24 Ha), playa (180.80 Ha), llanura costera (704.41 Ha), llanura aluvial (15.21 Ha), laguna costera (2.92 Ha) y cuerpos de agua (1.99 Ha).

Los resultados obtenidos en relación con la extensión de los bienes de uso público costeros, establecieron que 180.80 Ha corresponden a playas; 15.14 Ha a terrenos de bajamar y 20.60 Ha a la franja de jurisdicción de cincuenta metros, para un total de bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR de 184.15 Ha.

Con base en la información de las fotografías aéreas del IGAC de los años 1955 y 1975, se pudo establecer la evolución y transformación de las unidades geomorfológicas en dos sitios específicos como resultado de la intensa actividad antrópica que se ha presentado en estos sectores.

El empleo de estas técnicas de sensoramiento remoto (fotografía aérea y escáner aerotransportado LiDAR) y la clasificación geomorfológica efectuada, contribuyeron a la búsqueda de explicaciones sobre los fenómenos que han ocurrido en esta zona litoral del departamento del Magdalena y a la vez, conformaron un aporte importante a la fundamentación técnica para llevar a cabo un adecuado control y administración de estas zonas por parte de la Autoridad Marítima Nacional.

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

## ABSTRACT

The littoral zones are one of the most threatened ecosystems in the planet. The increment of the population seated in them, the development of economic and social activities, the same as global warming, constitute the biggest threats for these valuable and fragile areas.

The National Maritime Authority, represented by the General Maritime Direction (DIMAR), established a work methodology based on the use, among other components, of digital orthophotographs and LiDAR (Light Detection And Ranging) data sensor, as well as of geomorphologic analysis to establishment the spatial limit of the public's use goods located about the entirety of the coast Colombian Caribbean and that for legal mandate, are low its jurisdiction.

The present research of the application of the remote sensing and geomorphologic analysis, were develop-

ped in a sector of the Magdalena's department coast understood among the Gaira river mouth and the south part of the Simón Bolívar airport, with the purpose of generating the technical base information (analysis and geomorphologic map) to later on, the National Maritime Authority practice, in a more accuracy way, the control and management of this important littoral space.

The development of the research understood the use of the two remote sensing techniques before mentioned, the Digital Terrain Model generation, terrain profiles, slope map and photointerpretation and analysis to geomorphologic units mapping identified in the study area. Additionally, was made the fieldwork and the analysis of the available aerial photographs, as complementary and reference information to corresponding mapping. The storage of the information was carried out through the conformation of a local Geodatabase, allowing to identify and quantify the units of hills (235.24 Ha), beach (180.80 Ha), coastal plain (704.41 Ha), alluvial plain (15.21 Ha), coastal lagoon (2.92 Ha) and water bodies (1.99 Ha).

The obtained results about the extension of public's use goods, established that 180.80 Ha correspond to beaches; 15.15 Ha to intertidal zones and 20.64 to DIMAR's jurisdiction fringe of fifty meters, for a total extension of public's use goods under DIMAR's jurisdiction of 184.15 Ha.

Based in the information of IGAC's aerial photographs of 1955 and 1975, it could settle down the evolution and transformation of the geomorphological units in two specific places as a result of the intense anthropic activity that has been presented in these sectors.

The employment of these remote sensing techniques (aerial photographs and airborne scanner LiDAR) and the geomorphologic classification made, help to search explanations of phenomenon that have happened in this littoral area of the Magdalena's department and at the same time, they conformed an important contribution to the technical foundation to carry out an appropriate control and administration of these areas by the National Maritime Authority.

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

## INTRODUCTION

The coastline is the area where marine and terrestrial processes overlap and interact, which gives it a complex and vulnerable character thanks among others to, anthropic activities [1]. Coastal areas are attractive places for economic and urban planning. These anthropic interventions often interfere with their physical characteristics, which cause conflicts involving different uses and interests [2]. Coastlines, besides their recreational and aesthetic value, play a key role in supporting social and economic activities, habitat for many species and in the cycle of nutrients such as nitrogen [3]. The increasing pressure on coastal areas globally has been widely reported in the literature [4]. Therefore, control and proper management are critical in order to ensure their preservation and conservation within a framework of sustainable development.

Moreover, coastal areas are difficult to control and manage due mainly to spatial problems and the combination of physical, jurisdictional, legal aspects and the needs and interests of different stakeholders participating in them [5].

Notwithstanding the foregoing, coastlines are the places where they multiple activities and interests are developed, becoming home to approximately 44% of the population. Therefore, the nations of the world are highly interested in balancing the development and exploitation of resources in these areas [6].

The processes which take place in coastal areas are characterized by a complex and dynamic relationship of natural, demographic and economic processes related to each other in a network of reciprocal influence. These processes are essentially dynamic cycles involving natural resource exploitation, processing and use of resources due population growth, social organization and economic production.

In the short term, unplanned occupation and use patterns lead to degradation and eventually to the depletion of resources. For this reason, coastal management requires an integrated approach; management decisions need to be based on a complete knowledge of the coastal system and the dynamic forces operating therein.

## INTRODUCCIÓN

El litoral es el área donde los procesos marinos y terrestres se superponen e interactúan, lo que le confiere un carácter de complejo y vulnerable gracias, entre otras, a las actividades humanas [1]. Las áreas costeras son espacios atractivos para actividades económicas y urbanísticas. Estas intervenciones humanas generalmente interfieren con sus características físicas causando conflictos que involucran diferentes usos e intereses [2]. Los litorales, además de sus valores recreacionales y estéticos, juegan un papel fundamental para el soporte de actividades sociales, económicas, hábitat para diversas especies e importante rol en el ciclo de nutrientes esenciales como el nitrógeno [3]. La creciente presión sobre las zonas costeras a nivel global ha sido ampliamente reportada en la literatura científica [4]. Por esto, su control y administración adecuada, son críticos para garantizar su preservación y conservación dentro de un marco de desarrollo sostenible.

Por otra parte, los litorales son áreas difíciles de controlar y administrar debido principalmente, a problemas espaciales y a la combinación de aspectos físicos, jurisdiccionales, legales y las necesidades e intereses de los diferentes actores presentes en ellas [5].

No obstante lo anterior, los litorales son los lugares en donde se desarrollan múltiples actividades e intereses, constituyéndose en 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 [6].

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.

Since coastal areas are rapidly changing, management must also be established quickly. However, for any control and management to be effective, policies need to be based on a technically supported decision - making process, which in turn requires rapid and timely access to data and information necessary for making decisions. That is why the so - called baseline data and the spatial information component make part of the planning process of coastal management and control [7]. Because much of this information is of spatial type, remote sensing technology is an important data source for coastal management [8]. In addition, Geographic Information Systems (GIS) contribute greatly to the control and management of coastal areas through their effectiveness in handling large databases, efficient storage and ease for spatial analysis and information, easy - to - use characteristics for modeling, testing and comparing alternative management scenarios before a specific strategy or action is implemented.

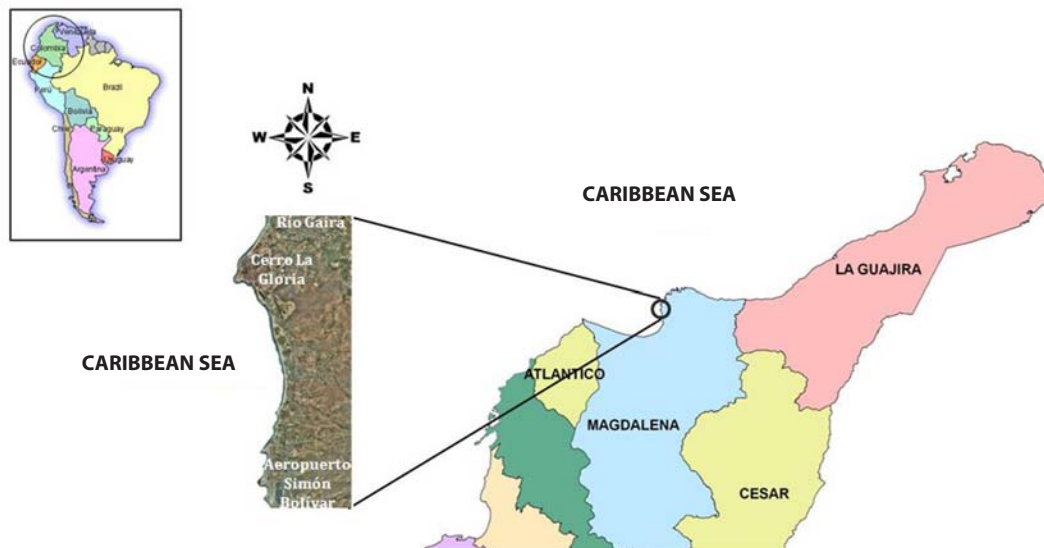
The study area located between  $11^{\circ}11'36.61''\text{N}$ ,  $74^{\circ}13' 52.79'' \text{W}$  and  $11^{\circ}06'36.44'' \text{N}$ ,  $74^{\circ}13'47.43''\text{W}$  corresponds to the segment of coastline of the Magdalena region between the mouth Gaira river and the

southern part of Simon Bolivar airport in the Colombian Caribbean, with an extension in its coastline of 11.79 km and a surface area of 1140.60 Ha, (figures 1 and 2).

Overall, the entire coastline of the department of Magdalena (Magdalena River to the mouth of the Palomino River) has an approximate length of 170 km and can be physiographically divided into two provinces: the region of the Magdalena River delta, in the western part (Parque Nacional Natural Isla de Salamanca) and the coastal mountains to the east, where Sierra Nevada de Santa Marta is located.

The outer delta of the Magdalena River includes low coasts made up of unconsolidated material, which is easy to remove by the strong waves which have an incidence on the region. On the other hand, the rocky coasts of Sierra Nevada de Santa Marta include igneous and metamorphic rocks which are highly resistant to wave attack and which house protected coves.

The climate is considered hot; most of it is classified as semi - arid, including halophytic vegetation (mangroves) and xerophytic vegetation (cacti and thorny shrubs) on the island of Salamanca, near Santa Marta [9].



**Figure 1.** Continental and national location of the study area on the coast of the Magdalena region, Colombian Caribbean.

Dado que las zonas litorales cambian rápidamente, 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 necesarios 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]. Debido a 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 de que se implemente una estrategia o acción determinada.

