

Análisis multitemporal de la línea de costa en la isla de Tierrabomba y proyección del mapa de inundación por aumento del nivel medio del mar

Shoreline multi-temporal analysis on Tierrabomba island and flood map projection by mean sea level

Fecha de recepción: 2014-06-02 / Fecha de aceptación: 2014-09-08

Marco Antonio Castillo Charris¹, Efraín Alberto Gamarra Mendoza²

Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla". Barrio El Bosque, Isla Manzanillo. Cartagena, Colombia.
Correo electrónico: macasti86@gmail.com¹, egamarra_17@hotmail.com².

Castillo Charris MA, Gamarra Mendoza EA. Análisis multitemporal de la línea de costa en la isla de Tierrabomba y proyección del mapa de inundación por aumento del nivel medio del mar. Bol. Cient. CIOH 2104; (32):163-177.

RESUMEN

Se realizó un estudio espacio-temporal de la línea de costa de la isla de Tierrabomba, mediante el análisis de imágenes satelitales, ortofotografías y fotografías aéreas para el periodo comprendido entre 1954 y 2013, suministradas por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Para ello se empleó como herramienta un Sistema de Información Geográfica, útil para la georreferenciación de las imágenes y la digitalización de las líneas de costa, haciendo una división de la Isla en cinco sectores para identificar zonas de erosión y acreción, con su respectiva tasa de cambio anual mediante el Método del Punto Final e identificación de zonas de inundación, haciendo la proyección del aumento del nivel medio del mar con una tendencia de aumento de 5.3 mm+0.3mm/año, mediante un modelo digital de elevación en la herramienta SIG con datos *Ligth Detection and Ranging*. Se observó que la tendencia general de la línea de costa es erosiva, con zonas de acreción generadas por obras antrópicas artesanales desarrolladas por los nativos, la tasa máxima de erosión fue de 2.22 m/año en el sector *Charlie* (zona norte de la Isla) y la máxima de acreción fue de 1.31 m/año en el sector Delta (zona este de la Isla), para un total de 52.5 Ha erosionadas y 10.1 Ha de acreción durante 1954-2013. Las áreas que se identificaron como zonas de inundación por aumento del nivel medio del mar coincidieron con marismas y lagunas costeras que los nativos de la región denominan salinas, abarcando un área total de 186 Ha para una proyección de aumento del MLS para el año 2114.

PALABRAS CLAVES: georreferenciación, SIG, ortofotografías, aumento nivel medio del mar, erosión, acreción, tasa de cambio anual, modelo digital de terreno, zonas de inundación, LiDAR.

ABSTRACT

A space-time study of the coastline of the island of Tierrabomba was performed by analyzing satellite images, aerial photographs and orthophotos for the period 1954-2013 provided by the Center for Oceanographic and Hydrographic Research Caribbean - CIOH. This tool was used as a System of Geographic Information Systems (GIS) for Georeferencing images and digitized shorelines, making a division of the island into five sectors to identify areas of erosion and accretion rate with their respective Annual change by End Point Method (EPR) and identification of flood zones by the projection of the increase in mean sea level with an increasing trend of 5.3mm+0.3mm yr⁻¹ using a digital elevation model into the tool GIS data with LIDAR (*Ligth Detection and Ranging*). It was observed that the general trend of the shoreline is eroding with accretion areas generated by anthropogenic craft works developed by the natives, the maximum erosion rate was 2.22mts yr⁻¹ in the sector "Charlie" (northern Island) and the maximum accretion was 1.31mts yr⁻¹ in the sector "Delta" (east side of the island) industry for a total of 52.5 and 10.1 Ha eroded accretion during 1954-2013. The areas identified as flood zones by increasing the mean sea level coincided with marshes and coastal lagoons that the natives of the region called "Salinas". each proposed scenario. The dynamic regionalization of the island of Santo Domingo allowed to identify surface mesoscale oceanographic structures as eddies and filaments for the month of February 2005.

KEYWORDS: georeferencing, GIS, orthophotography, rising mean sea level, erosion, accretion, annual rate of change, digital terrain model, flood zone, LiDAR.

INTRODUCCIÓN

La línea de costa de la isla de Tierrabomba ha tenido una gran evolución durante el transcurso de la historia por diferentes alteraciones del equilibrio de la zona [1]; sin embargo, el principal problema que afecta la dinámica de la línea de costa a nivel mundial es el oleaje [2]. Una de las comunidades afectada por esta problemática es la comunidad de Tierrabomba que se encuentra ubicada en la parte norte de la Isla, la cual se ve afectada por fuertes oleajes en especial durante la época seca [3].

Por otra parte, hace unas décadas se ha venido analizando el traslado de la Base Naval hacia la isla de Tierrabomba, hecho oficializado por el señor Presidente de la República mediante el Decreto 2731 del 23 de noviembre de 2013, el cual declara de "Interés nacional la construcción

de la nueva Base Naval del Caribe en la Isla de Tierrabomba".

Por la importancia que representa la isla de Tierrabomba a futuro, tanto para la Armada Nacional, Cartagena de Indias y el país, surge la iniciativa y objeto de la presente investigación para lo cual se realizó un estudio espacio-temporal de la línea de costa de la Isla mediante el análisis de imágenes satelitales, ortofotografías y fotografías aéreas para el periodo comprendido entre 1954 a 2013 suministradas por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y la determinación de las zonas de inundación a través de un modelo digital de terreno, con una proyección de aumento del nivel medio del mar de 5.3mm+0.3mm/año [4] y una proyección con tiempo de retorno 10, 20, 50 y 100 años.

ÁREA DE ESTUDIO

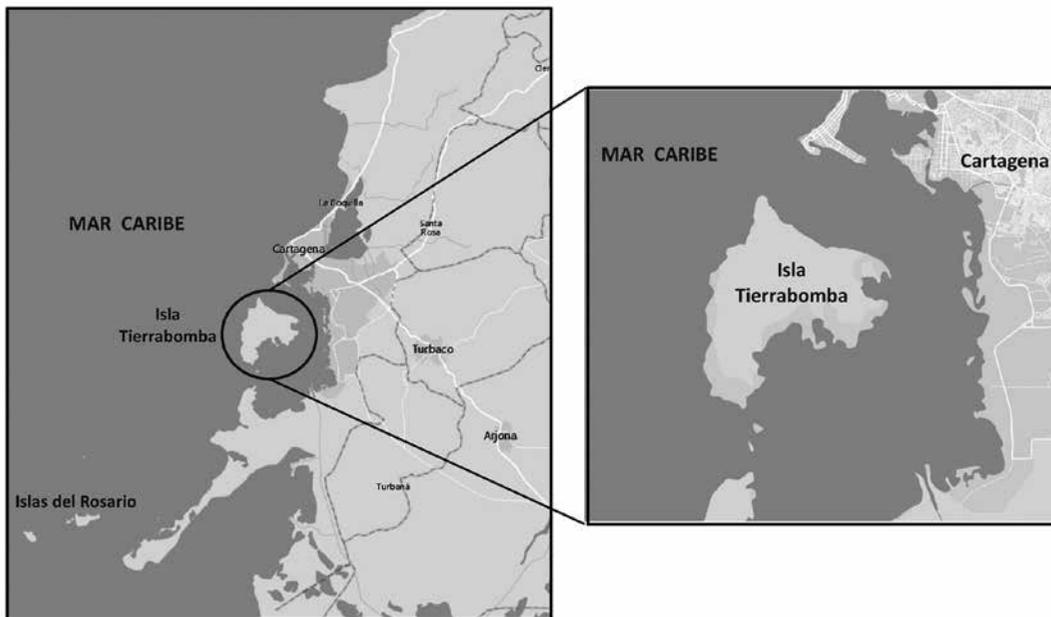


Figura 1. Ubicación isla de Tierrabomba, imagen satelital 2009 Google Earth.

