

Descripción fisiográfica de la Isla de San Andres: aproximación inicial al entendimiento integral de la problemática erosiva

Physiographic description of San Andres Island : initial approach to the comprehensive understanding of the erosion problem

Fecha de recepción:2013-10-01 / Fecha de aceptación: 2013-11-01

Johanna Paola Echeverry Hernández¹ y Leonardo Marriaga Rocha²

¹ **Universidad Nacional de Colombia**, Facultad de Ciencias Humanas, Maestría en Geografía con énfasis en amenazas y riesgos naturales e inducidos antrópicamente. Correo electrónico: jpecheverryh@unal.edu.co

² **Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe**, Grupo de Investigación Zona Costera. Barrio Bosque, Isla Manzanillo, Escuela Naval Almirante Padilla Cartagena, Colombia. Correo electrónico: lmarriaga@dimar.mil.co

Echeverry Hernández, J.P. y Marriaga Rocha, L. 2013. Descripción fisiográfica de la Isla de San Andrés: aproximación inicial al entendimiento integral de la problemática erosiva. Bol. Cient. CIOH(31):49-72

RESUMEN

La descripción de las condiciones fisiográficas de San Andrés, se elaboró con base en la recopilación, integración y análisis de diversos estudios que permitieron conocer sus orígenes, conformación y desarrollo. Por otro lado, con base en información primaria, constituida principalmente por datos batimétricos y fotografías aéreas georeferenciadas, se analizó la configuración morfológica actual del fondo marino que la rodea y los cambios presentados en su línea de costa en un lapso de 56 años. En este estudio se establecen, entre otras cosas, las especies vegetales dominantes, las unidades geomorfológicas y la conformación geológica que definen la isla, las características de los suelos que la componen así como los usos que sobre éstos se han establecidos producto de la antropización que ha sufrido en los últimos 50 años, la forma y composición del fondo marino y las variaciones en la línea de costa presentadas principalmente en el costado este de la isla, así como sus posibles causas.

Palabras clave: morfología submarina, línea de costa, Oceanografía, uso del suelo, cobertura vegetal, Geología, Geomorfología, suelos.

ABSTRACT

The description of the physiographic conditions of San Andrés, was prepared based on the collection, integration and analysis of several studies which allowed to know its origins, development and conformation. Furthermore, based on primary data, consisting mainly of bathymetric data and georeferenced aerial photographs was analyzed present morphological configuration of the seabed that surrounds it and the changes presented in its coastline over a period of 56 years. In this study was established, among other things, the dominant plant species, the geomorphological units and geological conformation that define the island, the soil characteristics that compose it and the uses of these have been established result of anthropization that has suffered in the past 50 years, the shape and composition of the seabed and the variations in the coastline presented mainly in the east side of the island, and their possible causes.

Key Words: submarine morphology, shoreline, Oceanography, land use, vegetation, Geology, Geomorphology, soils.

INTRODUCCIÓN

La Isla de San Andrés está ubicada en el Noroccidente del Mar Caribe colombiano, en el llamado Archipiélago de San Andrés y Providencia, entre las coordenadas 12°28'55" y 12°35'37" latitud Norte y 81°40'49" y 81°43'23" longitud Oeste. Su forma es alargada en sentido norte-sur con algo de inclinación hacia el este, y su superficie es aproximadamente de 27 Km². Con respecto a Cartagena de Indias, ciudad continental más próxima, la Isla se encuentra aproximadamente a 750 Km, encontrándose en la posición geográfica más resguardada que el resto de las islas del Caribe, como se aprecia en la figura 1.

Geológicamente, la Isla es producto de la formación de corales alrededor de un cono volcá-

nico que se hundió dejando un anillo coralino, conocido como atolón. Posteriormente se inició una acumulación de sedimentos en la parte central del anillo constituyendo un islote que, gracias a movimientos tectónicos del Plioceno, afloró de forma oblicua. Más recientemente, las nuevas formaciones arrecifales moldeadas por acción de la erosión configuraron la isla actual. [1].

El presente artículo pretende presentar una descripción de la isla, basada en una revisión de la información existente, en los aspectos de uso del suelo, cobertura vegetal, geología, geomorfología evolución de la línea de costa y configuración batimétrica, de tal manera que pueda ser utilizada como herramienta de consulta y caracterización de futuros estudios y artículos.

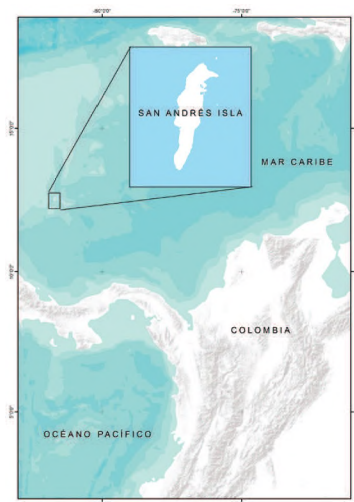


Figura 1. Ubicación de la Isla de San Andrés. Modificación de mapa base físicoTerrain ArcGIS Explorer (Fuente: 2010 National Geographic Society)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del artículo se efectuó una recopilación e integración de información de fuentes secundarias, como fueron estudios previamente realizados por entidades como la Dirección General Marítima - DIMAR, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "Jose Benito Vives de Andrés" - INVEMAR y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina - CORALINA, además de investigaciones de otros autores, principalmente en lo relacionado con la descripción del uso del suelo, la cobertura vegetal, geología, geomorfología y suelos.

Así mismo, se utilizó como fuente primaria para el desarrollo de análisis las batimetrías de la isla de San Andrés de propiedad de DIMAR, levantadas en el año 2006, el conjunto de ortofotografías tomadas por DIMAR en el año 2010 y fotografías aéreas de distintos años de propiedad del IGAC, para los aspectos relacionados con la morfología submarina y la evolución de la línea de costa.

Morfología Submarina

El levantamiento batimétrico para este estudio fue realizado por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe en el año 2006 utilizando una ecosonda monohaz a lo largo de todo el contorno de la

isla, en un área de 583,63 Km², en un polígono delimitado por las coordenadas geográficas 81°47'42.58"W 12°39'11.11"N y 81°34'41.82"W 12°24'53.00"N. Para hacer un sencillo y correcto análisis de las formas y profundidades del lecho marino, y por tanto, una mejor interpretación de su forma y disposición, se creó a partir de los puntos XYZ obtenidos en el proceso de levantamiento ba-

timétrico, un modelo digital de terreno, para el presente caso se usó el método denominado Triangle Irregular Network – TIN, utilizando las herramientas de análisis 3D contenidas en ArcMap (extensión del software ArcGIS de la casa ESRI), que posteriormente se transformó en un objeto tipo raster, que por medio de la extensión ArcScene del mismo software, es posible visualizar en 3D como se presenta en la figura 2.

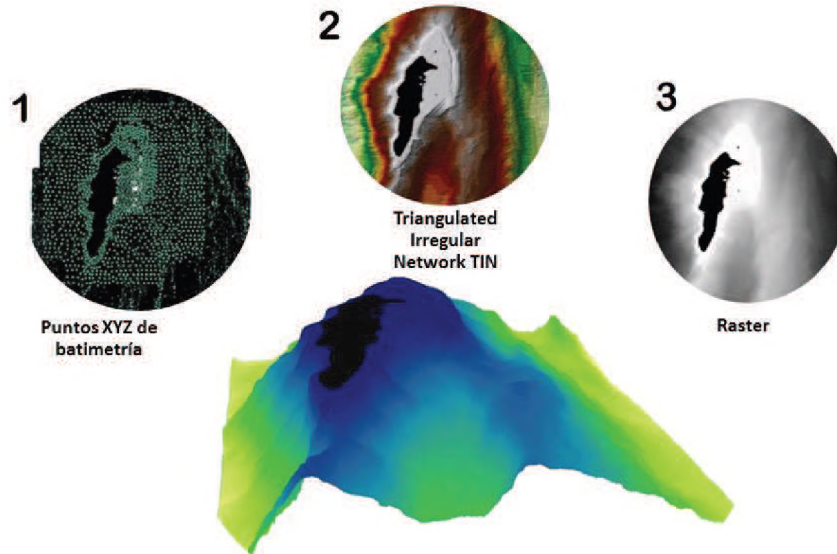


Figura 2. Proceso de creación de vista 3D de modelo de fondo marino de la Isla de San Andrés. Fuente: Batimetría CIOH 2006.