El área de estudio localizada entre las coordenadas  $11^{\circ} 11' 36.61''\text{N}$ ;  $74^{\circ} 13' 52.79''\text{W}$  y  $11^{\circ} 06' 36.44''\text{N}$ ;  $74^{\circ} 13' 47.43''\text{W}$  corresponde al segmento del litoral del departamento del Magdalena comprendido entre la desembocadura del río Gaira y la parte Sur del aeropuerto

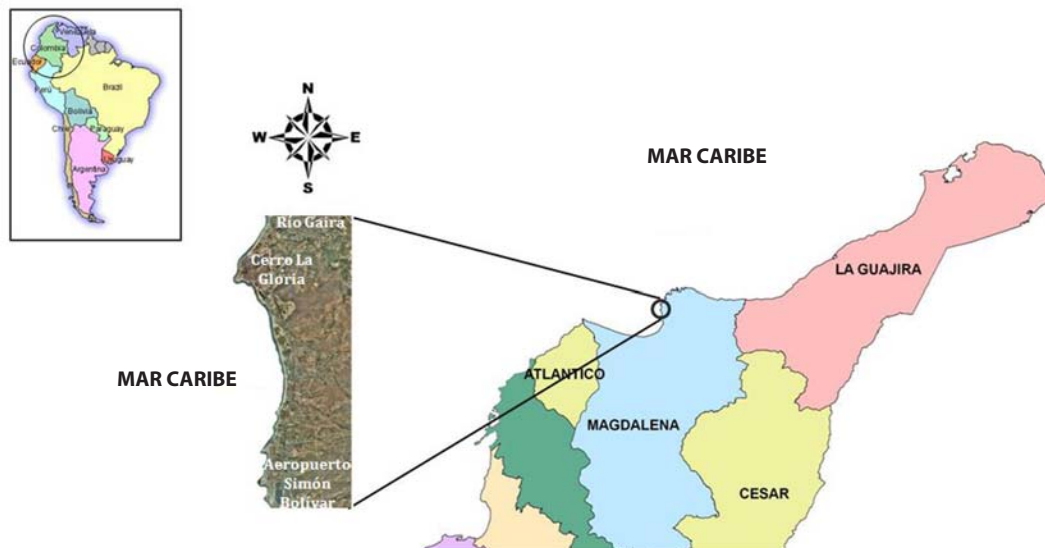
Simón Bolívar, en el Caribe colombiano, con una extensión en su línea de costa de 11.79 Km y una extensión en superficie de 1140.60 Ha, (figuras 1 y 2).

En términos generales, la totalidad del litoral del departamento del Magdalena (río Magdalena hasta la boca del río Palomino) presenta una longitud aproximada de 170 Km y fisiográficamente se puede dividir en dos grandes provincias: la región del delta del río Magdalena en la parte Oeste (Parque Nacional Natural Isla de Salamanca) y las costas montañosas hacia el Este, en donde se ubica la Sierra Nevada de Santa Marta.

El delta externo del Magdalena incluye costas bajas constituidas de material no consolidado, fácil de remover por el fuerte oleaje que azota la región. Entre tanto, las costas rocosas de la Sierra Nevada de Santa Marta incluyen rocas ígneas y metamórficas muy resistentes al ataque del oleaje que albergan ensenadas protegidas.

El clima es considerado cálido, siendo la mayor parte de éste catalogado como semi-árido incluyendo vegetación halofítica (manglar) y xerofítica (cactus y arbustos espinosos) en la isla de Salamanca y alrededores de Santa Marta [9].

A lo largo y ancho de los litorales colombianos se encuentran ciertas áreas denominadas bienes de uso



**Figura 1.** Localización continental y nacional del área de estudio en el litoral del departamento del Magdalena, Caribe colombiano.

Throughout the length and width of the Colombian coasts, certain areas called public use goods can be found. Domain of the above – mentioned areas is permissive of the Nation and its use or enjoyment belongs to all inhabitants of the territory, according to the current legal system, where provides that public goods that are under the responsibility of the DIMAR are internal maritime waters, maritime beaches, intertidal zones, the waters and beaches of the rivers within their jurisdiction [10].

Within this framework, and as a result of various pressures and growing occupations by individuals on public goods (beaches and intertidal zones mainly), located on the coastline under the jurisdiction of the DIMAR, was necessary to determine technical and spatially the limits of these goods on the coast of the department of Magdalena, specifically between the mouth of the Gaira River and the southern part of Simon Bolivar airport using remote sensing and geomorphological analysis in order to carry out its control and management by the National Maritime Authority.

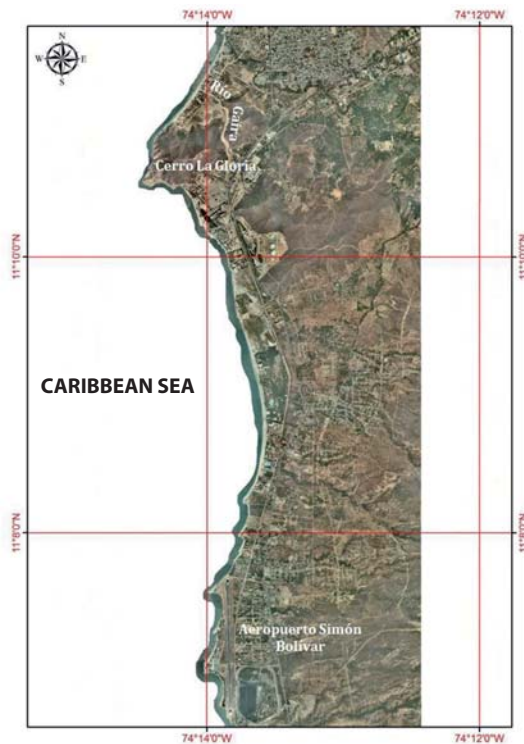
Remote sensing technology known as LiDAR (Light Detection And Ranging) or laser scanning is an active remote sensing system, which allows distance measurements on the surface, from a sensor placed inside an aircraft. The sensor obtains three-dimensional points (x, y, z), from which we can generate Digital Terrain Models (DTM). The technology is based on the LASER principle (Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation), which amplifies light by radiation and emission simulation [11].

Orthorectified aerial photography, using a digital camera, has been a relatively new remote sensing technique, which has been found in the information obtained from the LiDAR sensor, a good level of supplementation, especially for modeling and analysis of terrain. Thus, the main advantage of digital aerial photography is the pictorial representation of large tracts of land, which greatly facilitates the work of photointerpretation and terrain analysis by technicians and professionals from various fields of knowledge [11].

Some authors such as van Zuidam refer to the statement by Way [12] concerning the fact that analysis and classification of landforms is essential for the study of the land, because landforms are features formed by natural processes with a defined composition and a range of physical and visual particularities that occur whenever land shapes can be found [12]. In this context, terrain analysis and classification are related to geomorphology, considering the latter as the description of landforms, the processes involved in its formation and interrelationship of these forms and processes in their spatial arrangement on time. In this way, field units are ecological units in which forms, processes, rocks, soil, water and vegetation, influence each other to form a particular natural balance.

## METHODOLOGY

The development of this research included the steps illustrated in figure 3. The use of digital orthophotos allowed to have a current, accurate, high - spatial - resolution (25 cm) base map (20 orthophotos). As a complement, LiDAR data for the ground (bare soil) allowed the generation of the Digital Terrain Model (DTM) of the area, which in combination with orthophotos and old aerial photographs allowed the identification of



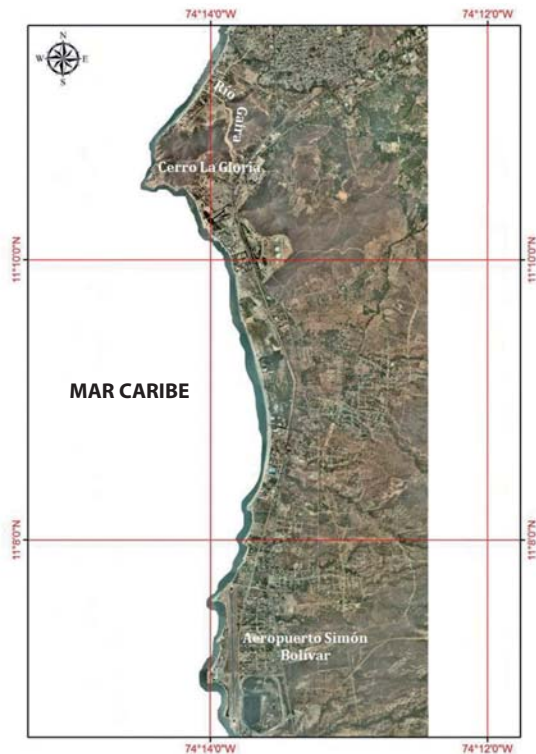
**Figure 2.** Orthophotomosaic of the study area (2008). Geographical coordinates referred to the WGS84 ellipsoid.

público, cuyo dominio es potestativo de la Nación y su uso o aprovechamiento pertenece a todos los habitantes del territorio, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en donde se establece que los bienes de uso público que se encuentran bajo responsabilidad de la DIMAR, son las aguas interiores marítimas, las playas marítimas, las zonas de bajamar, y las aguas y playas fluviales de los ríos bajo su jurisdicción [10].

Dentro de este marco normativo y como consecuencia de las diversas presiones y crecientes ocupaciones, por parte de los particulares, sobre los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar principalmente), ubicados sobre los litorales sometidos a la jurisdicción de la DIMAR, se hizo necesario determinar técnica y espacialmente, el límite de estos bienes en el litoral del departamento del Magdalena, específicamente entre la desembocadura del río Gaira y la parte Sur del aeropuerto Simón Bolívar utilizando sensores remotos y análisis geomorfológicos, con el fin de llevar a cabo su control y administración por parte de la Autoridad Marítima Nacional.

La tecnología de sensoramiento remoto conocida como LiDAR (Light Detection And Ranging) o escaneo láser, es un sistema de sensoramiento remoto 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 del Terreno (MDT). La tecnología se basa en el principio LASER (Light Amplification by Stimulated Emisión of Radiation), que amplifica la luz por simulación de emisión y radiación [11].

La fotografía aérea ortorectificada, empleando una cámara digital, ha sido una técnica relativamente reciente de teledetección, que ha encontrado en la información obtenida con el sensor LiDAR, un buen nivel de complementación, especialmente para la modelación y análisis de terrenos. 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 [11].



**Figura 2.** Ortofotomosaico del área de estudio (año 2008). Coordenadas geográficas referidas al elipsoide WGS84.

Algunos autores como van Zuidam hacen referencia a lo expresado por Way [12] en relación con que el análisis y clasificación de las formas terrestres es básico para el estudio de los terrenos, debido a que las formas terrestres son características formadas por procesos naturales con una composición definida y un rango de particularidades físicas y visuales que ocurren siempre que la forma esté presente [12]. En este contexto, es que el análisis del terreno y su clasificación se relacionan con la geomorfología, considerada esta última, como la descripción de las formas terrestres, los procesos relacionados con su formación y las interrelaciones de esas formas y procesos en su arreglo espacial sobre el tiempo. De esta forma, las unidades del terreno son unidades ecológicas en las cuales las formas, procesos, rocas, suelos, agua y vegetación, se influyen unas a otras para formar un equilibrio natural particular.

## METODOLOGÍA

El desarrollo de la presente investigación comprendió las etapas ilustradas en la figura 3. La utilización de las ortofotografías digitales permitió contar con una base cartográfica (20 ortofotografías) actual, exacta y de alta resolución espacial (25 cm). De manera complementaria, los datos LiDAR correspondientes al terreno (suelo desnudo), permitieron la generación del Modelo Digital del Terreno (MDT), que en combinación con

geomorphological macrounits. This identification was made through the interpretation of the information provided by the DTM from LiDAR data, specifically geometric parameters of the field (area of geomorphic units) and morphological parameters, especially the analysis of relief with profiling (vertical amplitude topography) and terrain slopes in the study area.