La isla de Tierrabomba se encuentra ubicada entre los 10°22'55.62"N y 75°35'37.24"W y los 10°19'06.53"N con 75°32'12.29"W (Fig. 1). La geformas predominantes en ella corresponden a una terraza coralina hacia la parte de Bocachica; lomas y colinas en la parte central de la isla; terraza marina alta en la parte norte-occidental;

terracea marina baja y algunas lagunas costeras en el sector oriental de la isla; mientras que hacia la parte norte existe una extensa zona conformada por una plataforma de abrasión elevada, formada por la acción abrasiva del mar en el pasado que no permite la acumulación de sedimentos [5]. Está constituida por rocas

sedimentarias conformadas por calizas arrecifales en capas medias y gruesas intercaladas con capas delgadas estratificadas areno-lodosas que contienen abundantes fragmentos de moluscos y corales, subyacente con limolitas calcáreas, grises, con intercalaciones de areniscas grises, con restos calcáreos y de corales [6]. Su vegetación corresponde a bosque seco tropical húmedo, presentando vegetación xerofítica y subxerofítica en matorral y zonas definidas de Manglar [7]. Su clima se caracteriza como tropical semiárido. Las temperaturas anuales en el sector tienen un promedio de 27.9°C, con variaciones mensuales de menos de 2°C [8]. Por su ubicación, el régimen climático se encuentra influenciado por el desplazamiento norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que hace que el régimen de vientos se caracterice por los Alisios provenientes del norte y noreste (época seca) y este-suroeste (época húmeda) [9]. Con un promedio de 90 % de humedad, con un ciclo de lluvias que inicia generalmente en

mayo y se extiende hasta noviembre, con una disminución entre junio y julio [1].

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación se realizó un análisis de tipo descriptivo y comparativo del comportamiento de la línea de costa a través de los años de estudio comprendidos entre 1954 y 2013, para posteriormente realizar un análisis descriptivo de los resultados, identificando posibles causas y orígenes de los procesos costeros en el área de estudio.

Inicialmente se realizó una recopilación de la información mediante la recolección de imágenes satelitales, aéreas y ortofotografías de la isla de Tierrabomba, realizándose un análisis de estas mismas para determinar su calidad y determinar cuáles podían ser empleadas dentro de la investigación y se eligieron las que se relacionan en la Tabla I y se muestran en la Figura 2.

Tabla I. Relación de imágenes utilizadas en la investigación.

Vuelo	Fuente	Tipo de imagen	Escala	Fecha	Cantidad
M-1712	IGAC	Fotografía aérea	1:30000	1954	1
M-1442	IGAC	Fotografía aérea	1:60000	1974	1
N/A	CIOH	Línea de costa – GPS diferencial	N/A	2005	01
N/A	GAPA	Ortofotografía	N/A	2013	01
Total					4

Una vez realizada la georreferenciación se creó una geodatabase, con el fin de almacenar y estructurar la información digitalizada de las líneas de costa y línea base. Luego, con el apoyo de la extensión *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) se realizó un análisis para determinar las tasas de avance y retroceso de la línea de costa para el periodo de estudio. Debido a la gran extensión de la Isla fue necesario dividir ésta en cinco sectores (Alpha, Bravo, Charlie, Delta y Eco).

Concluida la comparación entre cada una de las líneas de costa para cada período, de manera consecutiva por sectores de la Isla se generaron polígonos entre las áreas producidas por la intersección de las líneas, con el fin de determinar las áreas de erosión y acreción, útiles

para determinar las principales zonas donde se presentan impactos negativos producto de estos procesos como se observa en la Figura 3.

Ya identificadas las principales zonas de erosión y acreción se determinó el nivel de variación de la línea de costa, calculando la tasa de erosión y acreción anual. Para ello se trazó una línea base por la parte interior de la Isla (*onshore*) y otras por fuera de tierra (*offshore*) debido a la geografía del área de estudio. Posteriormente, se trazaron unos transeptos espaciados a 50 m, con una longitud de 100 m para los primeros cuatro sectores. Para el sector Eco se utilizaron transeptos de 100 m de longitud, espaciados cada 20 m, con el fin de tener un mejor resultado de la tasa de cambio como se observa en la Figura 3.

Para el cálculo de la tasa de cambio de la línea de costa se empleó el método *End Point Rate* (EPR, por sus siglas en inglés) de la herramienta DSAS versión 4.2 con el software ArcGIS. Este método proporciona información de cómo se comporta la tasa de cambio anual entre dos fechas, haciendo el cálculo entre la cantidad de costa erosionada o en acreción, dividida entre el número de años resultado de la diferencia de las fechas de las líneas de costa. La desventaja de este método es que no tiene en cuenta las líneas de costa intermedias.

Una vez obtenidos los dos resultados (zonas de erosión/acreción y la tasa de cambio de la línea de costa) se realizó un análisis descriptivo de los mismos, buscando determinar la tendencia de la línea de costa por sectores, tratando de identificar las zonas donde se presenta un impacto negativo en la Isla y describir las posibles causas que inciden en la variación de la misma. Para esto se realizó una recopilación bibliográfica que describe el comportamiento de los principales factores que afectan los procesos costeros de la Isla, tales como el clima de la zona, oleaje, vientos y