Evolución de la línea de costa

Con el fin de evaluar los cambios erosivos y/o acumulativos que ocurren en el litoral, y considerando que éstos son el producto de fenómenos regionales y locales, tales como actividad oceánica y atmosférica, cambios de la geología de la zona, ascenso del nivel medio del mar, intervenciones antrópicas, continuidad en el tiempo, entre otros, el análisis de la evolución de la línea costera requirió la aplicación de metodologías que permitieran analizar la evolución espacio-temporal en un sector específico. Indiscutiblemente, el uso de fotografías aéreas se ha convertido en una de las herramientas más recurrentes a la hora de realizar estudios de erosión-acreción, con ayuda de métodos fotogramétricos que permiten efectuar comparaciones cuantitativas, siendo efectivos, no sólo por su alta resolución, que hace fiable la identificación de la línea de costa, sino además, por la posibilidad de adquirir imágenes de diferentes años correspondientes

a una misma zona (en Colombia existen fotografías aéreas, tomadas por el IGAC, a partir del año 1936).

Para el análisis de tasas de erosión-acreción de la línea de costa se seleccionó el vuelo fotogramétrico C-775 del IGAC del año 1954, fotografías identificadas con números 75,76,77,78,79,80 y 82, que por su distanciamiento temporal de más de 50 años con el año de la base cartográfica con la que se capturó la línea de costa actual, proporciona una clara idea de la dinámica costera en éste sector.

Una vez seleccionadas las imágenes que cubren por completo la zona de estudio, se procedió a georeferenciar cada una de ellas, proceso con el que se busca proveer a las imágenes de propiedades métricas reales de la superficie terrestre para lograr su correcta ubicación dentro del sistema de coordenadas.

En la figura 3a se observan las fotografías aé-

reas del vuelo C-775 correctamente georreferenciadas, y la línea de costa capturada a partir de ellas en color azul; y en la figura 3(b) se muestra la línea de costa del año 2010 en color rojo, sobre mapa base tomado de ortofotos de DIMAR año 2010.

Para desarrollar el análisis se utilizó la herramienta DSASweb, en la que se introdujeron vía Web los archivos tipo shapefile correspondientes a las líneas de costa y línea base, y a través de las opciones que ella proporciona, se generaron los transectos de medición con una separación de 50 metros perpendiculares a la línea base, y finalmente se generó el cálculo de los indicadores de tasa de cambio con un intervalo de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción física de la Isla de San Andrés

Uso del suelo

La Isla es el producto de sedimentos coralinos que forman relieves bajos. Su suelo está densamente parcelado y es utilizado casi en su totalidad para el cultivo de palma de coco, aunque algunos pobladores siembran también yuca, plátano, ñame, maíz, frijol, y en las colinas y zonas de pendiente suave siembran caña de azúcar y pastos. En la parte central, en donde se levanta una colina, existen árboles frutales como fruto del pan, cítricos, mango, aguacate, guayaba, tamarindo, entre otros. [1]

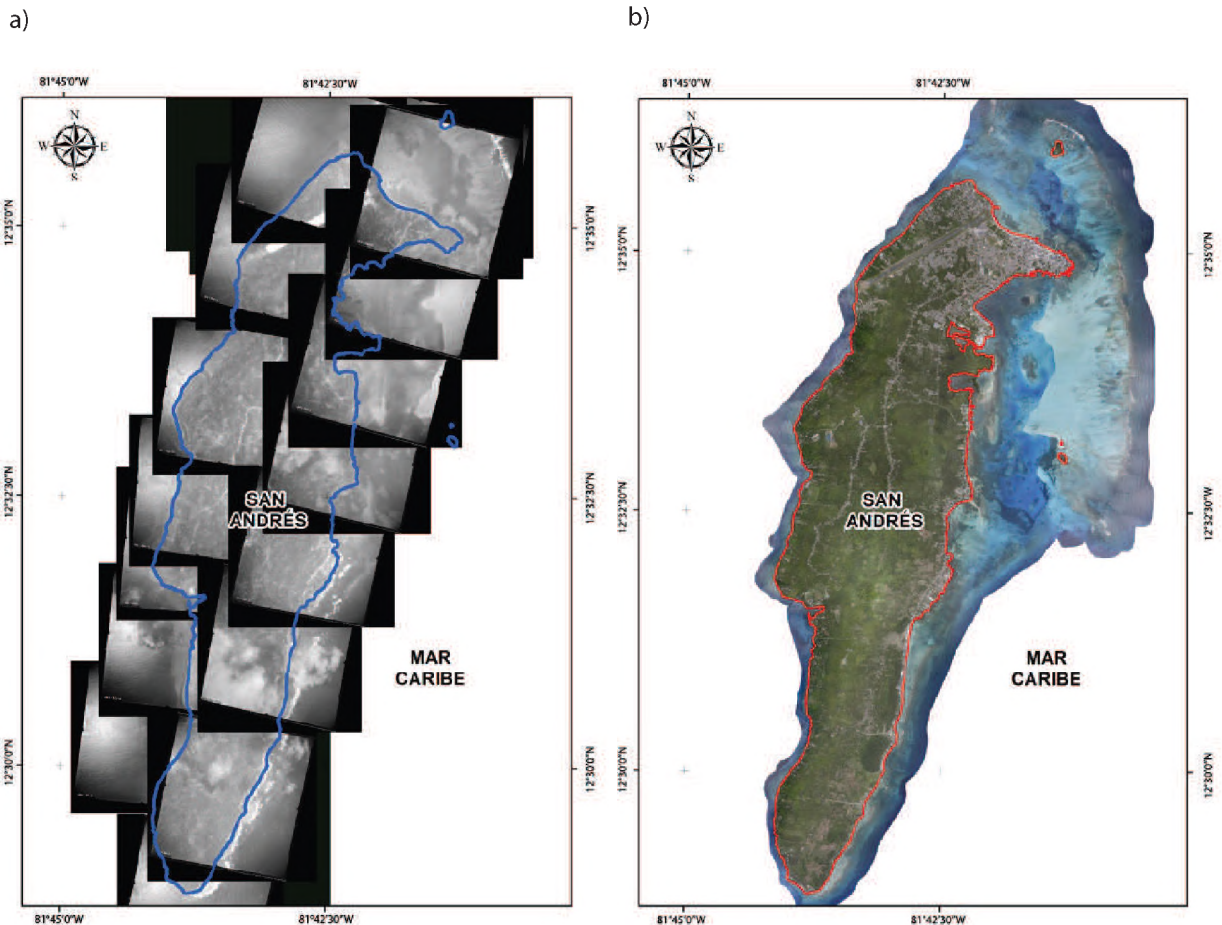


Figura 3. Análisis multitemporal de línea de costa. **a)** línea de costa capturada a partir de fotointerpretación de aerofotografías del IGAC, vuelo C-775 del año 1954. **b)** Línea de costa año 2010 capturada con fotointerpretación de ortofoto DIMAR. .

Las aéreas de protección están constituidas por las zonas de manglar existentes en la zona este y en la rada el Cove, están representadas principalmente por *Rhizophora Mangle*, como se aprecian en color rojo en la figura 4.

Gran parte de la Isla sufrió a partir de la segunda mitad del siglo XX un cambio radical en su economía, dando origen a la expansión de los centros poblados y establecimiento de zonas de comercio y turísticas de gran infraestructura, y desencadenando así, una gran migración de personas de otras regiones del país, e incluso, de extranjeros, con lo que se altera sustancialmente su composición social, así como los recursos naturales al dar paso a rellenos en zonas costeras para soportar las nuevas construcciones. Las actividades tradicionales de la Isla como la ganadería, pesca artesanal y agricultura, se mantienen aunque no con gran intensidad. [1]

Cuando el congreso de la Republica aprueba la Ley 129, el estatuto orgánico de Puerto Libre, la migración a la Isla aumentó. La facilidad de la migración se debió a la no disponibilidad de mano de obra calificada en trabajos duros que exigía la construcción de infraestructura del modelo de desarrollo y porque la población nativa no aceptaba condiciones de trabajo impuestas por los inversionistas. La migración llevó a que en menos de 10 años, la población aumentara a más de 380%, con un crecimiento intercensal de 100%. Los migrantes se ubicaron en la parte norte de la Isla donde se desarrolló la infraestructura hotelera y comercial, para lo cual se tuvo que adecuar la zona, se hicieron rellenos y se ganó tierra al mar para la construcción de barrios de migrantes: el muelle, las avenidas, los edificios públicos. Es allí donde se desarrolló la ciudad denominada North End, que concentra al menos al 65% de la población, la mayoría migrantes. La población nativa fue afectada dado que el espacio de vivienda y obras turísticas y comerciales afectaron terrenos heredados. [2].