Having once formed the digital cartographic base, the DTM and the interpretation of the information provided by the latter, the local Geodatabase was created for structuring, monitoring, photo-interpreting and characterizing the geomorphological units based on digital orthophotos, ground profiles and old aerial

georeferenced photographs of the Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (based on the MAGNA - Central coordinate system of the digital orthophotos), see table 1.

In order to carry out photo-interpretation of the macro geomorphological units, interpretation keys were used (elements which express and define features present in the photograph) such as shape, size, pattern, shadow, tone, color, texture, association and geographic site, which through its analysis in relation to each other and in the global geography, formed a guide for the recognition and classification of units in both aerial photographs and in orthophotos.

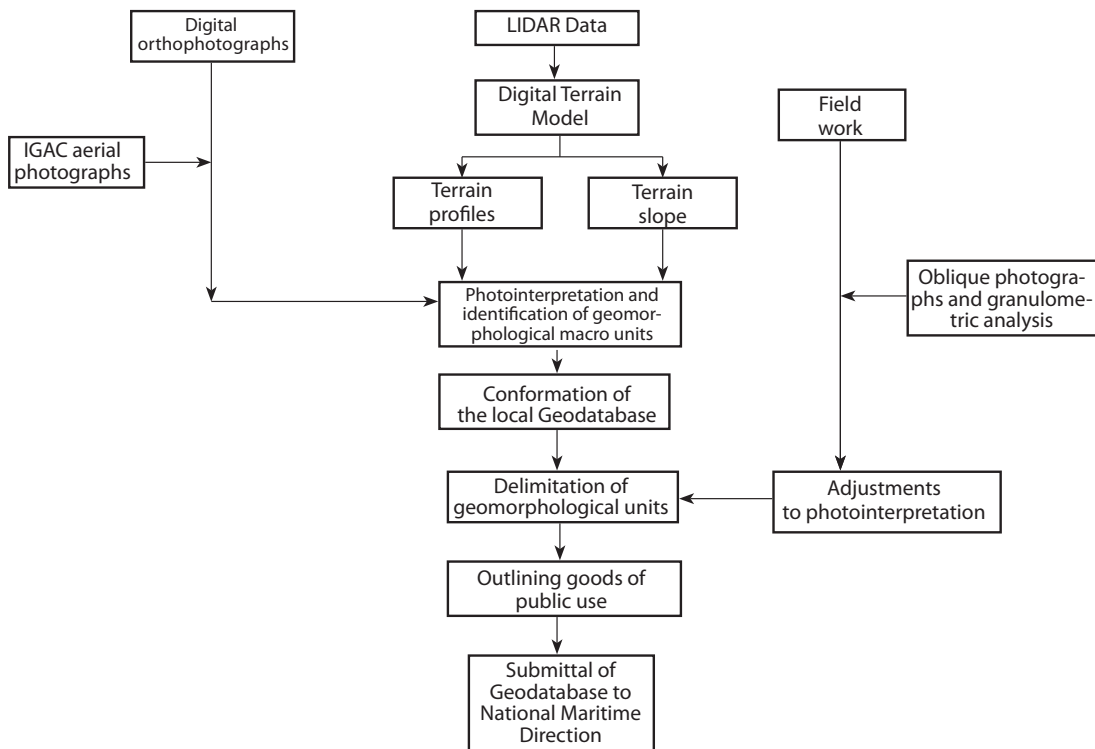


Figure 3. Work Stages.

Additional old aerial pictures of IGAC, between the years 1955 and 1975 respectively (table 1), were used during the photointerpretation phase. The interpreta-

tion of old IGAC aerial photos, sought to observe and define the entire study area, the units in an initial state with little or no anthropic intervention.

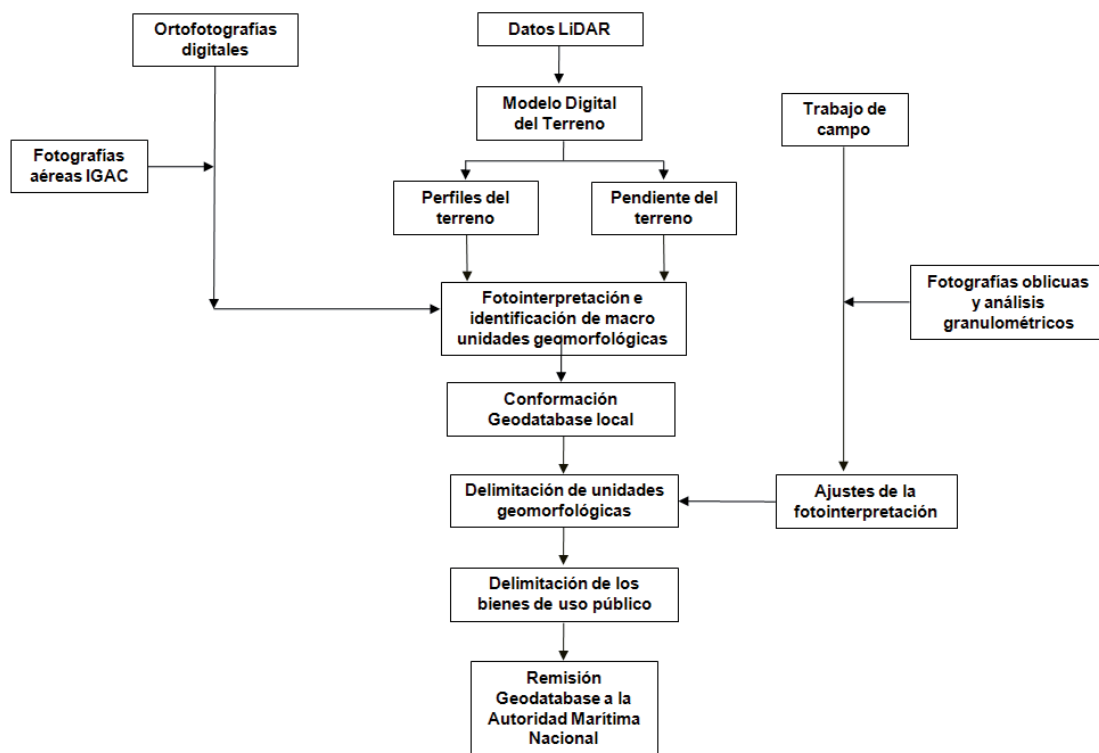


las ortofotografías y las fotografías aéreas antiguas, permitió la identificación de macrounidades geomorfológicas. Esta identificación se realizó a través de la interpretación de la información proporcionada por el MDT proveniente de los datos LiDAR, específicamente parámetros geométricos del terreno (área de unidades geomorfológicas) y parámetros morfológicos, especialmente el análisis del relieve con elaboración de perfiles (amplitud vertical de la topografía) y las pendientes del terreno en el área de estudio.

Una vez conformada la base cartográfica digital, el MDT y la interpretación de la información proporcionada por éste último, se efectuó la conformación de la Geodatabase local para estructuración y almacenamiento y la fotointerpretación y caracterización de las unidades geomorfológicas con base en las ortofotogra-

fías digitales, perfiles del terreno y fotografías aéreas antiguas georeferenciadas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC (con base en el sistema de coordenadas MAGNA-Central de las ortofotografías digitales), ver tabla 1.

Para el desarrollo de la fotointerpretación de las macrounidades geomorfológicas, se utilizaron claves de interpretación (elementos que expresan y definen características que están presentes en la fotografía) como la forma, el tamaño, el patrón, la sombra, el tono, el color, la textura, la asociación y el sitio geográfico, que a través de su análisis en relación con cada una de las otras y en el contexto global geográfico, conformaron una guía para el reconocimiento y clasificación de las unidades tanto en las aerofotografías como en la ortofotografías.



**Figura 3.** Etapas del trabajo.

Durante la etapa de fotointerpretación se utilizaron adicionalmente fotografías aéreas antiguas del IGAC entre los años 1955 y 1975 respectivamente (tabla 1).

La interpretación de las fotos aéreas antiguas del IGAC, buscó observar y delimitar en la totalidad de la zona de estudio, las unidades en un estado inicial de poca o nula intervención antrópica.

**Table 1.** Old IGAC aerial photos used for photointerpretation.

Flight No.	Year	Scale	Photo No.	Sector
C-761	1955	1:10000	131 y 133	Playa Salguero – Pozos Colorados
R-725	1975	1:10200	022	Pozos Colorados
R-602	1967	1:20500	2123, 2124 y 2125	Pozos Colorados – aeropuerto Simón Bolívar
C-796	1956	1:11000	425 y 428	Playa Dormida

Field data collection was subsequently carried out, which consisted of creating documentation primarily on sediment sampling for granulometric analysis, so as to establish the tendency of sediment distribution throughout the study area and the behavior of the sediment in terms of size, shape and texture and in second order with oblique aerial photographs (taken from a helicopter) of the geomorphological units. The completeness of the information collected directly in the field was used as the basis for adjustments to the initially performed photointerpretation units.

Storage of information was carried out in a local Geodatabase (type of geographic data based on object - oriented model that allows to input behaviors, properties, rules and data relationships), which has a Feature Class (feature groups with the same type of geometry, attribute and spatial reference system) for the limits of the property for public use (beaches and intertidal zones, mainly). Another feature class was used for geomorphological polygons and areas covered by mangroves; one last feature class was used to field data, all within Geographic Information System (GIS) environ.

Based on the geomorphological characteristics of the different expressions of coastal relief, the height of the highest tide, and also in accordance with the existing legal framework (Decree 2324 of 1984), a geomorphological association was conducted with public goods, specifically with maritime beach. Thus, the units associated with goods for public use in the survey were established landforms such as beaches and coastal lagoons. The remaining landforms were not associated with a good for public use because of their geomorphological characteristics (height, constituent material, etc.). Additionally, the Digital Terrain Model derived from LIDAR data and numerical modeling performed

for calculating the height of high tide helped to determine the geographical extent of the intertidal zones.

Both ground and aerial oblique photographs, as well as the results of the granulometric analysis performed on samples of sediment taken directly on the ground, were associated digitally (hyperlinking) to Feature Class field data within the local Geodatabase, so as to constitute an additional support in the process of classification and delimitation of the units and geomorphological features of the study area.

## OUTCOME

Six geomorphic units (ridge and hill, coastal lagoon, beach, coastal plain, flood plains and water bodies were identified and mapped for the survey area (figure 4).

Considering the continent - ocean relationship and the height ratio of these two environs, two basic types of costs were found: low coast and high coast. The low coastal areas corresponded to zones located with little or no elevation above sea level, while higher coasts corresponded to areas where plateaus and mountains make contact with the ocean.

### Geomorphic units associated with high costs

#### • Ridge and Hill

This geomorphological unit is widely distributed throughout the study area. All and any topographic expression with heights over 10 meters above sea level (asl) is considered ridge and hill. The classification of the unit was based on the DTM and analysis of the slope (figures 5 and 6).