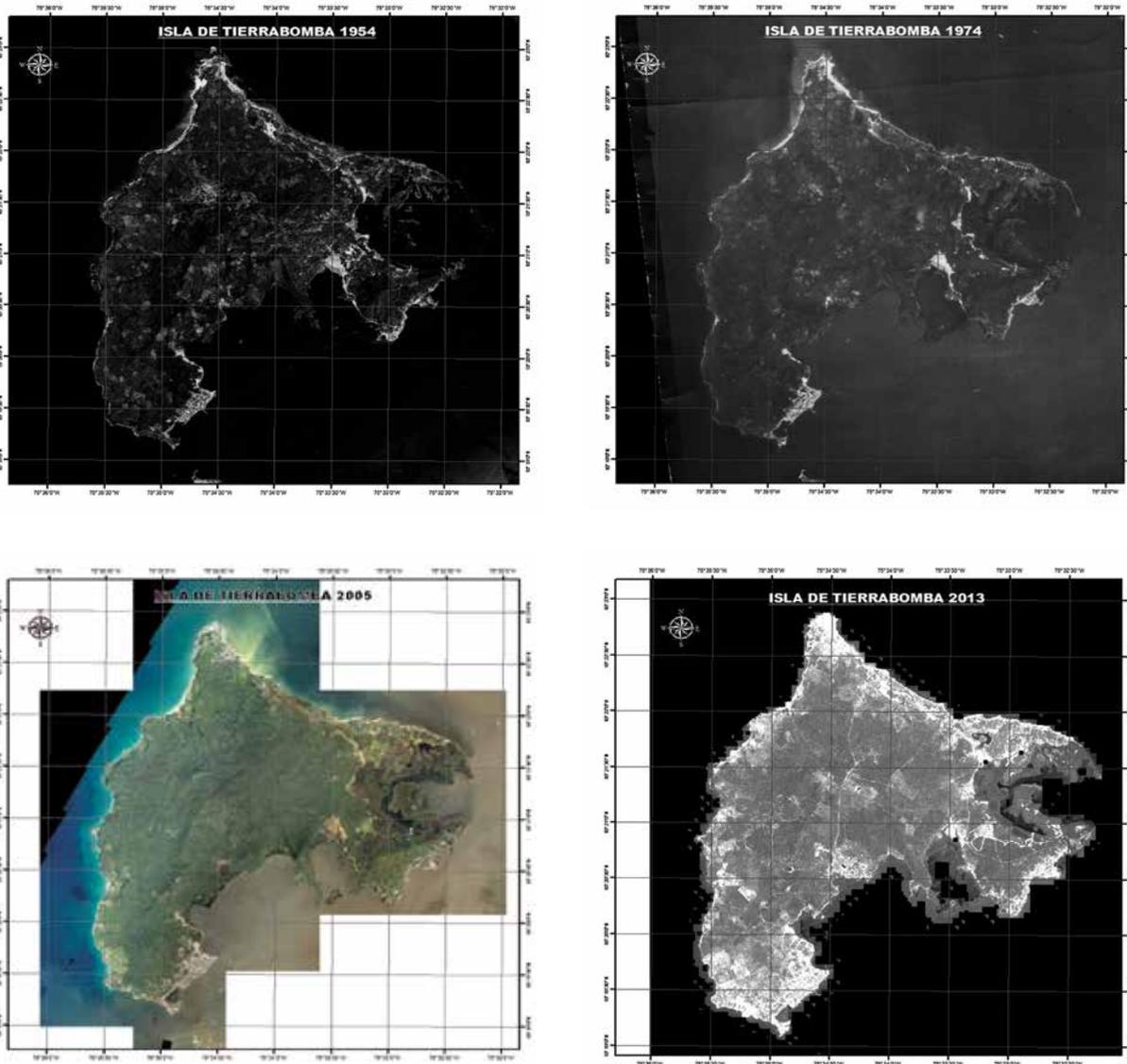


Figura 2. Imágenes georreferenciadas y ortofotografías de la Isla, obtenidas en el CIOH.

una investigación de los procesos antropogénicos que también han afectado a la isla, logrando una descripción de la situación actual de la línea de costa.

Posteriormente se realizó una proyección del aumento del nivel medio mar para identificar las zonas de inundación de la isla usando datos *Ligth Detection and Ranging* (LiDAR) de los años 2005–2006, suministrados por el CIOH con una densidad promedio de puntos de 5 por metro cuadrado, los cuales fueron procesados a través de un modelo digital del

terreno con la herramienta ArcGIS empleando la metodología utilizada por [10]. Sin embargo, para la determinación del nivel medio del mar se utilizó el valor de 0.37 m como MSL anual para la bahía de Cartagena propuesto por [11]. Como cota de ascenso del nivel medio del mar anual se trabajó con un valor de 5.3 mm +0.3mm/año propuesto por [12], para la bahía de Cartagena y un Mean *Lower Spring Sea* (MLWS) de -5.95 el cual es el valor más bajo de elevación registrados por los datos LiDAR, los cuales se encuentran referenciados al elipsoide WGS-84.

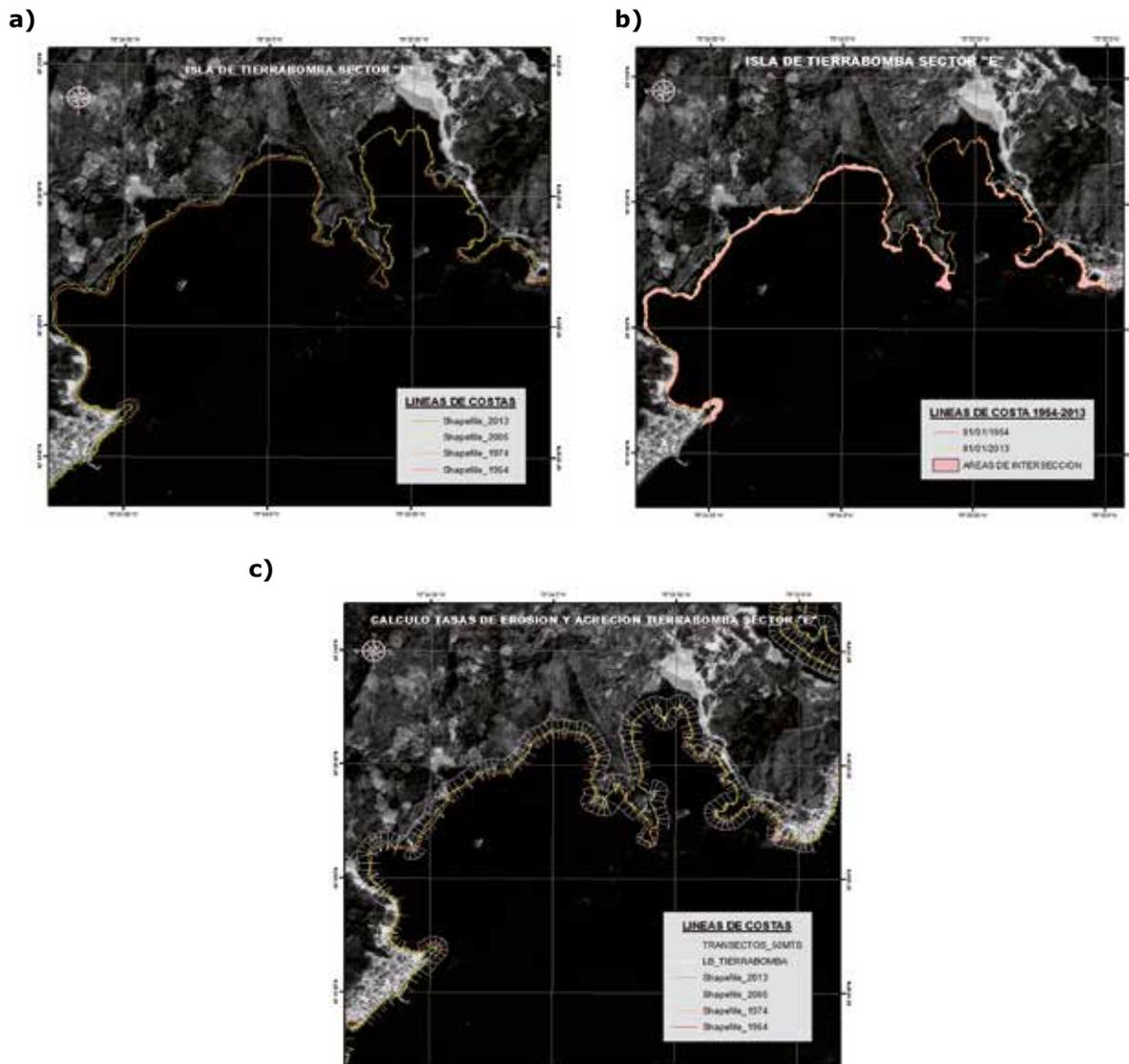


Figura 3. Identificación de las zonas de erosión y acreción con sus respectivas tasas de cambio. **a)** Líneas de costa digitalizadas sector Eco. **b)** Áreas de intersección entre las líneas de costa sector Eco. **c)** Transeptos espaciados a 20 m en el sector Eco.

De esta forma se hallaron los valores utilizados para la proyección del aumento del nivel medio

del mar para un período de retorno de 10, 20, 50 y 100 años (Fig. 4, ecuación 1 y Tabla II).