Cobertura vegetal

La cobertura natural ha sido destruida por la acción del hombre desde hace ya muchos años atrás, más o menos a finales del siglo XVII jamaquinos viajaban a talar madera de cedro para construcción de embarcaciones. Luego, en el siguiente siglo, pobladores de las islas canarias se instalaron en la Isla para instaurar cultivos de algodón y posteriormente de coco,

y para criar ganado en sus tierras fértiles. [3]

Según el estudio efectuado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, a través de su subdirección de Agrología denominado "Estudio semidetallado de suelos de las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina", las especies presentes en las zonas de colina son: "Cedar tree" (*Cedrela sp*), "Brush" (*Bru-cera sp*), "Cotton tree" (*Bombacopsis quina-ta*), Mata Ratón (*Gliricidia sepium*), "Plum" (*Spondias mombin*), "Bred fruit" (*Artocarpus comunis*), "Aman tree" (*Terminalia catappa*), guamo (*Cecropia sp*). En zonas de altitudes medias se presentan frutales como: guanabano (*Annona muricata*), guayaba (*Psidium ssp*), mango (*Mangifera indica*), aguacate (*Persea americana*), tamarindo (*Tamarindus indica*), limón (*citrus limón*), naranja (*citrus sinensis*), mamoncillo (*Melicoca bijuga*), papaya (*Carica papaya*); también herbáceas como *Hyptia sp*. Finalmente, la vegetación correspondiente al litoral, sometida directamente a la influencia del agua de mar, consta principalmente de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racenosa*), "nail with" (*Dalbergia brownei*), "Sea grape" (*Coccoloba uvifera*).

La isla se constituye como un área ecológicamente diversa, con diversos y complejos ecosistemas que dan origen a diferentes especies de tipo no solo antillano, sino también continental, aunque más relacionadas con éste último.

Existen en la Isla tres biomas de vegetación, definidos así [1]:

Zonobioma tropical alternohigrico: Constituído por bosques del piso isomegatérmico conocido comúnmente como tierra caliente, en donde las especies vegetales más importantes son: Árbol de suerte (*Adenantera pavonina*), samán (*Albizia saman*), lluvia de oro (*Cassia fistula L.*), cañafístula (*Cassia grandis L.*) cedro (*Cedrela odorata L.*), ceiba, caimito (*Chrysophyllum cainito L.*), mamey (*Mammea americana*), rosa china (*Spathodea campanulata*), marañón (*Anacardium occidentale*), caraña (*Bursela graveolents*), totumo (*Crescentia cu-jete*), yarumo (*Cecropia Peralta*) y olivo sives-tre (*Simarouba amara*).

Halohelobiomias: Presente en los litorales bajos y exentos de alcantilados, donde aparecen especies boscosas desarrolladas sobre limos o suelos arcillosos-arenosos sujetos a la influencia

de las mareas. Estas se constituyen especialmente por manglares, que pueden tener alturas bajas de 3 a 5 metros, hasta muy grandes de 40 a 50 metros. Los árboles de éste bioma son relativamente de pocas especies como el mangle rojo (*Rizophora spp.*), mangle negro (*Avicennia sa.*), mangle jeli y garbancillo o mangle Zaragoza (*Conocarpus erecta*).

Psammobiomas: Compuesto por suelos arenosos de playas. En las playas de arena blanca de origen biodetrítico de la Isla se encuentra vegetación como: Suriana marítima (*Tournefortia gnaphalodes*), barrilla (*Batis marítima*), enea (*Typha angustifolia*), alfalfa del trópico (*Clitoria ternatea*), san diego (*Antigón lectopus*) y platanillo (*Canna indica*).

La distribución espacial de la cobertura vegetal se puede apreciar en la Figura 5.

Geología

La isla de San Andrés es producto de actividades tectónicas y sedimentaciones, y su historia geoló-

gica se puede resumir de la siguiente manera: [3] Mioceno medio y superior (entre 23,03 y 5332 millones de años AP) San Andrés Isla estaba semi-sumergida, y por tanto, expuesta a adiciones de arena y lodo calcáreos que con el paso del tiempo, y bajo procesos de litificación, se transformaron en caliza maciza y caliche fosilífero.

Plioceno (5332 - 2588 millones de años AP). La isla emergió 20 metros sobre el mar cubriéndose de vegetación. A causa de movimientos tectónicos se fracturo y las grietas resultantes se rellenaron de material Oolítico ferruginoso (pequeñas esferas calcáreas de origen sedimentario).

Pleistoceno (2,59 millones de años a 12.000 años AP). La isla fue nuevamente sollevantada, pero la acción del mar disminuyo las aéreas compuestas por calizas miocenas formando cavernas de oleaje.

Post-Pleistoceno. Se produce un nuevo sollevantamiento, convirtiendo las plataformas pleistocenas en plataformas terrestres.

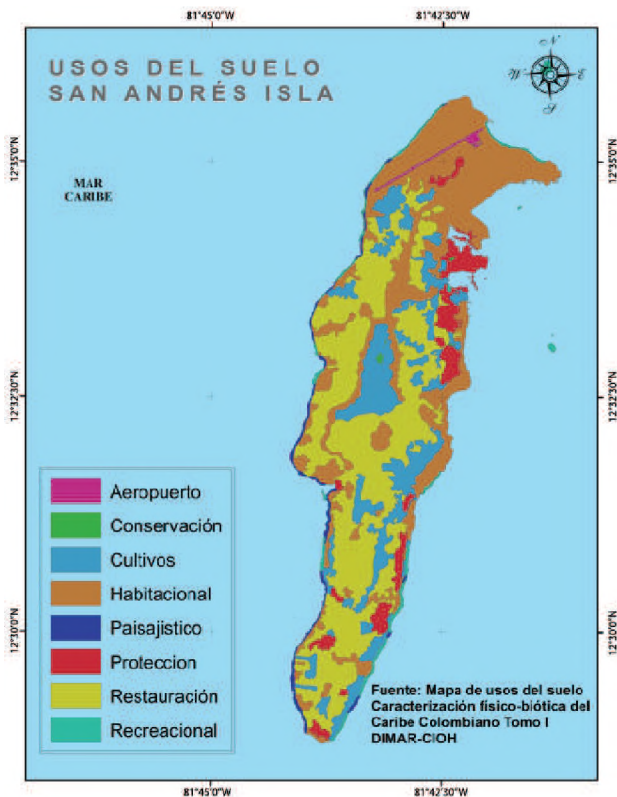


Figura 4. Mapa general de Usos del Suelo de San Andrés Isla. Modificado de DIMAR-CIOH Caracterización físico biótica del Caribe Colombiano Tomo I.



Figura 5. Mapa general de Cobertura vegetal de San Andrés Isla. Modificado de DIMAR-CIOH Caracterización físico-biótica del Caribe Colombiano Tomo I.

GEOMORFOLOGÍA

El esquema tectónico regional del fondo marino en el Caribe occidental se caracteriza por zonas de fractura. La zona más conspicua es la de San Andrés, un graben tectónico en la parte sur de la elevación Nicaragua con una orientación de 15° norte-noreste, separa el Archipiélago de la plataforma continental de Centroamérica. Todos los atolones, islas y bancos coralinos se originaron aparentemente a partir de volcanes dispuestos a lo largo de fracturas tectónicas de la corteza oceánica. [1]

A lo largo de la Isla de San Andrés se identifican cinco unidades geomorfológicas asociadas a costas altas (Colina, pedimento, plataforma de abrasión elevada, abanico aluvial y valle intermondano) y dos unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas (Playa, plano de inundación), todas ellas producto del levantamiento tectónico que la Isla sufrió hace más de 30 millones de años, llegando a una elevación actual de aproximadamente 100 metros sobre el nivel del mar. [1]

La parte central de la Isla geomorfológicamente está conformada por colinas y pedimentos, siendo ésta la parte alta de la isla. Las primeras son prominencias topográficas con morfología ondulada producto de factores endogénicos y exogénicos que se extiende desde el norte en North Cliff hacia el sur en May Hill. Por su parte, los segundos son superficies erosionadas sin poca vegetación ubicadas en el piedemonte de la colina, con pendiente suave a moderada, localizándose en los alrededores de las colinas norte y sur y este de la isla. [1]

Tanto en el costado occidental como en el oriental de la isla, las unidades geomorfológicas asociadas a costas altas son principalmente dos: hacia el centro de la isla por una colina con elevación en la topografía superior a 15 metros de altura sobre el nivel del mar, y hacia el mar una plataforma de abrasión elevada caracterizada por ser superficie rocosa desprovista de vegetación, con pendiente ligeramente inclinada, elevada a una altura en el costado oeste de la isla de 2 a 5 metros sobre el nivel del mar y con un ancho de aproximadamente 50 metros, es influenciada por

la dinámica marina formando acantilados. Su límite oriental es la unidad geomorfológica colina, como se puede apreciar en la figura 6.

Por su parte, en el costado oriental tiene una conformación muy diferente. Las áreas colindantes con el mar, cuentan con la presencia de unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas como cuerpos de agua, playas y planos de inundación.