**Tabla 1.** Fotografías aéreas antiguas del IGAC utilizadas para la fotointerpretación.

No. Vuelo	Año	Escala	No. Fotografías	Sector
C-761	1955	1:10000	131 y 133	Playa Salguero – Pozos Colorados
R-725	1975	1:10200	022	Pozos Colorados
R-602	1967	1:20500	2123, 2124 y 2125	Pozos Colorados – aeropuerto Simón Bolívar
C-796	1956	1:11000	425 y 428	Playa Dormida

Posteriormente se llevó a cabo el trabajo de toma de datos en campo consistente en la documentación, en primer lugar, a través de toma de muestras de sedimentos para análisis granulométricos que permitieran establecer la tendencia de la distribución sedimentaria de toda el área de estudio y el comportamiento del sedimento en cuanto a tamaño, forma y textura y en segundo lugar, con la toma de fotografías terrestres y aéreas oblicuas (tomadas desde helicóptero) de las unidades geomorfológicas. La totalidad de la información recopilada directamente en el terreno, fue utilizada como base para efectuar los ajustes a la fotointerpretación de unidades inicialmente realizada.

El almacenamiento de la información se efectuó dentro de una Geodatabase local (tipo de datos geográficos con base en el modelo orientado a objetos que permite adicionar comportamientos, propiedades, reglas y relaciones entre los datos), la cual cuenta con un Feature Class (agrupaciones de características con el mismo tipo de geometría, atributos y sistema de referencia espacial) correspondiente al límite de los bienes de uso público (playas y terrenos de bajamar, principalmente); otro correspondiente a los polígonos de unidades geomorfológicas y zonas cubiertas por manglares y finalmente, uno con los datos de campo, todo ello dentro de un ambiente de Sistema de Información Geográfica (SIG).

Con base en las características geomorfológicas de las diferentes expresiones del relieve litoral, la altura de la más alta marea y de conformidad también con el ordenamiento jurídico vigente (Decreto Ley 2324 de 1984), se realizó una asociación de unidades geomorfológicas con bienes de uso público, específicamente con playa marítima. De esta forma, las unidades asociadas a bien de uso público en el área de estudio, fueron las geoformas establecidas como playas y lagunas costeras. Las geoformas restantes no se asociaron a bien de uso público dadas sus características geomorfológicas (altura, material constitutivo, etc.). Adicionalmente, el

modelo digital del terreno obtenido de los datos LiDAR y las modelaciones numéricas efectuadas para el cálculo de la altura de la más alta marea, permitieron delimitar la extensión geográfica de los terrenos de bajamar o zonas intermareales.

Las fotografías oblicuas, tanto terrestres como aéreas así como los resultados de los análisis granulométricos efectuados a las muestras de sedimento tomadas directamente en el terreno, fueron asociados digitalmente (hipervinculación) al Feature Class de datos de campo dentro de la Geodatabase local, con el objetivo de constituir un soporte técnico adicional, en el proceso de clasificación y delimitación de las unidades y rasgos geomorfológicos de la zona de estudio.

## RESULTADOS

Para el área de estudio se identificaron y mapearon 6 unidades geomorfológicas (loma y colina, laguna costera, playa, llanura costera, llanura aluvial y cuerpos de agua (figura 4).

Considerando la relación continente-océano y la relación de altura de estos dos ambientes, se encontraron dos tipos básicos de costas: bajas y altas. Las costas bajas correspondieron a zonas que se encuentran a escasa o nula altura sobre el nivel del mar; mientras que las costas altas, correspondieron a las áreas en donde las mesetas o montañas tienen contacto con el océano.

### Unidades geomorfológicas asociadas a costas altas

- **Loma y colina**

Esta unidad geomorfológica se encuentra ampliamente distribuida en toda la zona de estudio. Se considera loma y colina a toda aquella expresión topográfica

Cerro La Gloria is located in the study area, and it has heights which range from 10 m to 143 m, and slopes greater than 15%. Another of these hills is Vuelta de la Escala, with heights which range from 10 to 179 m and slopes greater than 15% as well.

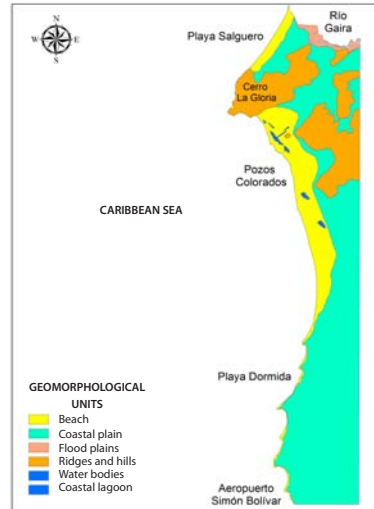
Overall, this geomorphological unit is composed of igneous and metamorphic rocks, in some cases with high rates of weathering and presenting large rockfall as is the case of Cerro La Gloria. It is characterized by wide bays and rocky headlands, resulting in a jagged coastline. In some cases ridges and hills are the limit to which the coastal plain extends.

### Geomorphic units associated with lower costs

Five geomorphic units associated with lower coast were identified: beaches, lagoons, waterbodies, flood plains and coastal plains.

#### • Beaches

Beaches are the most important coastal landforms and they are widely distributed. They are important as coastal protection and as a source of recreation and income generation. Each beach, according to its location, responds to unique geological conditions and physical processes. Hence, study of beaches must consider seasonal cycles, long - term trends, changes in sea level, variations in sediment supply and weather cycles. Thus, it is difficult to characterize beaches and predict their future development without studies and long - term observations.



**Figure 4.** Geomorphological units identified for the area between the mouth of the Gaira River and Simon Bolivar airport.



**Figure 5.** Digital terrain model (LiDAR data) for the survey area with the corresponding ellipsoidal height ranges of colors, based on which the different topographic expressions of the terrain could be identified.

con alturas superiores a los 10 metros sobre el nivel del mar (msnm). La clasificación de esta unidad se realizó con base en el MDT y el análisis de la pendiente del terreno (figuras 5 y 6).

En el área de estudio se encuentra el cerro La Gloria con alturas desde los 10 msnm hasta los 143 msnm y pendientes superiores al 15%. Otro de los cerros presentes es el de Vuelta de La Escala, que presenta alturas desde los 10 hasta los 179 msnm con pendientes superiores también al 15%.

En términos generales, esta unidad geomorfológica está compuesta por rocas ígneas y metamórficas, en algunos casos con altos índices de meteorización presentando grandes desprendimientos de roca como es el caso del cerro La Gloria. Se caracteriza por amplias ensenadas y promontorios rocosos dando como resultado una costa irregular. En algunos casos las lomas y colinas constituyen el límite hasta donde se extiende la llanura costera.

### Unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas

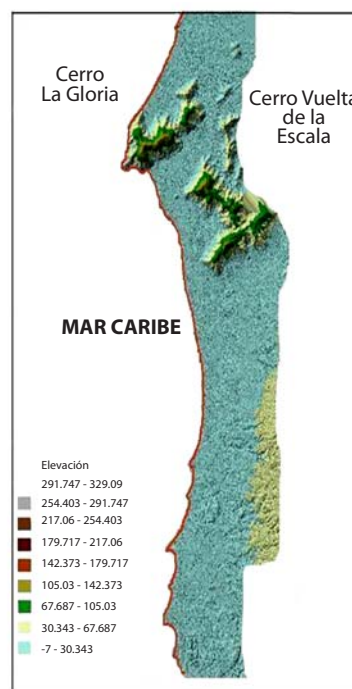
Se identificaron cinco unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas: playas, lagunas costeras, cuerpos de agua, llanura aluvial y llanura costera.

- **Playas**

Las playas son de las geoformas costeras más importantes y ampliamente distribuidas. Son importantes como protección costera y como fuente de recreación y de generación de ingresos. Cada playa según su localización, responde a condiciones geológicas y procesos físicos únicos, por tanto para su estudio hay que considerar los ciclos estacionales, las tendencias a largo plazo, los cambios de nivel del mar, las variaciones en aportes de sedimentos y los ciclos meteorológicos. Es así como es difícil caracterizar playas y predecir su desarrollo futuro sin estudios y observaciones de largo plazo.



**Figura 4.** Unidades geomorfológicas identificadas para el sector entre la desembocadura del río Gaira y el aeropuerto Simón Bolívar.



**Figura 5.** Modelo digital del terreno (datos LiDAR) para la zona de estudio con los correspondientes rangos de altura elipsoidal por colores, con base en el cual se pudieron identificar las diferentes expresiones topográficas del terreno.



**Figure 6.** Ridges and hills (areas in orange) identified in the survey area as superimposed onto the 2008 orthophotomosaic.

- **Beach in the “Playa Salguero” area**

The delimitation in this area was conducted by photo interpretation of aerial photography number 133 of flight No. C-761 IGAC of 1955, in which the stretch of beach without any anthropic intervention can be clearly evidenced (figure 7).

This beach is located between the mouth of the Gaira river and the foothills of Cerro La Gloria. It is bounded to the East by a coastal plain (figure 8). The beach has steep slopes, so the size of the material corresponds to medium to coarse sands. The plain has become a considerable geomorphological unit, characterized by a scarp of 2 m in height on average.



**Figure 7.** Beach stretch (yellow area) identified on photograph No. 133 of the year 1955 for Playa Salguero.



**Figure 8.** Current overview of the beach stretch of Playa Salguero.



**Figura 6.** Lomas y colinas (zonas en color naranja) identificadas en la zona de estudio superpuestas al ortofotomosaico del año 2008.

- **Playa en el sector de 'Playa Salguero'**

La delimitación en este sector se llevó a cabo a través de la fotointerpretación de la fotografía aérea No. 133 del vuelo C - 761 IGAC de 1955, en la cual se puede observar claramente la franja de playa sin ningún tipo de intervención antrópica (figura 7).

Esta playa se encuentra ubicada entre la desembocadura del río Gaira y las estribaciones del cerro La Gloria. Hacia el Este se encuentra limitada por una llanura costera (figura 8). La playa presenta pendientes fuertes por lo que el tamaño del material corresponde a arenas medias a gruesas. La llanura se ha constituido en una unidad geomorfológica bastante considerable, caracterizada por un escarpe de 2 m de altura en promedio.



**Figura 7.** Franja de playa (zona en color amarillo) identificada sobre la fotografía No. 133 del año 1955 para el sector de Playa Salguero.



**Figura 8.** Panorámica actual de la franja de playa del sector de Playa Salguero.

- **Beach in the “Pozos Colorados” area**

The delimitation in this area was conducted by photo interpretation of aerial photographs No. 022 of flight R-725, 2123, 2124 and 2125 of flight R-602 and 131 C-761 IGAC flight of the years 1975, 1967 and 1955 respectively, wherein the band corresponding to the beach is shown (figure 9).

This beach is located from the south of Cerro La Gloria to the vicinity of the area known as Playa Dormida. It is bounded to the East by a coastal plain. The beach has steep slopes, so the size of the material corresponds to medium to coarse sands.



**Figure 9.** Beach stretch (yellow area) identified on the photographs No. 022 of flight R-725, 2123, 2124 and 2125 of flight R-602 and 131 C-761 IGAC flight of the years 1975, 1967 and 1955 respectively for the Pozos Colorados area.

- **Beaches in the “Playa Dormida” area**

Delimitation in this area was conducted by photo interpretation of aerial photographs No. 425 and 428 of flight C-796 IGAC of the year 1956, in which the stretch corresponding to the beach can be seen (figure 10).

This beach is located from the southern part of Pozos Colorados to the south of the runway of Simon Bolivar airport. To the east, the beach is bounded by a wide

coastal plain. The beach also has steep slopes so the size of the material is medium to coarse sand. This plain has become a considerable geomorphological unit, characterized by an escarpment of 4 m in height.