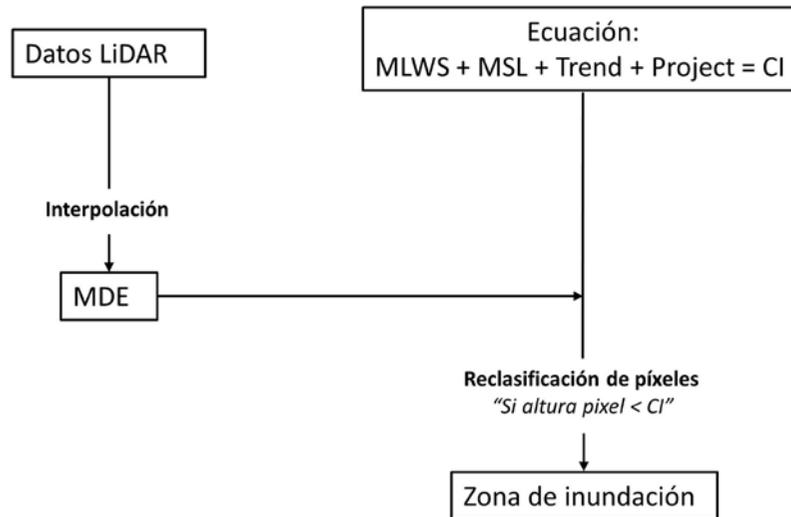


Figura 4. Metodología para la obtención de las zonas de inundación

$$\begin{matrix}
 \text{MLWS} & & \text{MSL} & & \text{Trend (mm yr}^{-1}\text{)} & & \text{Project (yr)} \\
 -5.95 \text{ m} & + & 0.37\text{M} & + & 5.3 \pm 0.3 & \times & 10
 \end{matrix} \quad (1)$$

Tabla II. Tabla de datos para el MDT para la proyección de aumento del MSL.

Proyección (año)	Aumento MSL (m)	Altura respecto al Elipsoide WGS84 (m)
2014	0.4866	5.4634
2034	0.5926	5.3579
2064	0.7516	5.1984
2114	0.7516	4.9334

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la Figura 5 y tablas III y IV, la tendencia general de la línea de costa es erosiva, lo cual puede ser producto del fuerte oleaje proveniente de mar afuera cuya dirección predominante es N y NE, afectando las zonas N, NW, W y SW de la Isla, con altura significativa (Hs) entre 1 y 7 m y un periodo (T) entre los 4 y

14s [13], que al aproximarse a la costa cambia su dirección con tendencia paralela a la línea de costa por los efectos de la refracción y junto con el efecto del *shoaling*, perdiendo un 70 % de su amplitud y entre un 87 y 90 % al aproximarse al corregimiento de Tierrabomba y Punta Arena, respectivamente; generando un gran impacto en la morfología de la zona, contribuyendo con la erosión y el transporte de sedimentos [1].

De manera paralela hay que tener en cuenta que el aporte de sedimentos para la parte externa de la Isla es escaso, debido a que la mayoría de partículas que vienen con la deriva litoral en sentido norte-sur, provenientes de la erosión de las formaciones detríticas que constituyen los morros y puntas sobresalientes de la costa de los sectores de Los Morros, Punta Canoa, Punta Piedra, Galerazamba, etc., se depositan en La Boquilla, Bocagrande, Castillogrande y El Laguito, respectivamente, formando progresivamente playas extensas [8] [3]. Sin embargo, hay un porcentaje de arenas grises que atraviesan Bocagrande con la ayuda de La Escollera [8], que junto con las partículas que se desprenden del litoral de la Isla, producto del fuerte oleaje que ocasiona la erosión, sufren un transporte en el mismo sentido de la deriva litoral (norte-sur).

La parte interna de la Isla es una zona resguardada del oleaje externo; sin embargo, el oleaje producido por el tránsito de embarcaciones de pequeño y gran tamaño de manera constante, podría ser uno de los factores importantes que genera erosión [3]. Cabe resaltar que la isla inicialmente se encontraba protegida por una ecosistema compuesto por barreras coralinas [6] y extensas praderas marinas que juntos, ayudaban a la protección de la línea de costa; sin embargo, desde la apertura del Canal del Dique este ecosistema tuvo una reducción exponencialmente inversa [7], dejando expuesta y frágil la costa de la parte interna de la Isla a la erosión.

El ecosistema de manglar, conformado por las especies *Rizophora Mangle* (mangle rojo), *Avicennia Germinans* (mangle negro), *Leguncularia Racemosa* (mangle blanco), *Conocarpus Erecta* (mangle zaragosa), han sido el que actualmente ha mantenido la defensa para contrarrestar la erosión de la parte interna de la Isla; sin embargo, como se aprecia en la Figura 5, este ecosistema tuvo un retroceso dentro del periodo de estudio, el cual pudo ser generado por las comunidades de Caño del Oro y Bocachica por la contaminación que generan y la tala que realizan sobre el mismo [3].

Según [3], otro de los posibles factores que generan la erosión en la isla de Tierrabomba en los sectores Alpha, Eco y Delta es el oleaje producido por el tránsito de los buques grandes dentro de la bahía de Cartagena; sin embargo, esta investigación no buscó establecer una

metodología para cuantificar que tanto afecta este hecho en la línea de costa. Teniendo en cuenta el estudio realizado por [14] en la ría de Sevilla (España), donde realizaron propagación de oleaje producida por dos buques tipo granelero y portacontenedores, se dictaminó que la influencia de la hidrodinámica del casco, la velocidad y la profundidad, afectan la generación de oleaje; el cual al propagarse hacia la costa es afectado por la acción de la refracción, el *shoalling*, la fricción del fondo y la rotura del oleaje; concluyendo que éste afecta la costa y como recomendación proponían disminuir la velocidad de navegación para minimizar el efecto del oleaje.

En la actualidad no se ha adelantado ningún estudio en la bahía de Cartagena para establecer el grado de afectación del oleaje producido por buques, por lo cual se hace necesario profundizar en el tema para así determinar con criterio científico su impacto y generar normas que regulen la velocidad de tránsito de los mismos, para minimizar la erosión y conservar el equilibrio de la zona, el cuidado de las infraestructuras y la conservación de la línea de costa.

Otro aspecto a tener en cuenta en la parte exterior de la Isla, que involucra los sectores Charlie, Bravo y Alpha, es el aporte de arenas grises que podrían ser provenientes de la erosión de las formaciones detríticas que constituyen los morros y puntas sobresalientes de la costa (Los Morros, Punta Canoa, Punta Piedra, Galerazamba, entre otros) y que se desplazarían en sentido norte-sur con la deriva litoral hasta depositarse en la parte sur de la Isla [8]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las obras costeras alteran notablemente el equilibrio de una zona y más cuando inciden en el régimen de aporte sedimentológico, como es el caso de la playa de Mazagón, ubicada al sureste de la península Ibérica, la cual presenta una alta erosión producto de la construcción de espolones y obras costeras antes de llegar a ésta, según [15]. Teniendo en cuenta lo anterior, hay que resaltar que durante el trayecto que hay entre las puntas sobresalientes de la costa, mencionadas anteriormente, hasta la isla de Tierrabomba, existen varias obras costeras entre ellas la bocana estabilizada, el túnel del barrio de Crespo, el espolón Iribaren y los espolones de la Avenida Santander; los cuales podrían ser un factor importante que disminuyen el aporte de sedimentos que llegan hasta Tierrabomba.