Los cuerpos de agua o depresiones ocupadas parcial o totalmente por agua proveniente del mar o de aguas lluvia, son someros y se presentan entre el Puerto y el Sector San Luis, así como en la zona de colinas en Big Pond. Por otro lado, en la interfaz mar-continente se

encuentran las playas, franjas de material no consolidado, extendiéndose desde el límite de marea baja hasta limitar con la plataforma de abrasión elevada. Éstas se encuentran presentes en los sectores Elsy Bar, Sound Bay, San Luis (aquí hay presencia de fenómenos erosivos), Bahía Coco, Punta Pleasant y al norte en Bahía Sardinias. Finalmente, los planos de inundación caracterizados por ser susceptibles a crecidas por su ubicación adyacente al mar, normalmente cenagosos y compuestos por lodos, arenas y materia orgánica. Se localiza en la franja con dirección norte-sur desde el terminal marítimo hasta Rocky Cay y en Sound Bay, hasta el norte de Old Sam. Dentro de éstos se encuentran pantanos de manglar.

Suelos

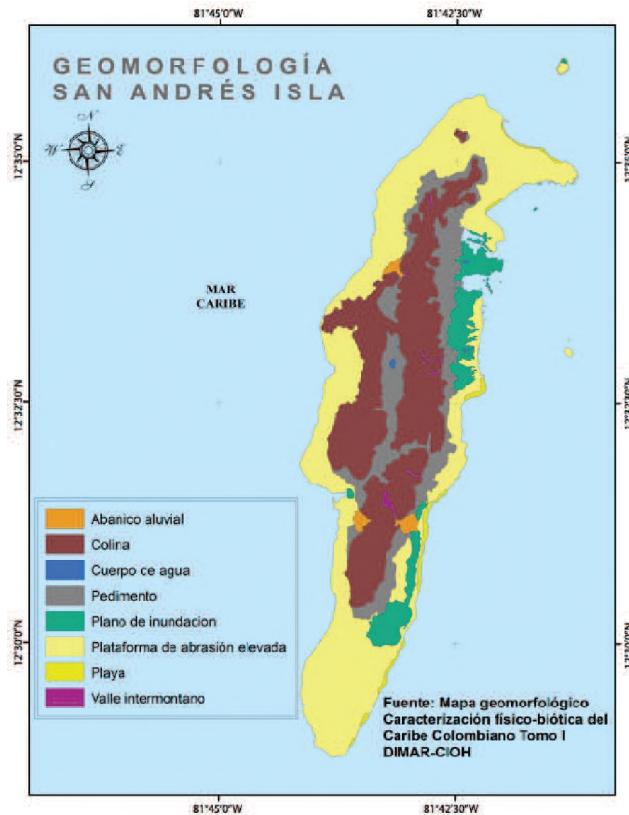


Figura 6. Mapa general de las unidades geomorfológicas de San Andrés Isla. Modificado de DIMAR-CIOH Caracterización físico-biótica del Caribe Colombiano Tomo I.

En 1975, el IGAC agrupó los suelos en asociaciones (Unidad geográfica en la que predominan dos unidades de suelos y/o áreas misceláneas que se presentan en forma intrin-

cada, y que no pueden separarse por la escala utilizada. Cubren el 85 % de su superficie) y consociaciones (unidad geográfica en que predomina un tipo de suelo o un área miscelánea que cubre más del 85% de su superficie).

En este sentido, la Isla se caracteriza por tener dos clases de relieve, por un lado, al centro se encuentra la colina de caliza maciza y por otro lado, hacia el mar, la zona de material coralífero dominante.[3]

Acorde a lo previamente definido por el IGAC, para la isla se encuentran:

a.Colinas

Constituidas por caliza blanquecina fosilífera, sin estratificación, de consistencia maciza que presenta suelos de poco espesor y de poco desarrollo genético. En este relieve se encuentran las siguientes asociaciones o consociaciones:

- Consociación PUSSY (PU): Perteneciente al paisaje de suelos de colinas ligeramente planas a moderadamente inclinadas (pendientes menores a 7%). Son suelos de alto desarrollo genético con características vérticas y presencia de concreciones ferromanganesicas, moderadamente bien drenados, profundos, de textura arcillosa.

- Asociación LA LOMA (LL): Perteneciente al paisaje de suelos de colinas onduladas a fuertemente onduladas (pendientes entre 7 y 25%). Ocupa la mayor parte de la extensión de la colina. Suelos de poco espesor, ricos en arcilla, formados sobre material calcáreo. Su drenaje es bueno a moderado e incluso impedido en lugares donde aflora roca.

Consociación LA CANTERA (LC): Perteneciente al paisaje de suelos de colinas fuertemente quebradas (pendientes superiores a 25%). Horizonte de poco espesor, de textura franco arcillo gravilosa con alto contenido de fragmentos de caliza. La unidad se encuentra cultivada exclusivamente con palmeras de coco que mitigan la erosión. Son los suelos más superficiales, pero también, más ricos en carbón orgánico de todos los suelos de colina.

Escarpes (MR): Son taludes de caliza maciza fosilífera que sostienen en sus fisuras y porosidades alguna vegetación arbórea nativa. Se denominan MISCELANEO ROCOSO (MR)

Suelos de coluvio

Son terrenos de relieve inclinado a plano cóncavo, de poca elevación sobre el nivel del mar, circundan las colinas y descienden suavemente hasta la terraza y las zonas de pantano de manglar.

Asociación SAN LUIS (SL): Ocupa gran cantidad de la Isla. Son terrenos con pendientes de menos de 7%, con suelos profundos a superficiales. Sus límites son abruptos con las colinas y manglares y difusos hacia la terraza.

Terrazas

Elevación de aproximadamente 3 metros sobre el nivel del mar originada por la formación de depósitos coralinos. Son suelos de muy poco desarrollo genético con gran población de palma de coco.

Complejo EL SOPLADOR (ES): Perteneciente al paisaje de suelos de terrazas planas a ligeramente planas. Se encuentra en la zona más austral de la isla, en donde la ausencia de colinas muestra una gran acción del mar. Presentan afloramiento de bancos de caliza coralífera.

Consociación SAN ANDRES (SA): Perteneciente al paisaje de suelos de terrazas ligeramente planas, compuesto por caliza arrecifal coralina. Se presenta como una delgada faja a lo largo del costado occidental, son suelos muy superficiales con presencia de palmas de coco y algunos cultivos de subsistencia.

Consociación EL APOSTADERO (EA): Perteneciente al tipo de suelos de terrazas planas con depósitos espesos de arena estabilizada, los cuales se ubican en cercanías a zonas de manglar de la costa este. Su topografía es plana y están formados exclusivamente por arenas coralíferas blanquecinas. Esta consociación presenta suelos bien drenados con profundidades entre 50 y 100 metros.

Consociación JOHNNY (JO): Perteneciente a suelos de terrazas ligeramente planas con depósitos espesos de arena estabilizada, los cuales corresponden a acumulaciones sucesivas de arena calcárea rica en restos de quínidos, foraminíferos, fragmentos de corales y esponjas. La consociación está constituida por masas de arena sin ninguna consistencia, textura arenosa y colores blanquecinos.

Litoral

Se caracteriza por una masa de abrasión situada a lo largo de la costa occidental y constituida por la caliza arrecifal, compuesta por playas y zonas pantanosas de manglar.

Manglar

Son áreas pantanosas pobladas densamente por vegetación de mangle.

Asociación COVE (CO): por estar en un ambiente halohídrico, posee suelos orgánicos, minerales con mal drenaje y alta saturación de agua y sal. Alto contenido de arcilla y alta segregación de óxido de hierro.

Mesa de Abrasión (MC)

La costa occidental de la isla está bajo la acción erosiva del mar abierto, el cual ha formado un acantilado constituido de caliza coralífera. Está desprovista de vegetación y se eleva un metro sobre el nivel del mar. Se conoce como Misceláneo Coralífero (MC)

Playa

Arenas calcáreas localizadas por el oleaje marino que conforman sus bellas playas, compuestas de granos de color blanquecino, provenientes de la descomposición y fractura de corales. Se presenta con el nombre de Misceláneos de playa.

De acuerdo con el mapa de la figura 7 y tabla I, y según la descripción anterior, el área de estudio está representada por relieve de colina, con los suelos de la asociación LA LOMA, la consociación PUSSY y los escarpes MISCELÁNEOS ROCOSOS; relieve de Coluvio con suelo de la ASOCIACION SAN LUIS y relieve de litoral con suelos MISCELÁNEO CORALIFERO. Por lo tanto se observa que el costado oeste de la isla está cubierto por suelos consolidados y elevados sobre el nivel del mar, expuestos a constante acción marina.