**Figure 10.** Beach stretch (yellow areas) identified on the photographs No. 425 and 428 of the year 1956 for the Playa Dormida area.

- **Coastal plain**

The coastal plains are broad, slightly waved plains limited internally by ridges and hills, and by the coastline towards the sea. Its formation is due to fluvial and marine processes of erosion and sedimentation.

The coastal plain area of Playa Salguero begins with an escarpment from 2 to 4 m, which loses height as it approaches the coastline. It extends to the foothills of Cerro La Gloria (figure 11), so its development is mainly due to the contributions of material from the Cerro La Gloria and some contributions of material from the Gaira river.

A wide coastal plain can be found in the Pozos Colorados sector, which is characterized by an escarpment of 4 to 8 m high, bounded by the foothills of the moun-



- **Playa en el sector de 'Pozos Colorados'**

La delimitación en este sector se llevó a cabo a través de la fotointerpretación de las fotografías aéreas No. 022 del vuelo R- 725; 2123, 2124 y 2125 del vuelo R-602 y 131 del vuelo C-761 IGAC de los años 1975, 1967 y 1955 respectivamente, en las cuales se puede observar la franja correspondiente a playa (figura 9).

Esta playa se encuentra ubicada desde la parte Sur del cerro La Gloria hasta las inmediaciones del sector conocido como Playa Dormida. Hacia el Este se encuentra limitada por una amplia llanura costera. La playa presenta pendientes fuertes por lo que el tamaño del material corresponde a arenas medias a gruesas.



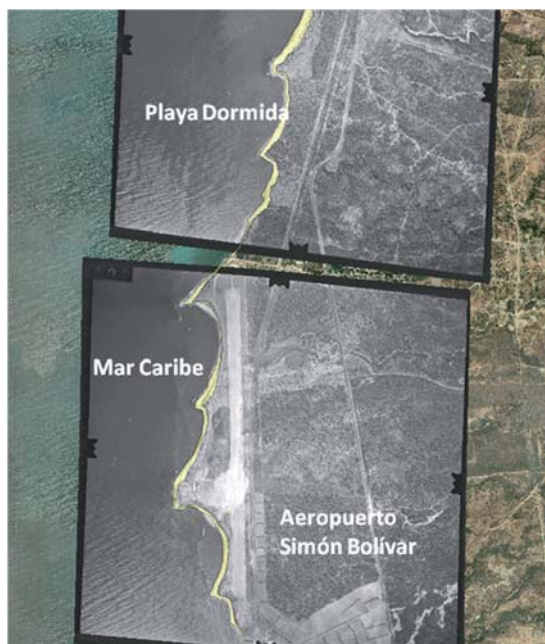
**Figura 9.** Franja de playa (zona en color amarillo) identificada sobre las fotografías No. 022 del vuelo R-725, 2123, 2124 y 2125 del vuelo R-602 y 131 del vuelo C-761 de los años 1975, 1967 y 1955 respectivamente, para el sector de Pozos Colorados.

- **Playas en el sector de 'Playa Dormida'**

La delimitación en este sector se llevó a cabo a través de la fotointerpretación de las fotografías aéreas No. 425 y 428 del vuelo C-796 IGAC del año 1956, en la cual se puede observar la franja correspondiente a playa (figura 10).

Esta playa se encuentra ubicada desde la parte Sur de Pozos Colorados hasta la parte Sur de la pista del aeropuerto Simón Bolívar. Igualmente hacia el Este, se

encuentra limitada por una amplia llanura costera. La playa también presenta pendientes fuertes por lo que el tamaño del material es de arenas medias a gruesas. Esta llanura se ha constituido en una unidad geomorfológica bastante considerable, caracterizada por un escarpe de 4 m de altura.



**Figura 10.** Franja de playa (zonas en color amarillo) identificada sobre las fotografías No. 425 y 428 del año 1956 para el sector de Playa Dormida.

- **Llanura costera**

Las llanuras costeras son amplias planicies ligeramente onduladas limitadas hacia el interior por lomas y colinas y hacia el mar, por la línea de costa. Su formación se debe a procesos fluvio-marinos de erosión y sedimentación.

La llanura costera del sector de Playa Salguero comienza con un escarpe de 2 a 4 m, el cual va perdiendo altura a medida que se acerca a la orientación de la línea de costa. Se extiende hasta las estribaciones del cerro La Gloria (figura 11), de tal forma que su desarrollo se debe principalmente a los aportes de material provenientes del cerro La Gloria y algunas contribuciones de material proveniente del río Gaira.

Para el sector de Pozos Colorados se encuentra una

tains that are in the area (figure 12). It shows slight furrows in the presence of bedrock outcrops and granular residual soils from the same rock. As for the sector of Simon Bolivar airport, it is located on oceanfront escarpment shows small terraces formed by coral and calcareous organisms identified as features from the abrasion platform.



**Figure 11.** Coastal Plain (green area) identified on the photographs No. 131 - 133 of flight C-791 in the year 1955 for Playa Salguero.



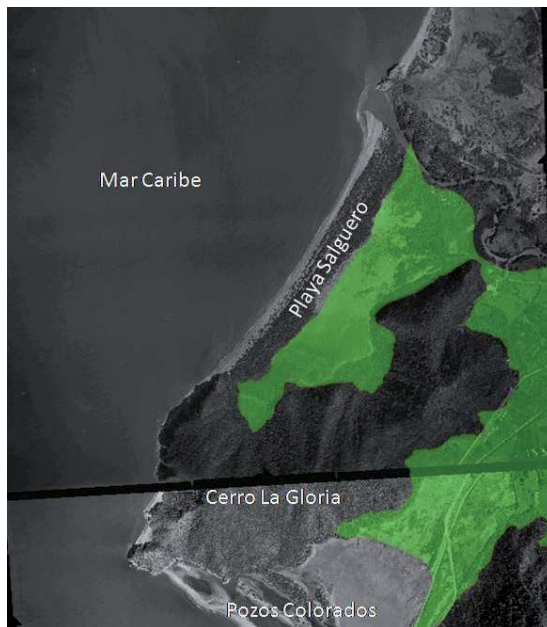
**Figure 12.** Coastal Plain (green) identified on the photograph No. 131 of flight C-791 in the year 1955 and photography No. 2124 of flight R-602 of the year 1967 for the Pozos Colorados area.

#### • Floodplain

Surfaces are horizontal or slightly inclined toward the low current of the adjacent river; its formation is due to fluvial processes or continuous torrential streams which descend from the hills.

A flood plain was outlined due to the presence of the Gaira River in the northern sector of Playa Salguero, which is a low expansion due to the wide area of impact of the passage of this current before reaching the sea (figure 13).

Llanura costera amplia, la cual se caracteriza por tener un escarpe de 4 a 8 m de altura, limitada por las estrificaciones de los cerros que se encuentran en la zona (figura 12). Presenta ligeras ondulaciones con presencia de afloramientos de lechos rocosos y suelos residuales granulados provenientes de la misma roca. Para el sector del aeropuerto Simón Bolívar, se encuentra en escarpe frente al mar que muestra pequeñas terrazas constituidas por coral y organismos calcáreos, que son identificados como rasgos provenientes de la plataforma de abrasión.



**Figura 11.** Llanura costera (zona en color verde) identificada sobre las fotografías No. 131 - 133 del vuelo C-791 del año 1955 para el sector de Playa Salguero.



**Figura 12.** Llanura costera (en color verde) identificada sobre la fotografía No. 131 del vuelo C-791 del año 1955 y la fotografía No. 2124 del vuelo R-602 del año 1967 para el sector de Pozos Colorados.

- **Llanura aluvial**

Son superficies horizontales o ligeramente inclinadas en dirección a la corriente baja del río adyacente; su formación se debe a procesos fluviales de corrientes continuas o torrenciales que descienden por las colinas.

Se delimitó una llanura aluvial debida a la presencia del río Gaira en el sector Norte de Playa Salguero, la cual es una extensión baja debido a la amplia zona de afectación del paso de esta corriente antes de llegar al mar (figura 13).



**Figure 13.** Wide alluvial plain (in blue) due to the presence of the Gaira River and different streams coming from the hills Cerro de la Gloria and Vuelta de la Escala, identified based on the 2008 orthophotomosaic.

• **Coastal lagoons**

Coastal lagoons are shallow water bodies which extend along the coast, fully or partially separated from the sea by a bar or spit, an area of mangroves, barrier reef or sandbar. These are areas of low energy with little influence of waves, and with a bottom made up of silt and clay.

In the area of Pozos Colorados, there are some coastal lagoons which were formed as a result of the closing of the bar which started to join the continent, as shown by aerial photographs of previous years. Currently, these lagoons have been reduced in size due a great deal of anthropic activity in the area, thereby causing the flooding zones reported in the literature on the area to disappear completely.

**Quantification of units and geomorphological features**

The digital representation of the geomorphological units allowed to quantify the extent of each of the landforms identified (table 2).

**Table 2.** Area ratio (expressed in Ha) of the geomorphological units identified in the survey area.

Geomorphological unit	Area (Ha)
Ridge and hill	235.24
Beach	180.80
Coastal Plain	704.41
Floodplain	15.21
Coastal lagoon	2.92
Water body	1.99

As for the trend of sediment distribution and characteristics of size, shape and texture, the results of the grain size analysis of samples taken in the sample pits by percentage of sand contained in the total sediment allowed to determine the muddy or sandy nature of the sedimentary material. The following statistical parameters were calculated: Md (mean diameter), Mz (mean),  $\sigma$  (standard deviation), Sk (skewness index), Kg (coefficient of angularity) and Ia (sand Index) of 33 sediment samples located in predefined sites in the survey area. The result showed that very well classified muddy sands and coarse grains predominate (table 3 and figure 14).



**Figura 13.** Amplia llanura aluvial (en color azul) debida a la presencia del rio Gaira y diferentes arroyos provenientes de los cerros La Gloria y Vuelta de La Escala, identificada con base en el ortofotomosaico del año 2008.

- **Lagunas costeras**

Se trata de cuerpos de agua someros que se extienden paralelos a la costa, separados total o parcialmente del mar por una barra o espiga, zona de manglar, arrecife barrera o banco de arena. Son áreas de baja energía con poca influencia del oleaje, con un fondo constituido de limos y arcillas.

En el sector de Pozos Colorados se presentan algunas lagunas costeras que se formaron como producto del cerramiento de la barra que se fue uniendo al continente, tal como lo muestran fotografías aéreas de años anteriores. En la actualidad, estas lagunas han venido reduciendo su tamaño debido a la gran actividad antrópica del sector, desapareciendo por completos las zonas de inundación que se reportaron en la bibliografía existente sobre el sector.

### Cuantificación de unidades y rasgos geomorfológicos

La representación digital de las unidades geomorfológicas permitió cuantificar la extensión de cada una de las geoformas identificadas (tabla 2).