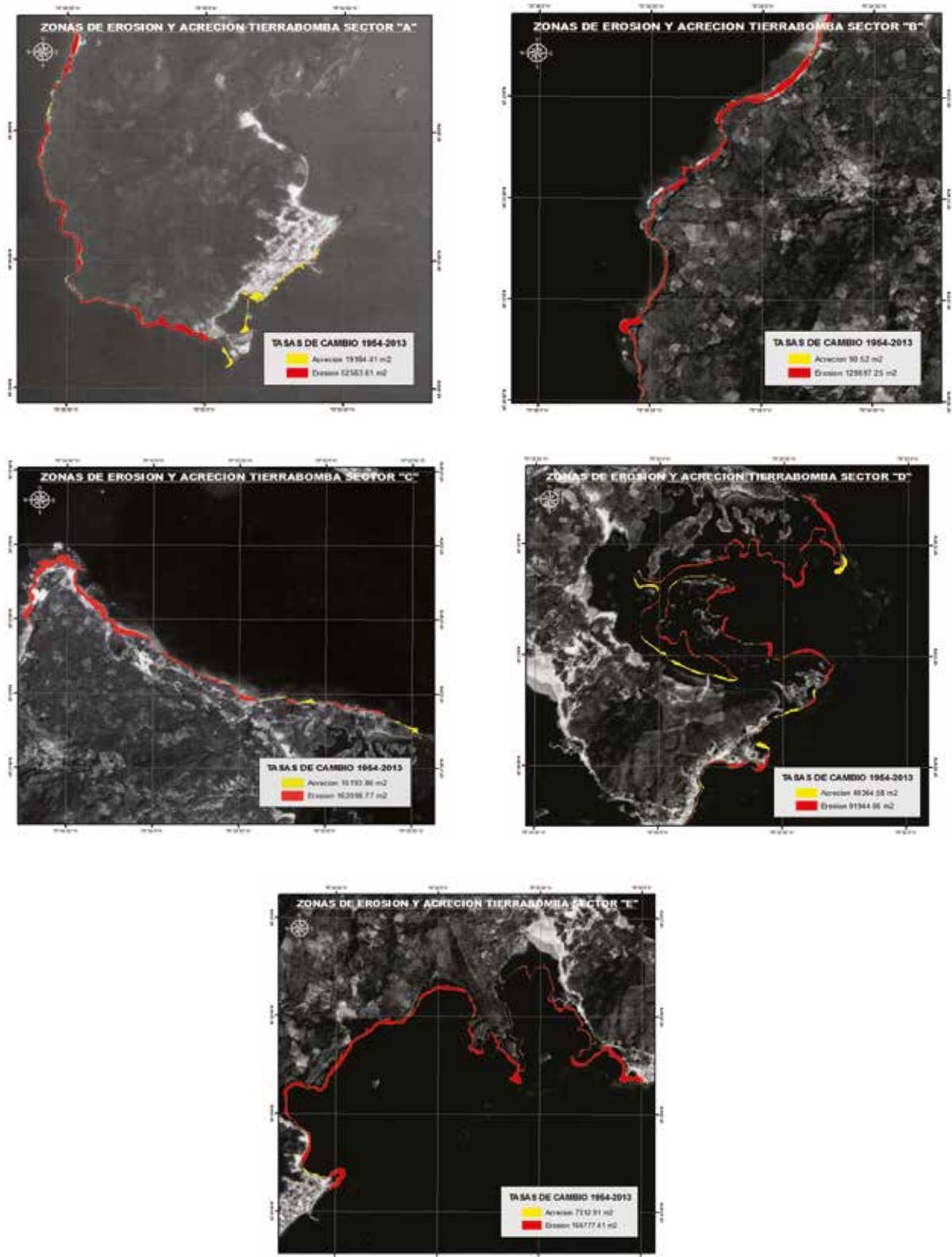


Figura 5. Zonas de erosión y acreción de la isla de Tierrabomba en los cinco sectores.

Tabla III. Porcentaje de áreas de erosión y acreción por sectores en la isla de Tierrabomba.

Sector	Descripción	Valor (m ²)	Ha	% (Ha) de Tierrabomba
Alpha	Erosión	52563.61	5.256361	0.264140071
	Acreción	19184.41	1.918441	0.096404555
Bravo	Erosión	129697.25	12.969725	0.65174825
	Acreción	90.52	0.009052	0.000454877
Charlie	Erosión	162098.77	16.209877	0.814570777
	Acreción	15193.86	1.519386	0.076351439
Delta	Erosión	91944.66	9.194466	0.462035789
	Acreción	40364.58	4.036458	0.202838105
Eco	Erosión	166777.41	16.677741	0.838081649
	Acreción	7312.91	0.731291	0.036748476

Tabla IV. Tasas de erosión y acreción por sectores.

Sector	Método utilizado	No. Transeptos	Tasa de erosión mínima (m/año)	Tasa de erosión máxima (m/año)	Tasa promedio de erosión (m/año)	Área erosión (Ha)	Tasa de acreción mínima (m/año)	Tasa de acreción máxima (m/año)	Tasa promedio de acreción m/año	Área con acreción (Ha)
Alpha	Endpoint (EPR)	132	-0.01	-1.05	-0.26	5.25636	0.01	1.19	0.13	1.918441
Bravo	Endpoint (EPR)	145	-0.01	-1.29	-0.36	5.2564	0.06	0.06	0.06	1.91844
Charlie	Endpoint (EPR)	149	-0.01	-2.22	-0.51	16.21	0.03	0.75	0.16	1.51939
Delta	Endpoint (EPR)	279	-0.01	-1.03	-0.21	9.1945	0.01	1.31	0.13	4.03646
Eco	Endpoint (EPR)	564	-0.01	-1.35	-0.38	16.678	0.01	0.43	0.08	0.73129

Teniendo en cuenta el estudio realizado por [12], en el cual se calculó el aumento del nivel medio del mar para la bahía de Cartagena analizando los factores de variabilidad estérica, altimetría satelital, forzamiento del viento, presión atmosférica, movimientos verticales y datos de mareógrafos desde 1949 hasta 1992, se obtuvo una tendencia de aumento de 5.3 mm + 0.3mm/año, valor que se proyectó desde 1992 hasta 2014, empleando la metodología planteada en la Figura 4 y

utilizando la ecuación 1 con un modelo digital del terreno a través de herramienta SIG. Se identificaron las zonas de inundación para 2014 en la Isla, las cuales se indican en color azul en la Figura 6, y posteriormente una visita de campo realizada el primero de junio 2014 con la ayuda de los nativos de la región se identificaron tres (03) zonas denominadas salinas y una (01) denominada ciénaga, las cuales coincidieron con las zonas de inundación del modelo digital de elevación (Figura 6).