Morfología Submarina

Con base en los datos utilizados se encontró que la Isla de San Andrés cuenta con una morfología submarina variable, con la presencia de un arrecife costero o interior localizado al noreste, que a su vez hace parte de un complejo de arrecifes ubicados dentro de una laguna arrecifal de 5 a 12 m de profundidad y 600 metros de ancho aproximadamente, y su fondo está cubierto por arena calcárea y

escombros de coral. Presenta además áreas emergidas sobre la terraza lagunar como las islas de Johnny Cay, Haines y El Acuario. Asimismo, la zona cuenta con una barrera exterior de arrecife que se eleva 4 metros desde la terraza prearrecifal hasta casi la superficie y se encuentra dividida por surcos y espolones, con una inclinación suave hacia la zona de barlovento. La terraza prearrecifal y el talud externo tienen una pendiente abrupta casi vertical hasta llegar a un escalón. [4]

En razón de los procesos geológicos que participaron en la génesis del complejo arrecifal, la plataforma insular de barlovento presenta características muy particulares. En su mitad norte la plataforma es bastante amplia en la porción prearrecifal, extendiéndose unos 2 Km afuera de la barrera coralina. El Pallat Bank es una porción periférica de la terraza prearrecifal, de relieve más bien plano, que se extiende hacia el margen NE y E de la plataforma, en profundidades entre 20 y 25 m. El cambio súbito de la pendiente de este banco en su extremo de barlovento marca el inicio del talud exterior de la plataforma [5].

La plataforma en la mitad sur del costado de barlovento de la isla es muy angosta. El talud externo se precipita abruptamente en forma vertical a partir de los 10-15 metros de profundidad, hasta un escalón horizontal a 45-50 metros y luego nuevamente a más de 500 metros. [5]

Todo el fondo marino entre la isla y los arrecifes coralinos al este, consta esencialmente de calizas blancas, cubiertas por una capa delegada de arena calcárea. [6].

Al analizar las diferencias de altura en el costado oeste de la isla se observa que a lo largo de 6900 metros lineales aproximadamente, medidos perpendicularmente a partir de la línea de costa, el gradiente de profundidad es muy alto: Las profundidades medidas hacia la costa de la isla se encuentran en promedio entre 0.1 y 67 metros a lo largo de una plataforma de 900 metros, para luego pasar de 67 a 2.0 metros en los siguientes 5100 metros medidos en el eje x hasta donde se encuentra la depresión San Andrés, presentando en promedio, un gradiente de 16.20°, lo que corresponde a una pendiente de 29%, valor que de acuerdo a la clasificación de pendientes propuesto por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi presentada en la Tabla 2 [8], corresponde a "Abrupta" (figura 8).

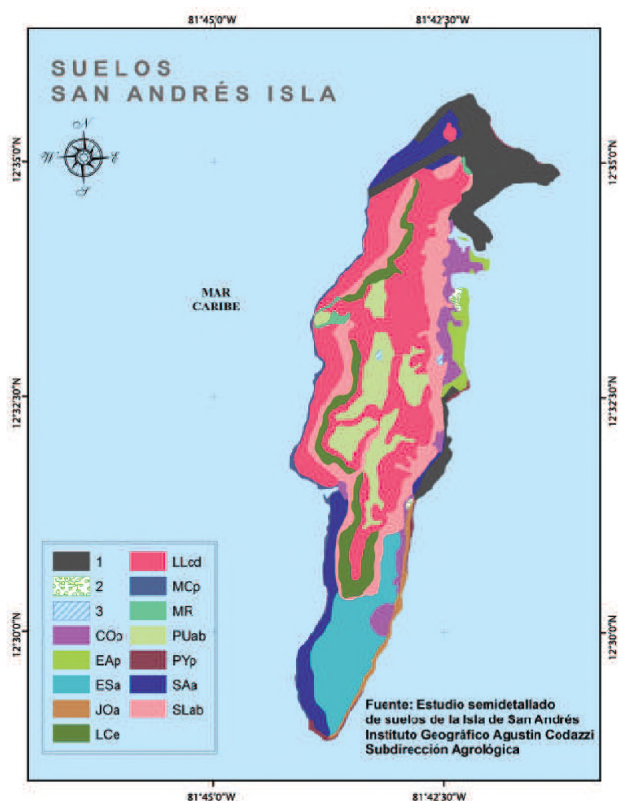


Figura 7. Mapa general de suelos de San Andrés isla. En la leyenda, la clasificación 1 corresponde a suelo construido, 2 a manglar y 3 cuerpos de agua. Otra simbología de acuerdo con lo consignado en la Tabla I.

Tabla I. Leyenda del mapa de suelos

PAISAJE	SUBPAISAJE	UNIDAD CARTOGRAFICA	UNIDAD TAXONOMICA	SÍMBOLO
Colina de caliza maciza (Mioceno)	Zona ligeramente plana a moderadamente inclinada con pendientes de 0-3-7%	Consociación PUSSY	Conjunto PUSSY Vertic Eutropept	PUab
	Zona ondulada a fuertemente ondulada con pendiente de 7-12-25%	Asociación LA LOMA	Conjunto LA LOMA Typic Calciustoll	LLcd
	Zona fuertemente inclinada con pendiente de 25- 50%	Consociación LA CANTERA	Conjunto LA CANTERA Lithic Rendoll	LCe
	Zona escarpada con pendiente mayor de 50%	MISCELANEO ROCOSO		MR
Coluvio	Zona plana a inclinada con pendiente 0-3-7%	Asociación SAN LUIS	Conjunto SAN LUIS Vertic Eutropept	SLab
			Conjunto LOS ICACOS Tropic Flavaquent	
Terraza de caliza coralífera (Pleistoceno)	Zona plana a ligeramente plana con pendiente de 0-3%	Complejo EL SOPLADOR	Conjunto EL SOPLADOR Lithic Eutropept	ESa
	Zona ligeramente plana con pendiente de 1-3%	Consociación SAN ANDRES	Conjunto SAN ANDRES Lithic troperthent	SAA
	Zona plana de depósitos espesos de arena estabilizada con pendiente de 0-1%	Consociación EL APOSTADERO	Conjunto EL APOSTADERO Typic Troperthent	EAp
	Zona ligeramente plana de depósitos espesos de arena no estabilizada con pendiente de 0-3%	Consociación JOHNNY	Conjunto JOHNNY Typic Ustipsamment	JOa
Litoral	Manglar	Asociación COVE	Conjunto COVE Hydric Tropofibrist	COP
	Mesa de Abrasión Playa	MISCELANEO CORALIFERO MISCELANEO DE PLAYA		MCp PYp

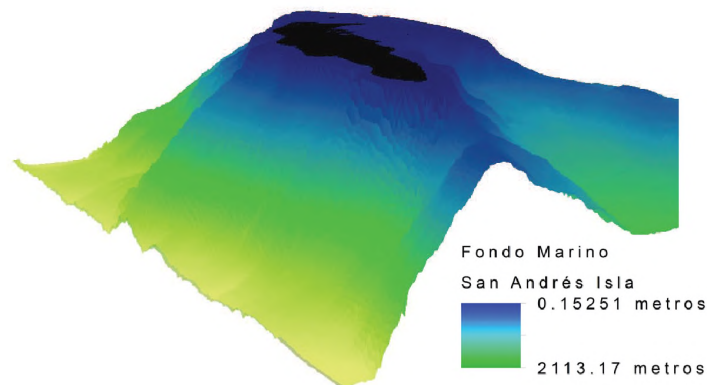


Figura 8. Vista en 3D del fondo marino al costado oeste de la isla con una exageración en Z de 3 puntos con el fines de visualización

Al costado oriental de la isla, se observa una variación en el eje z con respecto al eje x un tanto menor, aunque igualmente significativa, con un gradiente de 9.03° representando una pendiente de 14.10%, que, de acuerdo con IGAC, corresponde a la clasificación “modera-

damente abrupta”. La plataforma en la que las profundidades se encuentran entre 0.1 y 67 metros mide hasta 4000 metros al norte de la isla, y de allí hasta la profundidad de 2.0 metros hay 10.500 metros en el eje x, en donde se encuentra la depresión Nutibara (figura 9).

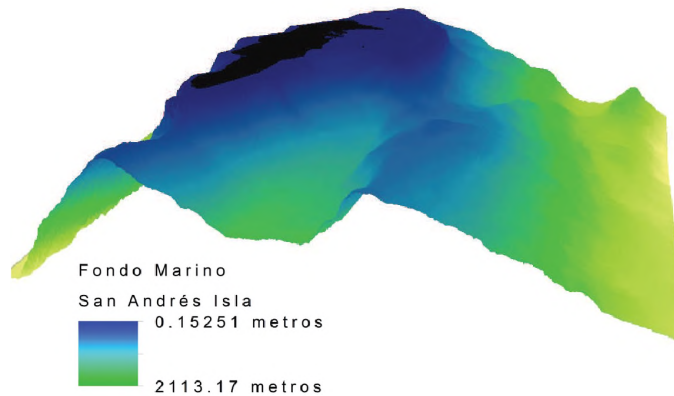


Figura 9. Vista en 3D del fondo marino al costado este de la isla con una exageración en Z de 3 puntos con el fines de visualización.