**Tabla 2.** Relación del área (expresada en Ha) de las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio.

Unidad geomorfológica	Área (Ha)
Loma y colina	235.24
Playa	180.80
Llanura costera	704.41
Llanura aluvial	15.21
Laguna costera	2.92
Cuerpo de agua	1.99

En relación con la tendencia de la distribución sedimentaria y las características de tamaño, forma y textura, los resultados de los análisis granulométricos de las muestras tomadas en las trincheras, a través del porcentaje de arena contenida en el sedimento total, permitieron determinar la naturaleza lodosa ó arenosa del material sedimentario. Se calcularon los parámetros estadísticos Md (diámetro medio), Mz (promedio),  $\sigma$  (desviación estándar), Sk (índice de skewness), Kg (coeficiente de angulosidad) y el Ia (Índice de arena) de 33 muestras de sedimento localizadas en sitios predefinidos de la zona de estudio, resultando que predominan las arenas lodosas muy bien clasificadas y de granos gruesos (tabla 3 y figura 14).

**Table 3.** Description of sediments found in 33 samples taken in the survey area.

Sample pit	Description of sediment	Sample pit	Description of sediment
TRI01	Coarse sands ( $Mz = 0.89 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve is almost symmetric. The frequency histogram shows a mesokurtic shape (normal curve). Sandy Index is 75.97% and 24.03% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI20	Coarse sands ( $Mz = 0.78 (\phi)$ ) extremely ill-sorted. Their size distribution curve has a positively skewed with a predominance of fine grains and better classification of thicknesses. The frequency histogram is very platykurtic (very flat curve). Sandy Index 85.13% and 14.87% of mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI02	Fine sands ( $Mz = 2.07 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly coarse - grained, with better classification of fine sediments. The frequency histogram has a platykurtic shape (flat curve). High index sand (94.98%).	TRI21	Muds, ( $Mz = 46.65 (\phi)$ ) extremely poorly sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of coarse sediments. The frequency histogram shows a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index 68.41% and 31.59% of mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI03	Fine sands ( $Mz = 2.08(\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive asymmetry with predominance of fine grains and better classification of coarse sediments. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index 81.86% and 18.14% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI22	Fine sands ( $Mz = 2.13(\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry, predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram shows a mesokurtic shape (normal curve). High sandy index (97.47%).
TRI04	Muds, ( $Mz = 34.31 (\phi)$ ) extremely ill-sorted. Its size distribution curve has positive skew, predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sand Index 50.93% 49.07% and percentage of sludge, which corresponds to a sandy mud.	TRI23	Coarse sands ( $Mz = 0.62 (\phi)$ ) extremely poorly sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram shows a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index 50.03% and 49.97% of mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI05	Muds, ( $Mz = 233.31 (\phi)$ ) extremely poorly sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index 64.49% and 35.51% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI24	Fine sands ( $Mz = 2.43 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve presents a good classification of thick and skewed to the fines. The frequency histogram has a leptokurtic shape (angled curve). High sandy index (99.75%).

**Tabla 3.** Descripción de los sedimentos encontrados en 33 muestras tomadas en la zona de estudio.

Trinchera	Descripción del sedimento	Trinchera	Descripción del sedimento
TRI01	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.89 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica es prácticamente asimétrica. El histograma de frecuencias presenta una forma mesocúrtica (curva normal). Índice arenoso 75.97% y 24.03% de lodo, lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI20	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.78 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta una asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias es de una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 85.13% y 14.87% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.
TRI02	Arenas finas, ( $Mz = 2.07 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos, con una mejor clasificación de sedimentos finos. El histograma de frecuencias tiene una forma platicúrtica (curva aplanada). Alto índice arenoso (94,98%).	TRI21	Lodos, ( $Mz = 46.65 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de sedimentos gruesos. El histograma de frecuencias presenta una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso de 68.41% y 31.59% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.
TRI03	Arenas finas, ( $Mz = 2.08 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de sedimentos gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 81.86% y 18.14% de lodo, lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI22	Arenas Finas, ( $Mz = 2.13 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias presenta una forma mesocúrtica (curva normal). Alto índice arenoso (97.47%).
TRI04	Lodos, ( $Mz = 34.31 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificados. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice de arena de 49.07% y 50.93% de porcentaje de lodos, lo cual corresponde a un lodo arenoso.	TRI23	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.62 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias presenta una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 50.03% y 49.97% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.
TRI05	Lodos, ( $Mz = 233.31 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 64.49% y 35.51% de lodo, lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI24	Arenas Finas, ( $Mz = 2.43 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta una buena clasificación de gruesos y asimétrica hacia los finos. El histograma de frecuencias tiene una forma leptocúrtica (curva angulosa). Alto índice arenoso (99.75%).

Sample pit	Description of sediment	Sample pit	Description of sediment
TRI06	Coarse sands ( $Mz = 0.82 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of thicknesses. The frequency histogram is an extremely leptokurtic shape (extremely angled curve). Sandy Index 85.39% and 14.61% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI25	Medium sands ( $Mz = 1.41 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). High sandy index (90.18%).
TRI07	Medium sands ( $Mz = 1.72 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly coarse-grained and better classification of fines. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index 69.80% and 30.2% sludge which corresponds to a muddy sand.	TRI26	Coarse sands ( $Mz = 0.91 (\phi)$ ) very well sorted. In its granulometric distribution curve, mode corresponds to the median with balanced distribution. The frequency histogram has a platykurtic shape (flat curve). Sandy Index 80.05% and 19.95% of mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI08	Gravels ( $Mz = -21.35 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of coarse grain. The frequency histogram is a platykurtic shape (flat curve). Sandy Index 58.45% and 41.55% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI27	Fine sands ( $Mz = 2.16 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). High sandy index (95.32%), corresponding to a sediment type sand.
TRI10	Medium sands ( $Mz = 1.25 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry with predominance of coarse grains with better classification of fine sediments. The frequency histogram is an extremely leptokurtic (extremely angled curve). Sandy Index 78.53% and 21.47% of mud, which corresponds to a muddy sand.	TRI28	Coarse sands ( $Mz = 0.00 (\phi)$ ) extremely poorly sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic (very flat curve). Sandy Index 84.73% and 15.27% mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI12	Coarse sands ( $Mz = 0.65 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive asymmetry with predominance of small grains and a better classification of thicknesses. The frequency histogram has a leptokurtic shape (angled curve). High rate sand (93.58%), corresponding to a sediment type sand.	TRI30	Gravels ( $Mz = -115.16 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). A sandy index of 60.19% and 30.81% of mud which corresponds to a muddy sand.
TRI12A	Medium sands ( $Mz = 1.70 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry, predominantly coarse-grained with a good classification of fine sediments. The frequency histogram has a mesokurtic shape (normal curve). High sandy index (99.64%), corresponding to a sediment type sand.	TRI32	Medium sands ( $Mz = 1.92 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). High sandy index (99.83%), corresponding to a sediment type sand.



Trinchera	Descripción del sedimento	Trinchera	Descripción del sedimento
TRI06	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.82 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma extremadamente leptocúrtica (curva extremadamente angulosa). Índice arenoso 85.39% y 14.61% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI25	Arenas Medias, ( $Mz = 1.41 (\phi)$ ), Muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Alto índice arenoso (90.18%).
TRI07	Arenas Medias, ( $Mz = 1.72 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 69.80% y 30.2% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI26	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.91 (\phi)$ ), muy bien clasificada. En su curva de distribución granulométrica, la moda corresponde a la mediana con una distribución equilibrada. El histograma de frecuencias presenta una forma platocúrtica (curva aplanada). Índice arenoso de 80.05% y 19.95% de lodo, lo que corresponde a una arena lodosa.
TRI08	Gravas, ( $Mz = -21.35 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de granos gruesos. El histograma de frecuencias es de forma platocúrtica (curva aplanada). Índice arenoso 58.45% y 41.55% de lodo, lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI27	Arenas Finas, ( $Mz = 2.16 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Alto índice arenoso (95.32%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.
TRI10	Arenas Medias, ( $Mz = 1.25 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos con mejor clasificación de sedimentos finos. El histograma de frecuencias tiene una forma extremadamente leptocúrtica (curva extremadamente angulosa). Índice arenoso 78.53% y 21.47% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI28	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.00 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 84.73% y 15.27% de lodo lo que corresponde a una arena lodosa.
TRI12	Arenas Gruesas, ( $Mz = 0.65 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y una mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma leptocúrtica (curva angulosa). Alto índice arenoso (93.58%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.	TRI30	Gravas, ( $Mz = -115.16 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Presenta un índice arenoso de 60.19% y 30.81% de lodo, lo cual corresponde a una arena lodosa.
TRI12A	Arenas Medias, ( $Mz = 1.70 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos con una buena clasificación de sedimentos finos. El histograma de frecuencias tiene una forma mesocúrtica (curva normal). Alto índice arenoso (99.64%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.	TRI32	Arenas Medias, ( $Mz = 1.92 (\phi)$ ), Muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platocúrtica (curva muy aplanada). Alto índice arenoso (99.83%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.

Sample pit	Description of sediment	Sample pit	Description of sediment
TRI14	Medium sands ( $Mz = 1.95 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram is an extremely leptokurtic shape (extremely angled curve). Sandy index of 82.29% and 17.71 sandy mud which corresponds to a muddy sand.	TRI33	Medium sands ( $Mz = 1.44 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly coarse-grained and better classification of fines. The frequency histogram has a leptokurtic shape (angled curve). High rate sand (94.03%), corresponding to a sediment type sand.
TRI15	Medium sands ( $Mz = 1.40 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram has a leptokurtic shape (angled curve). High sandy index (93.34%), corresponding to a sediment type sand.	TRI34	Medium sands ( $Mz = 1.74 (\phi)$ ) very well sorted. In its granulometric distribution, mode corresponds to the median and presents a balanced distribution. The frequency histogram has a mesokurtic shape (normal curve). High sandy index (99.50%), corresponding to a sediment type sand.
TRI16	Muds, ( $Mz = 49.38 (\phi)$ ) extremely ill-sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram is very platykurtic (very flat curve). Sandy Index of 17.83% and 82.17% of mud, which corresponds to a sandy mud.	TRI36	Fine sands ( $Mz = 2.19 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram is a platykurtic shape (flat curve). High sandy index (99.71%), corresponding to a sediment type sand.
TRI17	Medium sands ( $Mz = 1.79 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index of 70.29% and 29.71% of mud which corresponds to a muddy sand.	TRI38	Fine sands ( $Mz = 2.17 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with fine grain and better classification of thicknesses. The frequency histogram is a platykurtic shape (flat curve). High sandy index (99.34%), corresponding to a sediment type sand.
TRI18	Fine sands ( $Mz = 2.09 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has negative asymmetry predominantly with coarse grain and better classification of fines. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). High sandy index (99.03%), corresponding to a sediment type sand.	TRI39	Gravels ( $Mz = -64.89 (\phi)$ ) very well sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly fine-grained and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a platykurtic shape (flat curve). Sandy Index of 53.68% and 46.32% of mud, which corresponds to a muddy sand.
TRI19	Muds, ( $Mz = 149.66 (\phi)$ ) extremely poorly sorted. Their size distribution curve has positive skew predominantly with coarse grain and better classification of thicknesses. The frequency histogram has a very platykurtic shape (very flat curve). Sandy Index of 74.14% and 25.86% of mud, which corresponds to a muddy sand.		