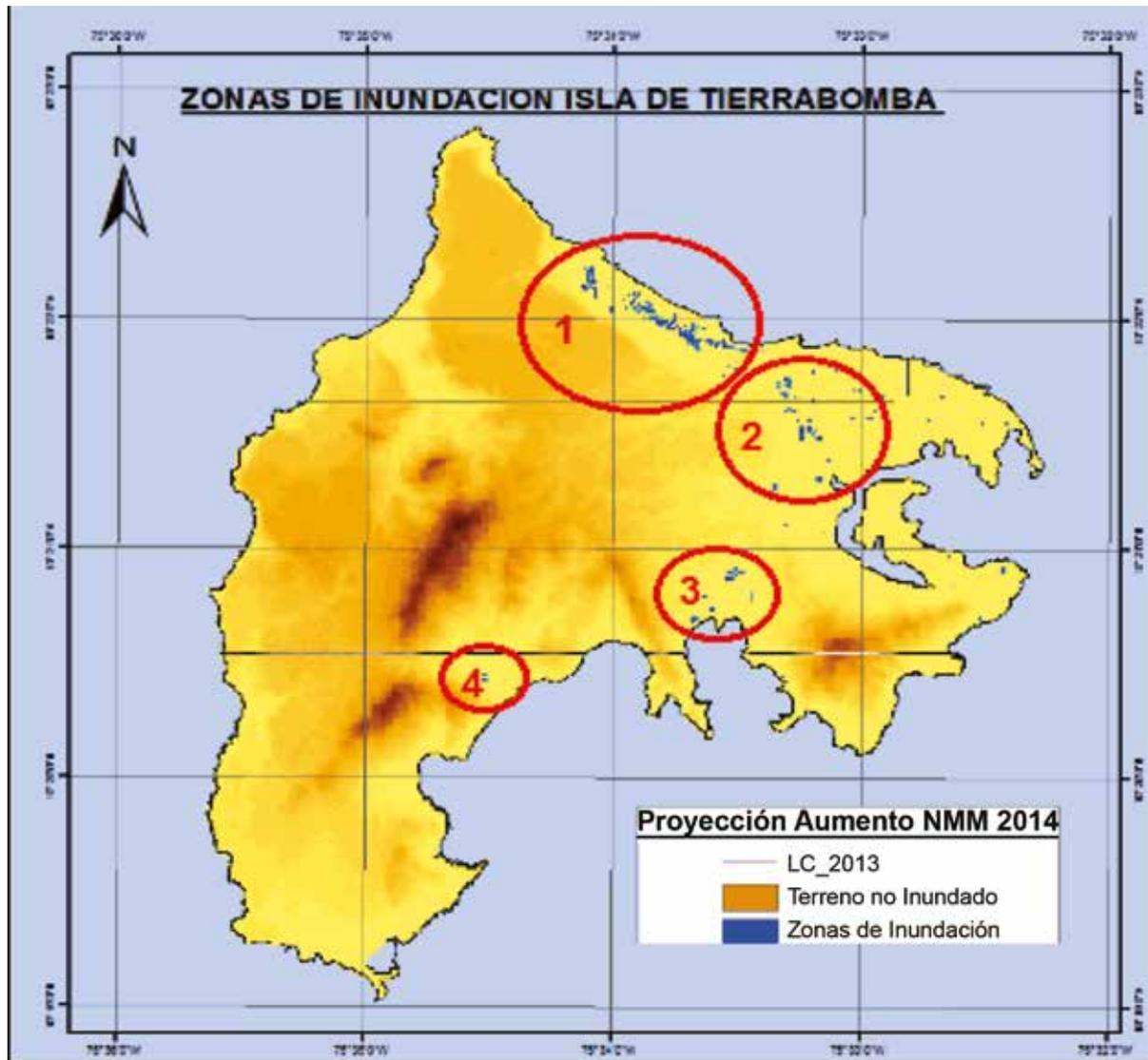


Figura 6. Zonas de inundación con marismas de la isla de Tierrabomba, 2014.

Estos marismas y laguna costera se encuentran ubicadas de norte a sur en las siguientes coordenadas: Zona 1, lat. 10°22'04"N long. 075°33'49"W, denominada El Cañito; Zona 2, lat. 10°21'34"N long. 075°33'10"W, denominada La Honda; Zona 3, lat. 10°20'55"N long. 075°33'29"W, denominada El Viejo Herrera (Figura 7). El marisma se abre de octubre a noviembre que corresponde a la

época húmeda de la zona, momento en el que el nivel del mar aumenta llenándose éste de agua salada de la bahía y mezclándose con agua dulce proveniente de las lluvias de la época. De diciembre a septiembre el marisma se cierra y empieza su proceso de evaporación, hecho aprovechado por los habitantes de la zona para la captura de camarón y recolección de sal marina.

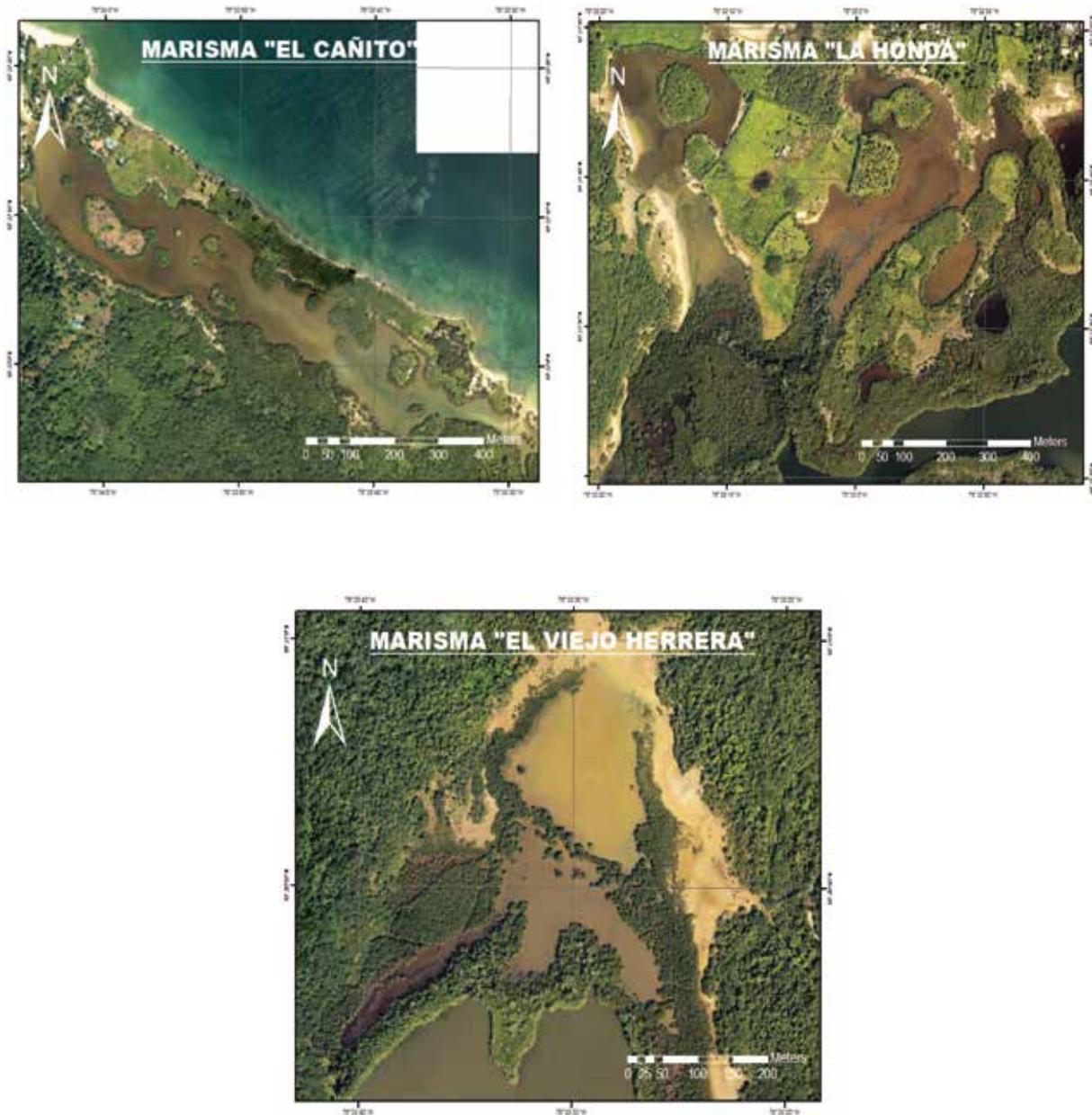


Figura 7. Marismas denominados salinas por los nativos de la región. Ortofotografías isla de Tierrabomba, 2005 (CIOH).

Por último, la Zona 4 se encuentra en las coordenadas lat. 10°20'30"N long. 075°34'27"W, denominada La Ciénaga, ubicada dentro del

sector Planeta, de vital importancia porque es donde se tiene contemplada la ubicación de gran parte de las instalaciones de la nueva Base Naval.