A éste mismo costado, pero al sur de San Andrés, se presenta una profundidad máxima de 1.2 metros que luego desciende hasta los 334 metros aproximadamente, para luego ascender nuevamente hasta los 2.11 metros.

Tabla 2. Clasificación de pendientes de acuerdo con el IGAC.

PENDIENTE		CLASIFICACIÓN
UNIDAD	%	
1	0-3	<i>Suave</i>
2	3-7	<i>Moderadamente suave</i>
3	7-12	<i>Moderada</i>
4	12-25	<i>Moderadamente abrupta</i>
5	25-50	<i>Abrupta</i>
6	50-75	<i>Muy abrupta</i>
7	75 o +	<i>Escarpada</i>

Evolución de la línea de costa

Los complejos procesos físico-naturales asociados a avance o retroceso de la línea de costa, originados de forma natural o inducidos antrópicamente, presentan una serie de características que permiten catalogarlos como riesgos naturales que unidos a la creciente presión sobre la franja litoral, ocasionan daños de gran magnitud [7].

En el análisis de evolución de las líneas de costa (definidas éstas como el límite tierra-agua observado en la fotografía) para el costado oeste de la Isla, se encontró que entre los años 1954 y 2010, la dinámica costera fue estable gracias a la conformación de los suelos de este sector de la isla, en donde, a pesar ser expuesta a fuertes oleajes en algunas épocas del año, no presenta ningún grado de erosión y por tanto, ningún cambio significativo en las unidades geomorfológicas asociadas al litoral. Lo anterior se evidencia claramente en la Figura 10, en donde las dos líneas de costa objeto de análisis multitemporal (1954 en color azul y 2010 en color rojo), se superponen para indicar su correcta superposición espacial. Es

preciso aclarar que no es posible lograr el 100% de coincidencia de las dos líneas ya que por el proceso independiente de digitalización de cada una y además, la escala de cartografía de las fotos antiguas del IGAC, no permite una perfecta vectorización.

Cada método estadístico utilizado por DSAS para calcular las tasas de cambio de la costa se basa en diferencias medidas entre las posiciones del litoral a través del tiempo. Las tasas de cambio reportadas se expresan en metros por año a lo largo de transectos. Para éste análisis se utilizaron únicamente dos de los métodos estadísticos arrojados por el sistema, obteniendo los resultados consignados en la tabla III. [9]

En la tabla III se observan los datos para cada transecto correspondientes a los métodos Net Shoreline Movement – NSM o movimiento neto de la línea de costa que reporta la distancia total entre las líneas costeras más antiguas y más reciente, y End Point Rate – EPR o tasa de punto final que se calcula dividiendo la distancia de movimiento de línea de costa por el tiempo transcurrido entre la línea de costa más antigua y la más reciente.

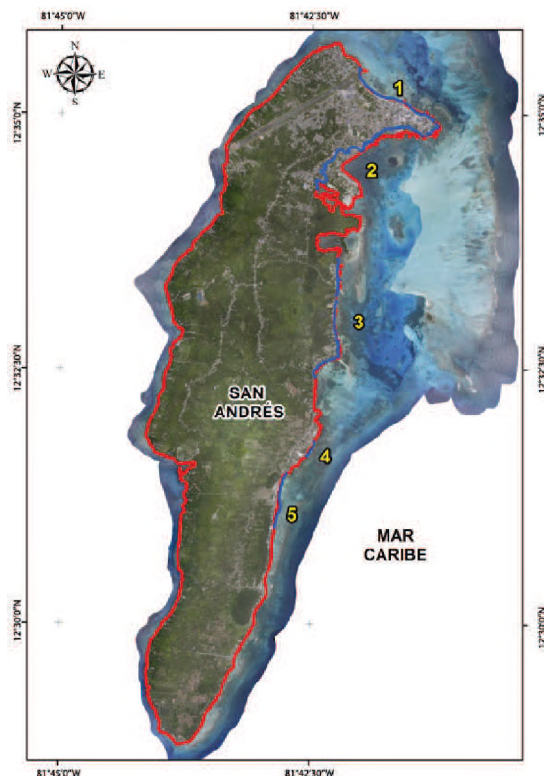


Figura 10. Superposición de líneas de costa. En color azul línea de costa año 1954 y en color rojo línea de costa año 2010 sobre ortofoto de DIMAR 2010.

Por su parte, el costado este de San Andrés presenta en el mismo periodo de tiempo, cambios significantes en la posición de la línea de costa en 5 sectores específicos, donde se presentan tasas de erosión o acreción media a alta (figuras 11 y 12):

1. Sprat Bigth a Paradise Point

Se puede observar que a lo largo de la zona

uno (1), delimitada desde Sprat Bigth hasta Paradise Point, la evolución de la línea de costa muestra un movimiento relativamente pequeño con comportamiento no estable, ya que hay sectores en los que se presenta erosión y otros en los que se registra acreción. La tasa de acreción calculada en promedio fue de 0.11 m/año y la de erosión de 0.13 m/año, medidos a lo largo de 34 transectos separados entre sí 50 metros. (figura 13).

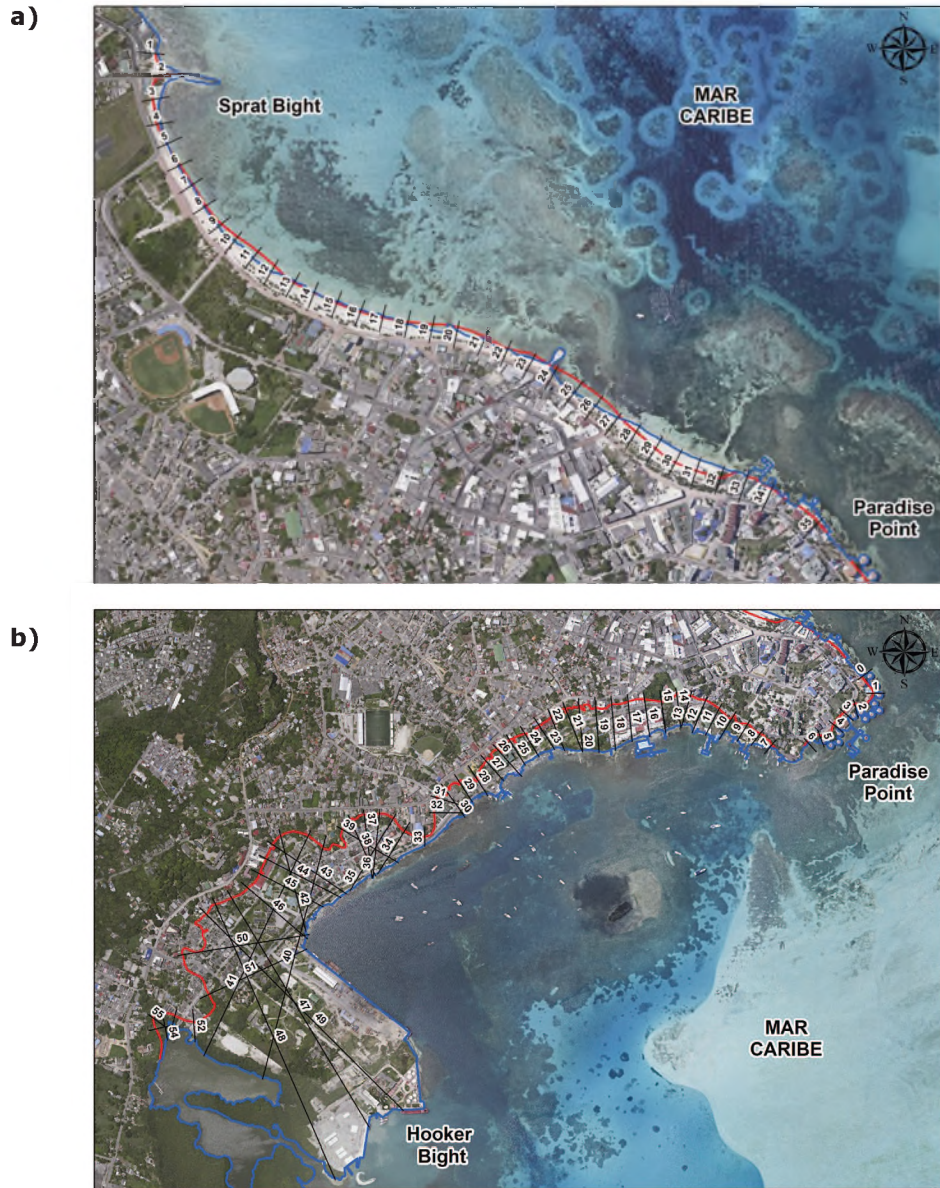


Figura 11. Imagen de las líneas de costa de diferentes años con los transectos generados en DSASweb sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector **a)** Sprat Bigth a Paradise Point, **b)** Paradise Point hasta Hooker Bight.