Trinchera	Descripción del sedimento	Trinchera	Descripción del sedimento
TRI14	Arenas Medias, ( $Mz = 1.95 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma extremadamente leptocúrtica (curva extremadamente angulosa). Índice arenoso 82.29% y 17.71 de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI33	Arenas Medias, ( $Mz = 1.44 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma leptocúrtica (curva angulosa). Alto índice arenoso (94.03%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.
TRI15	Arenas Medias, ( $Mz = 1.40 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma leptocúrtica (curva angulosa). Alto índice de arena de (93.34%), lo que corresponde a un sedimento tipo Arena.	TRI34	Arenas Medias, ( $Mz = 1.74 (\phi)$ ), muy bien clasificada. En su curva de distribución granulométrica la moda corresponde a la mediana y presenta una distribución equilibrada. El histograma de frecuencias tiene una forma mesocúrtica (curva normal). Alto índice arenoso (99.50%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.
TRI16	Lodos, ( $Mz = 49.38 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias es de forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 17.83% y 82.17% de lodo lo cual corresponde a un lodo arenoso.	TRI36	Arenas Finas, ( $Mz = 2.19 (\phi)$ ), Muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias es de forma platicúrtica (curva aplanada). Alto índice arenoso (99.71%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.
TRI17	Arenas Medias, ( $Mz = 1.79 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 70.29% y 29.71% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.	TRI38	Arenas Finas, ( $Mz = 2.17 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias es de forma platicúrtica (curva aplanada). Alto índice arenoso (99.34%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.
TRI18	Arenas Finas, ( $Mz = 2.09 (\phi)$ ), muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría negativa con predominio de granos gruesos y mejor clasificación de finos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Alto índice arenoso (99.03%), lo que corresponde a un sedimento tipo arena.	TRI39	Gravas, ( $Mz = -64.89 (\phi)$ ), Muy bien clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma platicúrtica (curva aplanada). Índice arenoso 53.68% y 46.32% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.
TRI19	Lodos, ( $Mz = 149.66 (\phi)$ ), exageradamente poco clasificada. Su curva de distribución granulométrica presenta asimetría positiva con predominio de granos finos y mejor clasificación de gruesos. El histograma de frecuencias tiene una forma muy platicúrtica (curva muy aplanada). Índice arenoso 74.14% y 25.86% de lodo lo cual corresponde a una arena lodosa.		

In connection with the extension of coastal property for public goods under the jurisdiction of DIMAR in the survey area, it has been established that 180.80 Ha correspond to beaches, 15,14 Ha corresponds to intertidal zones, and 20,60 Ha correspond to the 50 m jurisdiction fringe, for a total of 184,15 Ha of public use goods under the jurisdiction of DIMAR.

## DISCUSSION

As mentioned above, the coastline is a dynamic and complex space, and thus it must be well understood in order to exert effective control and management. The need to quantify is essential given the general understanding of a system is connected with the ability to define the elements in the problem. In this regard, the role of the use of any technique is that of allowing the

variables involved to be quantified in a consistent, rigorous and precise, aided by use of valid instruments [13]. Along these lines of thought, the techniques of remote sensing, Geographic Information System (GIS) and in general spatial information must be understood as an opportunity for advancement in the field of coastal resource management, where the GIS technology, for example, has demonstrated unparalleled advantages [14].

In this regard, the conjoint use of metric aerial photography, digital orthophotography and geomorphological analysis, allowed to establish that the survey area is mainly composed of coastal plains, followed by a long stretch of ridges and hills with significant places such as Cerro de la Gloria and Vuelta de la Escala, and two large fringes of beach, Salguero and Pozos Colorados.



**Figure 14.** Location of the sample pits made for taking sediment samples in the survey area (the numbering is not continuous).

Besides other natural environments, beaches fall within the so-called coastal public goods (D. L. 2324 of 1984). Given on the one hand their status as a public use good, and on the other hand their particular physical – biotic features, beaches are object of special attention, and therefore careful control and management by the National Maritime Authority.

In this sense, the aerial photographs of the Instituto Geográfico Codazzi (IGAC) of 1955 at Playa Salguero and in the years 1967 and 1975, respectively, in the Pozos Colorados area, allowed to clearly see that these were fringes of beach between rocky headlands, with a very low level of anthropic intervention (figure 15). Meanwhile, digital orthophotos of the year 2008 show that in both areas there has been an accelerated process of anthropic intervention which has been gradually taking up space on the beach for the construction of buildings for tourism purposes (figures 8 and 13).

In the case of the area known as Pozos Colorados, IGAC aerial photographs of the years 1955 and 1975, allowed to further observe clearly the presence of depositional forms, specifically a beach bar generated by marine dynamics and transport sediments [15] [16], due to the diffraction of waves in the area known as Punta Gloria, which closed a large coastal lagoon as the bar came closer to the continent (figure 16). Meanwhile, the orthophotos of 2008 clearly show the intervention

En relación con la extensión de los bienes de uso público costeros bajo la jurisdicción de la DIMAR en el área de estudio, se estableció que 180.80 Ha corresponden a playas, 15.14 Ha a terrenos de bajamar y 20,60 Ha a la franja de 50 metros de jurisdicción, para un total de 184.15 Ha de bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR.

## DISCUSIÓN

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 lograr su efectivo control y administración. La necesidad de cuantificar es esencial, dado que el entendimiento general de un sistema está conectado con la habilidad para definir los elementos contenidos en ese problema. En este sentido, el papel de la utilización de una técnica cualquiera es permitir

que las variables involucradas puedan ser cuantificadas de una forma consistente, rigurosa y precisa con la utilización de instrumentos válidos [13]. De esta forma, las técnicas de sensoramiento remoto, el Sistema de Información Geográfica (SIG) y en general, la información espacial, deben ser entendidas como una oportunidad para el avance en el campo del manejo de los recursos litorales, en donde, la tecnología SIG, por ejemplo, ha demostrado ventajas sin precedentes [14].

A este respecto, la utilización en forma conjunta de fotografía aérea métrica, ortofotografía digital y análisis geomorfológico, permitió establecer que el área de estudio se encuentra compuesta principalmente por llanuras costeras, seguida de una franja extensa de lomas y colinas con cerros importantes como La Gloria y Vuelta de la Escala y dos grandes franjas de playa, Salguero y Pozos Colorados.

Las playas, aparte de otros ambientes naturales, están comprendidos dentro de los llamados bienes de uso públicos costeros (D.L. 2324 de 1984). Dada por una parte, su condición jurídica de bien de uso público y por otra, sus características físico-bióticas particulares, las playas son objeto de especial atención y por lo tanto, de un cuidadoso control y administración por parte de la Autoridad Marítima Nacional.

En este sentido, las fotografías aéreas del Instituto Geográfico Codazzi (IGAC) del año 1955 en el sector de Playa Salguero y de 1967 y 1975 en el sector de Pozos Colorados respectivamente, permitieron apreciar claramente que se trataban de unas franjas de playa comprendidas entre promontorios rocosos, con un muy bajo nivel de intervención antrópica (figura 15). Entre tanto, las ortofotografías digitales del año 2008 muestran, en ambos sectores, un acelerado proceso de intervención antrópica en el que se ha venido, paulatinamente ocupando espacio de playa para la construcción de edificaciones con fines turísticos (figuras 8 y 13).

Para el caso del sector conocido como Pozos Colorados, las fotografías aéreas del IGAC de los años 1955 y 1975, permitieron adicionalmente, observar de forma clara la presencia de formas depositacionales, específicamente de una barra de playa generada por la dinámica marina y el transporte de sedimentos [15] [16], producto de la difracción del oleaje en el sitio conocido como Punta Gloria, que encerró una gran laguna costera a medida que la barra se fue aproximando al continente (figura 16). Entre tanto, las ortofotografías del año 2008, muestran claramente la intervención y eliminación de



**Figura 14.** Localización de las trincheras efectuadas para la toma de muestras de sedimento en el área de estudio (la numeración no es continua).

and suppression of the lagoon as a result of anthropic activity for the construction of housing for tourism in this area (figures 6 and 9).

Additionally, the slope of the land obtained from LiDAR sensor data showed that it is a group of flat terrains (0 to 13.5°) which are susceptible to natural hazards such as the rise of sea level and flooding by tidal effects, among others. Thus, if data are available on the average height of sea level in this area (data sets with statistical significance), it is possible to estimate the extent of flood plains by increases in sea level presets (for example 25 or 50 cm) based on the digital terrain model derived from LiDAR data, and make the corresponding estimate of population and physical infrastructure potentially affected.

Another interesting sector of the survey area corresponds to the alluvial plain which was identified based on the DTM and formed by sediment transported by the Gaira River and runoff from the surrounding mountains (La Gloria and Vuelta de la Escala). Recently, at the end of 2010, the area formed by the plain was affected by the intense winter which occurred in the country. The River's full bench levels were exceeded, causing flooding and consequent damage to material assets and the local population.

These situations, the one at Playa Salguero, the one at the Pozos Colorados and the flood plain of the Gaira River described above, technically demonstrate that this area has beach zones which are under the influence of the marine dynamics of the place and the areas under the influence of fluvial activity. These areas should be taken into account in the formulation of strategies and actions to control and manage these coastal zones and river by the National Maritime Authority and the environmental authorities with jurisdiction in the study area. Thus, the use of these forms of remote sensing (aerial photography and airborne LiDAR scanner) and the geomorphological classification carried out contribute, first, to the search for explanations for the phenomena which have occurred in this coastal area of the department of Magdalena, and in turn form the technical basis to carry out proper control and management of these coastal zones in Colombia, especially in the work of building control and risk management estimation due to natural phenomena such as those mentioned above.



**Figure 15.** Aerial photograph No. 133, flight IGAC C-761 in 1955, clearly shows the Playa Salguero area with low anthropic intervention.



**Figure 16.** Aerial photograph No. 22, flight R-725 of 1975, where the union of the sand bar to the continent can be observed in the Pozos Colorados area, forming the beach fringe and coastal lagoon.

la laguna como resultado de la actividad antrópica para la construcción de vivienda con fines turísticos en este sector (figuras 6 y 9).

Complementariamente, la pendiente del terreno obtenida de los datos del sensor LiDAR, mostró que se trata de terrenos planos (0 a 13.5°) que son susceptibles a riesgos de origen natural como el ascenso del nivel medio del mar o inundaciones por efectos de marea, entre otros. De esta forma, en la medida en que se disponga de datos sobre la altura del nivel medio del mar en este sector (series de datos con significado estadístico), es posible con base en el Modelo Digital del Terreno proveniente de los datos LiDAR, estimar la extensión de las planicies de inundación por ascensos preestablecidos del nivel del mar (por ejemplo 25 ó 50 cm) y efectuar la correspondiente estimación de población e infraestructura física potencialmente afectada.

Otro sector interesante del área de estudio, corresponde a la llanura aluvial que se identificó con base en el MDT y conformada por los sedimentos transportados por el río Gaira y la escorrentía de los cerros aledaños (La Gloria y Vuelta de La Escala). Recientemente, a finales del año 2010, la zona conformada por la llanura, se vio afectada por la intensa ola invernal ocurrida en el país. Los niveles de banca llena del río fueron superados ampliamente, causando las consecuentes inundaciones y la afectación de los bienes materiales y la población del lugar.