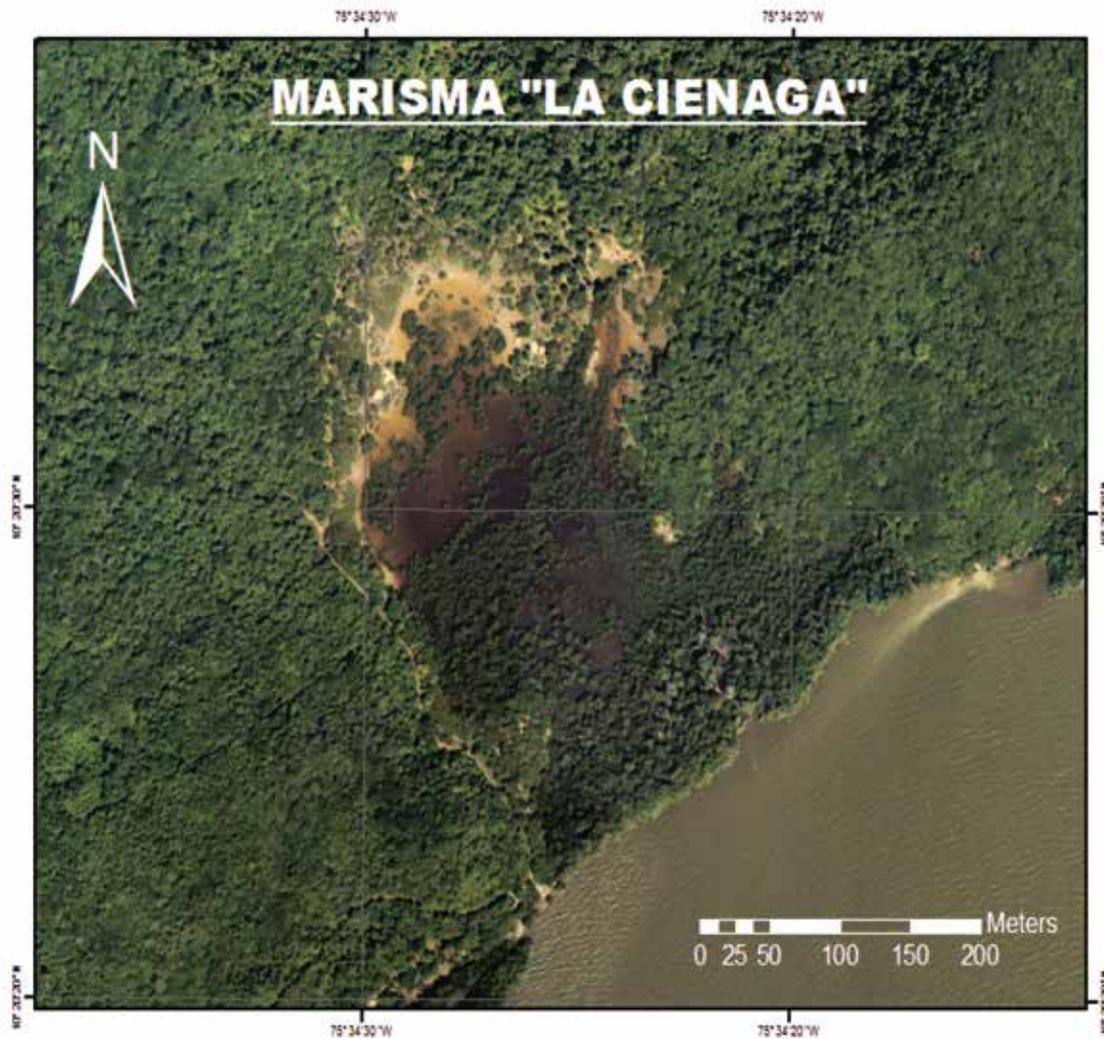


Figura 8. Laguna costera La Ciénaga, ortofotografía isla de Tierrabomba, 2005 (CIOH).

Ésta se considera una laguna costera debido a que todo el año permanece con agua reduciéndose el espejo de agua para la época seca. Presenta comunicación con la bahía de manera intermitente en la época húmeda y es poco explotada por las comunidades de la isla.

Así mismo, se proyectó el aumento del nivel medio del mar teniendo como base el año

2014 para 100 años y se cálculo el total del área inundada para el año 2114, obteniéndose un valor de 186 hectáreas donde se resalta la zona Noreste de la isla como la más afectada (figura 9). Este valor es menor que el planteado por [10], quienes proyectaron un metro por eventual ascenso del nivel medio del mar obteniendo un resultado de 331.1 hectáreas inundadas.

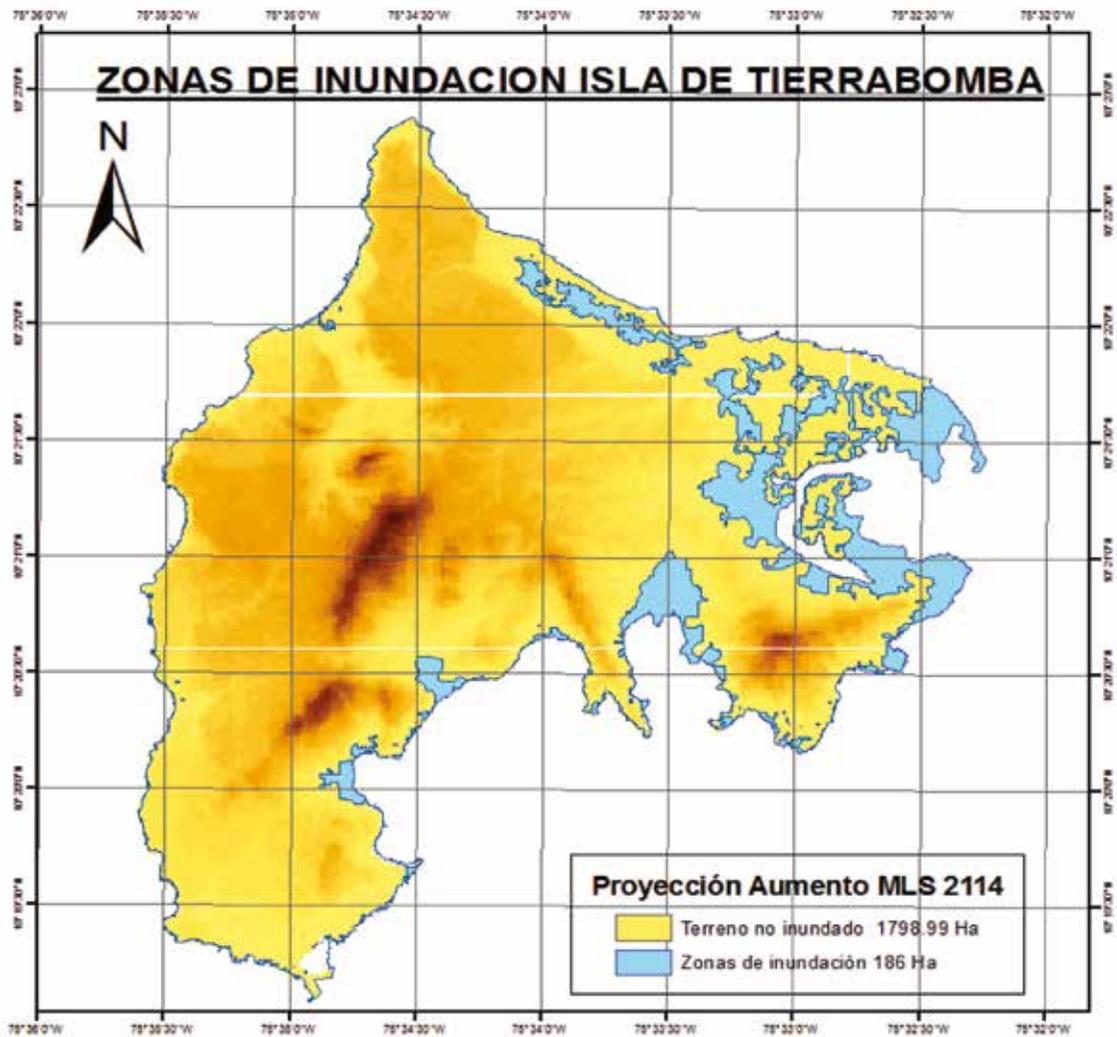


Figura 9. Zonas de inundación. Proyección aumento MLS año 2114, Tierrabomba. Al fondo el MDT de la isla.