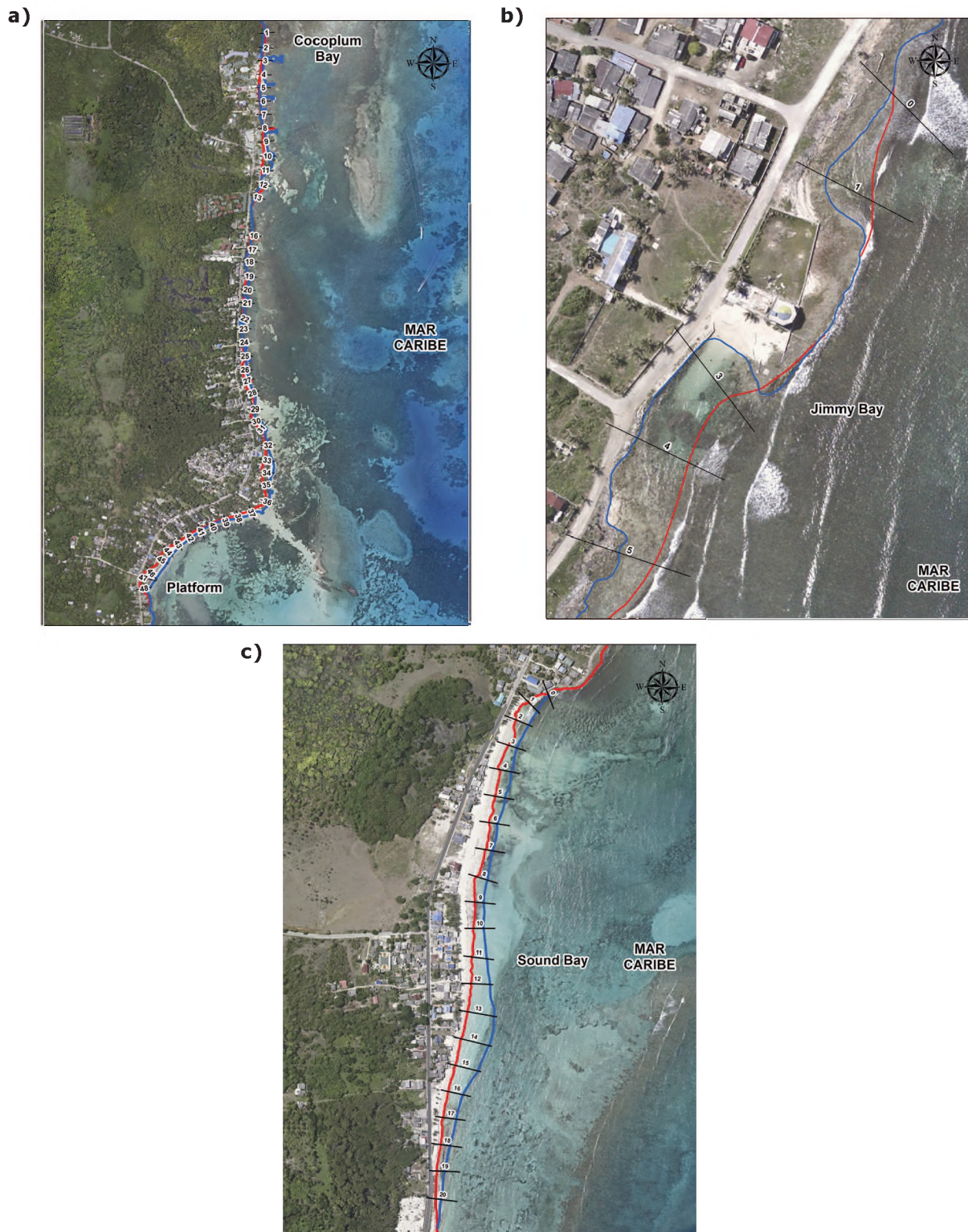


Figura 12. Imagen de las líneas de costa de diferentes años con los transectos generados en DSASweb sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector **a)** Cocoplum Bay a Platform, **b)** Jimmy Bay, **c)** Sound Bay.

A través de los 56 transectos generados con separación de 50 metros entre sí, se pudo establecer que este sector tiene un comportamiento exclusivamente de acreción, debido a la alta intervención antrópica que ha sufrido a lo largo de la historia del desarrollo de la Isla. En esta zona se han llevado a cabo gran cantidad de rellenos

que han variado enormemente la conformación del litoral con un promedio de 175.32 metros de crecimiento hacia el mar, con una tasa (EPR) de 3.24 m/año, siendo la zona de mayor crecimiento el sector donde se encuentra ubicado el puerto, en donde la mayor diferencia entre las posiciones de la línea de costa es de 913 metros aproximadamente. (figura 13 y figura 14).



Figura 13. Zonas de erosión en color amarillo y zonas de acreción en color verde sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector Paradise Point hasta Sprat Bight.



Figura 14. Zonas de acreción en color verde sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector Paradise Point hasta Hooker Bight.



Figura 15. Zonas de erosión en color amarillo y zonas de acreción en color verde sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector Cocoplum Bay a Platform.

3. Cocoplum Bay a Platform

Entre Cocoplum Bay a Platform también existe predominancia de fenómeno de acreción, con un promedio de 14.94 metros y una tasa de 0.27 m/año. Por su parte, el fenómeno de erosión se presentó específicamente entre los transectos 0 a 1, 11 a 12 y 19 a 21, donde se calculó una tasa de 0.06 de retroceso de la costa. (figura 15).

4. Jimmy Bay

En esta zona, el fenómeno erosivo se calculó por medio de 5 transectos separados 50 metros entre sí, arrojando como resultado una tasa de retroceso de 0.32 metros por año. (figura 16)

5. Sound Bay

Finalmente, en las playas del sector Sound Bay el fenómeno erosivo es completamente marcado, presentando un retroceso de la línea de costa de 23.45 metros a una tasa de 0.43 m/año. (figura 17).

El borde litoral de roca coralina del costado

oeste de la Isla está expuesto a agentes erosivos que causan disolución y fractura, por lo que la línea costera en ciertos sectores, ha variado su posición por el desprendimiento de bloques, aunque en el periodo de estudio de los años 1954 a 2010 éste fenómeno no se evidencia claramente.

Por otro lado, en el costado oeste de la isla las playas y otras unidades geomorfológicas presentes como los bosques de manglar, son más propensos a sufrir cambios asociados a la dinámica marina y actuaciones antrópicas. En este costado, el litoral se encuentra fuertemente protegido del oleaje por la barrera de coral y arrecife coralino, por lo que las playas, se erosionan durante las tormentas y se regeneran parcialmente en condiciones de calma si cuentan con condiciones naturales; sin embargo, las intervenciones del hombre como la extracción de arena de playa, destrucción de manglares e invasión de zonas adyacentes al mar, generan alteraciones a la protección natural, imposibilitando la regeneración de las playas por disminución de tasas de suministro y de transporte litoral. [10] (figura 18).



Figura 16. Zonas de erosión en color amarillo y zonas de acreción en color verde sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector Jimmy Bay.



Figura 17. Zonas de erosión en color amarillo sobre ortofoto DIMAR año 2010 en el sector Sound Bay.

CONCLUSIONES

Con base en el desarrollo de la revisión documental fue posible establecer que la Isla de San Andrés es producto de la acumulación de sedimentos coralinos sobre un atolón antiguo que posteriormente por movimientos tectónicos del Plioceno afloró de forma oblicua. En cuanto al uso del suelo, la isla ha sufrido radicales cambios desde la segunda mitad del siglo XX, debido a la expansión de centros poblados y el establecimiento de la infraestructura comercial y turística, alterando de gran manera el ordenamiento territorial, afectando similarmente la cobertura vegetal natural de la isla, encontrándose zonas donde la intervención antrópica es tan alta que ha modificado completamente el borde costero.

Por su parte se identificaron cinco unidades geomorfológicas asociadas a costas altas (colina, pedimento, plataforma de abrasión ele-

vada, abanico aluvial y valle intermondano) y dos unidades geomorfológicas asociadas a costas bajas (Playa, plano de inundación), caracterizándose la isla por tener dos clases de relieve, por un lado, al centro se encuentra la colina de caliza maciza y por otro lado, hacia el mar, la zona de material coralífero dominante.

Al revisar, las unidades geomorfológicas presentes en la isla, en contraste con el uso del suelo documentado, se logra evidenciar que el uso recreacional principalmente presenta coincidencias con la unidad geomorfológica playa, así mismo, el uso habitacional presenta buenas coincidencias con la unidad geomorfológica denominada plataforma de abrasión. Por su parte el uso de suelo de protección presenta coincidencias principalmente con la unidad geomorfológica planos de inundación y los usos de cultivos y restauración, coinciden principalmente con las unidades geomorfológicas denominadas colinas y pedimentos.