Estas situaciones, tanto la del sector de Playa Salguero como la de Pozos Colorados y la de la llanura aluvial del río Gaira, anteriormente descritas y que establecen técnicamente que se trata de zonas de playa sometidas a la influencia de la dinámica marina del lugar y sectores bajo la influencia de la actividad fluvial, deben tomarse en cuenta dentro de las formulaciones de estrategias y acciones de control y administración de estas franjas litorales y fluviales por parte de la Autoridad Marítima Nacional y de las Autoridades Ambientales con jurisdicción en la zona de estudio. Así, la utilización de estas formas de sensoramiento remoto (fotografía aérea y escáner aerotransportado LiDAR) y la clasificación geomorfológica efectuada, contribuyen, por una parte, a la búsqueda de explicaciones sobre los fenómenos que han ocurrido en esta zona litoral del departamento del Magdalena y que a su vez, conforman la fundamentación técnica para llevar a cabo un adecuado control y administración de estas franjas litorales colombianas, especialmente en los labores de control de construcciones y estimación y gestión del riesgo por fenómenos naturales tales como los mencionados anteriormente.



**Figura 15.** Fotografía aérea No. 133, vuelo IGAC C-761 de 1955, en donde se observa claramente el sector de Playa Salguero con una escasa intervención antrópica.



**Figura 16.** Fotografía aérea No. 22, vuelo R-725 de 1975, en donde se observa la unión de la espiga con el continente en el sector de Pozos Colorados, formando la barra de playa y la laguna costera indicada en la figura.

Additionally, amongst the advantages of using aerial photographs and remote sensing techniques such as LiDAR, there is the increased efficiency of field work by reducing time and costs, allowing large or difficult access areas to be analyzed more quickly and easily, providing technical support information for control and management by the National Maritime Authority. In addition to the above, one of the most notable advantages of using LiDAR data is its high density of points. In the case of this study, the average LiDAR data density (keypoints or bare soil) is 4 to 5 points/m<sup>2</sup> and the quadratic error of the position in the Z (ellipsoidal height) is about 30 cm, which allows for digital terrain models of good accuracy and reliability for the representation of landforms in the survey area.

A similar spatial information application for coastal management and decision - making, was successfully implemented at the beginning of 2000, in specific sectors of Tampa Bay area by the mapping and GIS laboratory at the University of Ohio in United States [17]. Similar to this study, they used spatial information from various sources among which are instrumental data of water levels, bathymetry data, Digital Terrain Models, aerial photographs and data collected with GPS technology.

Another similar application based on spatial coastline information (orthophotos and topographic maps, mainly), was developed by the Office of Spatial Data Infrastructure of Catalonia, in Spain, to provide the various users of information, access to it for evaluation and implementation of policies and management measures, especially towards the mitigation of erosion [18].

A similar application to the one used in this research was developed in South Africa, which consisted of the creation of a database located on the beach huts, with information about the owner, neighbors and details, allowing to locate them spatially [19].

On the other hand, in Nicaragua (more specifically in the Nicaraguan Institute of Territorial Studies (INETER – from its original Spanish language initials - Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales), work is currently being developed with digital orthophotography, which is the result of the implementation of a new production technology recently installed in this study in order to advance parcel or cadastral surveys. The advantage with this kind of technology is that it has provided a direct view of objects in the field, providing enormous potential for application in planning development in both rural and urban centers [20].

Other researchers [3] used aerial photographs of high spatial resolution (scale 1:3000) and GIS to characterize, map and assess the impact of anthropic activity in the coastal region of British Columbia in Canada. This application was successful for the delimitation of the extent of anthropic activities on this sector of the coast, as well as to visualize and evaluate the impact of industries and their effect on the distribution of birds in this area.

Finally, the availability of spatial information and related geomorphological information related to the public use goods of the coastline is a highly effective technical support in the process of making decisions about control and management. Thus, the decisions which are taken as National Maritime Authority through the different administrative figures currently available, have the technical support of this type of spatial information, thus avoiding improvisation and biases in decision making, providing transparency to the process of decision – making, moreover taking into account the fact that proper control and management of coastal areas is the basis for the reduction of conflicts between public and private actors in these areas of the Colombian Caribbean coast.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their sincere thanks to the Maritime Development Branch of the General Maritime Direction for their support in providing digital orthophotos and LiDAR data and the staff of the Coastal Office of the Port Authority of Santa Marta, for their support with the oblique aerial photographs of the survey area of this research.

## BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- [1] Rodríguez I, Montoya I, Sánchez M, Carreño F. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology* 17: 100-105. 2009.
- [2] Pinho L. The role of maritime public domain in the Portuguese coastal management. *Journal of Coastal Conservation* (on line). 2007.
- [3] Bendell L, Wan Peter. Application of aerial photography in combination with GIS for coastal management at small spatial scales: a case study of shellfish aquaculture. *Journal of Coastal Conservation* (on line). 2010.



Adicionalmente, entre las ventajas de la utilización de fotografías aéreas y de técnicas de sensoramiento remoto como el LiDAR, se cuenta el incremento en la eficiencia del trabajo de campo a través de la disminución del tiempo y costos, permitiendo que grandes áreas o zonas de difícil acceso, puedan ser analizadas más rápida y fácilmente, aportando información de sustento técnico para su control y administración por parte de la Autoridad Marítima Nacional. Adicional a lo anterior, una de las ventajas más notorias de la utilización de los datos LiDAR es su alta densidad de puntos. En el caso del presente estudio, la densidad promedio de datos LiDAR (Keypoints o suelo descubierto) es de 4 a 5 puntos/m<sup>2</sup> y el error cuadrático de la posición en la coordenada Z (altura elipsoidal) es del orden de 30 cm, lo que permite contar con modelos digitales del terreno de buena exactitud y confiabilidad para la representación de las formas del terreno en el área de estudio.

Una aplicación similar de información espacial para el manejo costero y la toma de decisiones, fue implementada exitosamente durante el inicio 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 [17]. 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 del Terreno, 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 [18].

En Sudáfrica 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 [19].

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 levan-

tamientos 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 [20].

Otros investigadores [3], utilizaron fotografías aéreas de alta resolución espacial (escala 1:3000) y SIG para caracterizar, mapear y evaluar las consecuencias de la actividad antrópica en la región costera de British Columbia en Canadá. Esta aplicación fue exitosa para la delimitación de la extensión de las actividades antrópicas sobre este sector del litoral, así como también para visualizar y evaluar el impacto de las industrias y su efecto en la distribución de las aves en esta zona.

Finalmente, la disponibilidad de la información espacial y geomorfológica relacionada con los bienes de uso público del litoral, constituye un soporte técnico de gran efectividad en el proceso de toma de decisiones sobre su control y administración. De esta forma, las decisiones que se tomen 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 y más aún, teniendo en cuenta que el adecuado control y administración de los litorales, es la base para la reducción de conflictos entre los actores públicos y privados en estas zonas del litoral Caribe colombiano.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a la Subdirección de Desarrollo Marítimo de la Dirección General Marítima por su apoyo en el suministro de las ortofotografías digitales y los datos LiDAR y al personal de la Oficina de Litorales de la Capitanía de Puerto de Santa Marta, por su apoyo con las fotografías áreas oblicuas de la zona de estudio de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rodríguez I, Montoya I, Sánchez M, Carreño F. Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology* 17: 100-105. 2009.

- [4] Pereira R, Jiménez J, Medeiros C, da Costa R. Use and occupation of Olinda litoral (NE, Brazil): Guidelines for an Integrated Coastal Management. *Environmental Management*. 40: 210-218. 2007.
- [5] Longhorn R. Coastal Spatial Data Infrastructure. GIS for Coastal Zone Management. 2001.
- [6] 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.
- [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] Marriaga, L. Physical-biotic characterization of the coastline of the Magdalena region (Caracterización físico-biótica del litoral del departamento del Magdalena). In: DIMAR - CIOH. 2009. Physical-biotic Colombian Caribbean coast. Volume I. General Maritime-Center for Oceanographic and Hydrographic Research. DIMAR Ed, Special Publications CIOH Series Vol 1. Cartagena de Indias, Colombia. pp 154.
- [10] PRESIDENCY OF THE REPUBLIC OF COLOMBIA. Decree 2324 of 1984.
- [11] Laborde F, Torres R, Gomez J, Gutierrez J. LIDAR and digital aerial photography in determining the impact of the rise in mean sea level in the field of "La Boquilla", Cartagena, Colombian Caribbean (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). *CIOH Scientific Bulletin*. 2006, 24: 94-106.
- [12] Van Zuidam R. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Ed. Smits Publisher. The Hague. 1986.
- [13] Goudie A. *Geomorphological Techniques*. British Geomorphological Research Group. Routledge. Taylor & Francis Group. 1990.
- [14] 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.
- [15] Hugget R. *Fundamentals of geomorphology*. Routledge. Taylor & Francis Group. 2007.
- [16] Arnott R. *An introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press. 2009.
- [17] Li R. Integration of multi-source spatial information for coastal management and decision making. Mapping and GIS Laboratory. The Ohio State University. Columbus. 2004.
- [18] Guimet J. Coastal management in Catalonia. Case study. Spatial Data Infrastructure of Catalonia. Catalonia, España. 2005.
- [19] 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.
- [20] Nicaraguan Institute of Territorial Studies. The new technology of the Nicaragua Institute of Territorial Studies (La nueva tecnología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). *International Journal of Earth Sciences*. 1999.

- [2] Pinho L. The role of maritime public domain in the Portuguese coastal management. *Journal of Coastal Conservation* (on line). 2007.
- [3] Bendell L, Wan Peter. Application of aerial photography in combination with GIS for coastal management at small spatial scales: a case study of shellfish aquaculture. *Journal of Coastal Conservation* (on line). 2010.
- [4] Pereira R, Jiménez J, Medeiros C, da Costa R. Use and occupation of Olinda litoral (NE, Brazil): Guidelines for an Integrated Coastal Management. *Environmental Management*. 40: 210-218. 2007.
- [5] Longhorn R. Coastal Spatial Data Infrastructure. GIS for Coastal Zone Management. 2001.
- [6] 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.
- [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] Marriaga, L. Caracterización físico-biótica del litoral del departamento del Magdalena. *En: DIMAR-CIOH*. 2009. Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano. Tomo I. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Ed. DIMAR, Serie Publicaciones especiales CIOH Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia. 154 Pp.
- [10] PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto Ley 2324 de 1984.
- [11] 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.
- [12] Van Zuidam R. Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Ed. Smits Publisher. The Hague. 1986.
- [13] Goudie A. Geomorphological Techniques. British Geomorphological Research Group. Routledge. Taylor & Francis Group. 1990.
- [14] 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.
- [15] Hugget R. Fundamentals of geomorphology. Routledge. Taylor & Francis Group. 2007.
- [16] Arnott R. *An introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press. 2009.
- [17] Li R. Integration of multi-source spatial information for coastal management and decision making. Mapping and GIS Laboratory. The Ohio State University. Columbus. 2004.
- [18] Guimet J. Coastal management in Catalonia. Case study. Spatial Data Infrastructure of Catalonia. Catalonia, España. 2005.
- [19] 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.
- [20] INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES. La nueva tecnología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. 1999.