CONCLUSIONES

El Canal del Dique, si bien es cierto ha sido una de las principales obras que ha generado un gran aporte para el desarrollo del país desde la época de la Colonia, también ha sido una de las principales causas que ha generado una gran alteración de los ecosistemas de la bahía de Cartagena, dentro de los cuales se encuentran las fanerógamas marinas y los arrecifes coralinos que juntos juegan un papel importante para la defensa de las costas por efecto del oleaje y sirven también

para la captación y producción de sedimentos con el fin de evitar la erosión. Estos ecosistemas se encuentran hoy considerablemente reducidos, además de que también se han visto afectados por la contaminación generada por factores antropogénicos.

Otro ecosistema que se ha visto afectado por la acción del hombre es el manglar; hoy en día es la única barrera que se mantiene viva como defensa de la parte interna de la Isla; sin embargo, actualmente es talado por las comunidades para

su uso, por lo cual se recomienda regular esta actividad e incentivar campañas de sensibilización acerca de la importancia de este ecosistema para la protección de los mismos por parte de las autoridades pertinentes. Sin embargo, es de resaltar que el factor antropogénico que más genera la erosión en la parte interna de la Isla es el oleaje producido por el tránsito de embarcaciones tanto menores como mayores; por lo cual se recomienda ejercer un mayor control por parte de las autoridades ante esta situación.

Por otro lado, la parte externa de la isla ha sido la que más ha sufrido el problema de la erosión, lo cual se evidencia en la punta norte de la Isla donde se encuentra ubicada la comunidad de Tierrabomba, hoy afectada por esta situación; razón por la cual se recomienda adelantar estudios que permitan diseñar y desarrollar obras costeras para preservar la línea de costa. Finalmente, se recomienda tener en cuenta que para el traslado de la Base Naval a la Isla, la tendencia general de la línea de costa es erosiva y que junto con las zonas de inundación juegan un papel importante para determinar la mejor ubicación de las nuevas infraestructuras e instalaciones del proyecto teniendo en cuenta que de acuerdo con la proyección realizada del aumento del nivel medio del mar, se encontró que existen zonas inundadas en los predios asignados a la Armada. Dado lo anterior se recomienda aumentar los estudios en la Isla para así obtener una mayor información del área que sirva como ayuda para la toma de decisiones durante la planeación y ejecución del proyecto.

Por otra parte, el perfil de equilibrio de la Isla en el sector Alpha fue afectado por el dragado realizado en el siglo XX para la ampliación del canal principal de acceso a la bahía de Cartagena, que sumado al oleaje y al poco aporte de sedimentos han hecho que dicho perfil no se estabilice de manera natural, a menos que haya una intervención del hombre para recuperarlo y así evitar que continúe la tendencia erosiva que se pudo evidenciar en el desarrollo del presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan agradecimientos al CIOH por la información suministrada y el asesoramiento brindado. A la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" por la enseñanza recibida y a la Armada Nacional de Colombia por

brindar el espacio para llevar a cabo el desarrollo del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- [1] Arrieta A, Moreno D, Covo A, Barboza G, Corrales J, Wood W, et al. Estudios y diseños de alternativas para la estabilización de la boca de El Laguito y un sector de la línea de costa de la isla de Tierrabomba. Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia; 2009. Pp. 71-73.
- [2] Horrillo J, Maza M, Retman P. Estudio de playas en la bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia. Scribd; 1972. Recuperado en: <http://www.scribd.com/doc/100077202>.
- [3] Amell A, Díaz A, Peña A, Martínez A, Martínez G, Leauttau C, et al. Ayer y hoy Tierrabomba. Bogotá D.C. Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2012. Pp. 04-85.
- [4] Torres R, Sergui L. Estudio del espectro de oleaje en el Caribe observado con boyas y su representación en el espectro JONSWAP. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH No. 2007;25:08-18. SSN 0120-0542.
- [5] Afanador F, Gómez J, Orozco F, Carvajal A. Ortofotografía digital y datos LiDAR para el control y administración del litoral de la isla de Tierrabomba, Caribe Colombiano. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH No. 2008;26:86-103. ISSN 0120-0542.
- [6] Vernet G, Buitrago J, Campos N, Llano M. Variaciones morfológicas de las costas de la bahía de Cartagena a partir del siglo XVI, Cartagena de Indias. Colombia. Bol. Cient. CIOH No. 1977;1. ISSN 0120-0542.
- [7] Díaz J, Gómez D. Santa Marta. Cambios históricos en la distribución y abundancia de praderas de pastos marinos en la bahía de Cartagena y áreas aledañas (Colombia). Bol. Invest. Mar. Cost. 2003;32:57-74. ISSN 0122-9761.
- [8] Pagliardini J, Gómez M, Gutiérrez H, Zapata S, Jurado A, Garay J, Vernet G. Síntesis del proyecto bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH 1982;4:49-110. ISSN 0120-0542.

- [9] Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Climatología de Cartagena. Colombia. 2009. Recuperado en: http://www.cioh.org.co/index.php/component/docman/doc_download/228-climatologia-ctg (04/05/2014). Sea. J.Geophys. Res. Oceans 2013; 118, doi: 10.1002/jgrc.20229.
- [10] Afanador F, Torres R, Gómez J, Gutiérrez J. LiDAR y fotografía aérea digital en la determinación del impacto del aumento del nivel medio del mar en el sector de La Boquilla. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH 2006;24: 94-106. ISSN 0120-0542.
- [11] Pulido D, De Lisa A, Viteri D, Guzmán R. Determinación de los datums de referencia vertical con fines hidrográficos para la bahía de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH 2013;3.1 ISSN 0120-0542.
- [12] Torres RR, Tsimplis MN. Sea level trends and interannual variability in the Caribbean Sea. J.Geophys. Res. Oceans 2013; 118, doi: 10.1002/jgrc.20229.
- [13] Giraldo L, Serguei L. Cálculo del oleaje y el transporte de sedimentos en costa Caribe colombiana. Cartagena de Indias, Colombia. Bol. Cient. CIOH 1998;18: 39-49. ISSN 0120-0542.
- [14] Borenguer I, Iribarren J, López C, Herreros M, Souto A. Estudio de generación de oleaje por el buque en la ría de Sevilla, España. Recuperado en: <file:///C:/Users/Marco/Downloads/Est%C3%BAdio%20de%20generaci%C3%B3n%20de%20oleaje%20por%20el%20buque.pdf>.
- [15] Ballesta M, Morales J, Acosta E. Efecto erosivo de los temporales del invierno 1995-1996 sobre la playa Mazagón (Huelva, SO España): Influencia de las construcciones costeras. España. Rev. Soc. Geol. 1998;11(3-4):285-296.