Figura 18. Características del borde litoral de la Isla de San Andrés. **A.** Sprat Bight, **B.** Paradise Point, **C.** Cocoplum Bay, **D.** Free Town, **E.** Smith Channel, **F.** Cove Sea Side, **G.** South West Cove, **H.** High Rock, **I.** Morris Landing.

Tabla III. Resultados estadísticos DSASweb para las cinco zonas de estudio.

Transec- to	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR
0	2,19	0,04	7,91	0,15	-3,39	-0,06	-1,38	-0,03	-2,98	-0,06
1	38,70	0,72	27,01	0,50	-4,04	-0,07	-21,86	-0,40	-22,54	-0,42
2	16,89	0,31	29,21	0,54	7,03	0,13	-23,93	-0,44	-24,92	-0,46
3	7,50	0,14	21,47	0,40	11,31	0,21	-24,10	-0,45	-16,74	-0,31
4	0,48	0,01	22,00	0,41	2,87	0,05	-15,50	-0,29	-23,56	-0,44
5	-3,09	-0,06	28,04	0,52	1,73	0,03			-18,75	-0,35
6	-2,17	-0,04	6,53	0,12	1,35	0,02			-15,13	-0,28
7	-3,93	-0,07	9,52	0,18	5,16	0,10			-12,86	-0,24
8	-6,86	-0,13	40,98	0,76	11,95	0,22			-20,87	-0,39
9	-9,94	-0,18	56,99	1,06	37,31	0,69			-16,27	-0,30
10	-16,14	-0,30	81,80	1,51	6,93	0,13			-18,31	-0,34
11	-12,98	-0,24	86,27	1,60	-2,58	-0,05			-27,43	-0,51
12	3,36	0,06	103,53	1,92	-7,62	-0,14			-35,06	-0,65
13	1,02	0,02	94,43	1,75	5,37	0,10			-48,97	-0,91
14	4,12	0,08	97,15	1,80	1,22	0,02			-52,43	-0,97
15	3,85	0,07	92,78	1,72	3,26	0,06			-42,86	-0,79
16	3,18	0,06	111,18	2,06	4,81	0,09			-27,66	-0,51
17	-4,66	-0,09	117,91	2,18	0,01	0,00			-24,40	-0,45
18	-13,03	-0,24	136,43	2,53	9,29	0,17			-16,64	-0,31
19	-7,68	-0,14	133,11	2,46	-1,48	-0,03			-14,26	-0,26
20	-4,64	-0,09	135,49	2,51	-0,63	-0,01			-9,93	-0,18
21	-2,47	-0,05	127,06	2,35	-4,20	-0,08				
22	-6,17	-0,11	108,03	2,00	3,07	0,06				
23	-11,42	-0,21	80,89	1,50	16,13	0,30				
24	-23,96	-0,44	77,93	1,44	17,37	0,32				
25	-19,89	-0,37	86,20	1,60	13,64	0,25				
26	-5,37	-0,10	108,19	2,00	10,58	0,20				
27	13,49	0,25	78,77	1,46	11,84	0,22				
28	20,33	0,38	51,79	0,96	4,73	0,09				
29	23,84	0,44	68,11	1,26	18,13	0,34				
30	23,08	0,43	107,33	1,99	32,46	0,60				
31	19,97	0,37	85,79	1,59	39,52	0,73				
32	2,01	0,04	96,24	1,78	24,22	0,45				
33	2,51	0,05	24,01	0,44	9,60	0,18				
34	8,99	0,17	149,11	2,76	17,25	0,32				
35			253,18	4,69	11,67	0,22				
36			189,40	3,51	6,60	0,12				

Tabla IV. Resultados estadísticos DSASweb para las cinco zonas de estudio.

Transec- to	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4		Zona 5	
	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR	NSM	EPR
37			191,49	3,55	2,81	0,05				
38			185,64	3,44	9,06	0,17				
39			191,34	3,54	13,28	0,25				
40			727,93	13,48	18,95	0,35				
41			740,81	13,72	29,25	0,54				
42			297,79	5,51	34,68	0,64				
43			270,19	5,00	42,78	0,79				
44			253,17	4,69	49,52	0,92				
45			216,22	4,00	35,90	0,66				
46			234,31	4,34						
47			812,95	15,05						
48			913,64	16,92						
49			846,88	15,68						
50			388,05	7,19						
51			325,22	6,02						
52			56,74	1,05						
53			25,69	0,48						
54			83,26	1,54						
55			60,10	1,11						
56			40,38	0,75						

En el costado oeste de la Isla, se encontró que entre los años 1954 y 2010, no se presentó prácticamente ningún grado de erosión y por tanto, ningún cambio significativo en las unidades geomorfológicas asociadas al litoral. En cuanto a la zona norte, el mayor cambio positivo (avance hacia el mar) en la línea de costa se encontró en la zona 2, de la delimitación realizada, ubicada entre Paradise Point hasta Hooker Bight con un avance promedio de 3.24 m/año, siendo el sector más representativo el transecto 48, con un avance de 16.92 m/año. A pesar de lo anterior, este cambio notorio en la línea de costa no es atribuible a efectos naturales, dado que es producto del alto nivel de antropización que se presenta en esta zona.

Por su parte, el mayor cambio negativo (retroceso hacia tierra) en la línea de costa, se encontró en la zona 5, de la delimitación realizada, ubicada en Sound Bay, con un retroceso promedio de 0.43 m/año, siendo el sector más

representativo el transecto 14. Se infiere que este cambio se debe en parte a causas antrópicas y en parte a causas naturales, sin embargo se hace necesaria una profundización en el análisis holístico considerando los procesos costeros presentes y la afectación por las actuaciones antrópicas, para establecer con certeza la principal causa de este retroceso.

Considerando que se analizaron recursos, tradicionalmente clasificados como tal, y bajo la premisa de que las opciones de desarrollo de una región están en mayor o menor grado condicionadas por las circunstancias de su medio ambiente, y en particular por la oferta natural de recursos [11], se hace urgente que el estado colombiano aplique esquemas de planificación del desarrollo de la isla que propendan por el aprovechamiento sustentable del potencial regional del archipiélago. Esto en aras de evitar el manejo inadecuado de los recursos, agua, suelo y pesca, los cuales son limitados y frágiles.

Ante la inminente necesidad de verificar el nuevo curso de desarrollo de la isla, se considera que el principal patrimonio actual de la isla radica en sus recursos naturales y medioambientales, los cuales podrían convertirse en el eje sobre el cual graviten las nuevas alternativas de desarrollo de la isla. Es aquí donde la investigación científica marina que se desarrolle cobra una inmensa importancia como dinamizadora del desarrollo venidero para San Andrés.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIRECCIÓN GENERAL MARITIMA – CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL CARIBE 2009. Caracterización físico-biótica del litoral Caribe colombiano, Tomo I, Capítulo VI. Ed. Dimar, Serie Publicaciones especiales CIOH vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia.
- [2] BUSH HOWARD, H. Desarrollo urbano en la isla de San Andrés. Nueva Frontera. pp 9-11. 1990.
- [3] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC, Subdirección Agrológica 1997. Estudio semidetallado de suelos de las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Bogotá D.E.
- [4] DIRECCIÓN GENERAL MARITIMA – CENTRO DE INVESTIGACIONES OCEANOGRÁFICAS E HIDROGRÁFICAS DEL CARIBE 2009. Geografía Submarina del Caribe colombiano. Ed. Dimar, Serie Publicaciones especiales CIOH vol. 4. Cartagena de Indias, Colombia.
- [5] Diaz, J. Atlas de los Arrecifes Coralinos del Caribe Colombiano: Complejos Arrecifales Oceánicos. Invemar. 83. pp 29-36. 1996.
- [6] Burgl, H. Contribución a la estratigrafía y litogénesis de la isla de San Andrés. Boletín Geológico. Vol. 7, No. 1,3. 1959.
- [7] Ojeda, J. Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, Tendencias y propuesta. Departamento de Geografía Física y AGR, Universidad de Sevilla. Boletín de la A.G.E No. 30 – 2000 p. 103-118.
- [8] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC. Subdirección Agrológica. Estudio semidetallado de suelos de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina: intendencia de San Andrés y Providencia. 1975
- [9] USGS, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change. Installation Instruction and User Guide. Update for version 4.2. 2009.
- [10] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS “JOSÉ BENITO VIVES DE ANDREIS”-INVEMAR. CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ARCHIPIELAGO DE SAN ANDRES, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA – CORALINA. Atlas de la reserva de biósfera Seaflower, Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 2012.
- [11] Marquez, G. El Archipiélago Posible: Ecología, Reserva de Biosfera y desarrollo sostenible en San Andrés, Providencia y Santa Catalina. pp 15-33. 2006.

