

**CAMBIOS EN EL PAISAJE COSTERO AL NOROESTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE BOLÍVAR Y
SUCRE DESDE 1988 HASTA 2017**



LADY MARCELA GÓMEZ GUALDRÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Especialista en Geomática

Director:

Ingrid Tatiana Ferreira

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA GEOMÁTICA

BOGOTÁ, ENERO DE 2018

CAMBIOS EN EL PAISAJE COSTERO AL NOROESTE DE LOS DEPARTAMENTOS DE BOLÍVAR Y SUCRE DESDE 1988 HASTA 2017

CHANGES IN THE COASTAL LANDSCAPE TO THE NORTHWEST OF BOLÍVAR AND SUCRE DEPARTMENTS FROM 1988 TO 2017

Lady Marcela Gómez Gualdrón
Aspirante a Especialista en Geomática
Estudiante de Postgrado UMNG
Bogotá, Colombia,
U3101398@unnimilitar.edu.co

RESUMEN

El presente documento se basa en un estudio de cambios en el paisaje costero desde 1988 hasta 2017, en la parte noroeste de los departamentos de Bolívar y Sucre por medio de imágenes satelitales, con el objetivo de poder detectar cambios durante este periodo, basándose solamente en sensores remotos. El estudio se llevó a cabo por medio una clasificación supervisada de imágenes Landsat 4 adquirida en abril de 1988 y Landsat 8 adquirida en julio de 2017, las cuales fueron procesadas con el software PCI Geomatics, teniendo como resultado cambios en la cobertura vegetal y los usos del suelo durante los últimos 29 años y procesos de erosión costera en las bahías de Cartagena y barbacoas y de sedimentación en el sector de Labrace en la parte sur del área.

Palabras clave: Paisaje; costa; erosión; sedimentación; imagen satelital; Landsat.

ABSTRACT

This document is based on a study of changes in the coastal landscape since 1988 until 2017, in the northwest of Bolívar and Sucre departments by means of satellite images, the objective is to be able to detect changes during this period, based only on remote sensors. This study was conducted through a supervised classification of Landsat 4 images acquired in April 1988 and Landsat 8 acquired in July 2017, which were processed with PCI Geomatics software. Resulting changes in vegetation cover and land use during the last 29 years and processes of coastal erosion in the bays of Cartagena and Barbacoas and sedimentation in the Labrace sector in the southern part of the area.

Key words: Landscape; coast; erosion; sedimentation; satellite image; Landsat.

INTRODUCCIÓN

El paisaje costero pudo haber sido modificado a lo largo del tiempo por factores de erosión o sedimentación, así como por la actividad antrópica; entendiéndose entonces que los agentes involucrados en el proceso de erosión costera son los vientos, tormentas, olas, mareas, corrientes litorales y el aumento en el nivel del mar. Por otro lado, los ríos transportan sedimentos en suspensión a lo largo de su trayecto desde su nacimiento hasta su desembocadura y de esta manera los ríos que desembocan directamente en el mar contribuyen a la formación de playas aportando constantemente material sedimentario transportado, de esta manera, la actividad antrópica aunque no es el factor principal que modifica el paisaje, sí produce cambios debido a la extracción de materiales de los ríos para construcción y comercialización, desviación de sus cauces para cultivos, tala indiscriminada del mangle y obras de protección contra los efectos erosivos [1].

Estudios similares en Colombia se han llevado a cabo en el sector de Arboletes-Turbo, Paso Nuevo-Cristo Rey en el departamento de Córdoba y Galerazamba en Barranquilla a cargo del Instituto de investigaciones marinas y costeras (INVEMAR).

Este tipo de estudios pretenden determinar zonas que estén en riesgo potencial debido a los cambios en la línea de costa principalmente, así mismo permiten detectar cambios en los ecosistemas y en las zonas hídricas que contribuyan aumentar o crear nuevos focos de riesgo para las poblaciones aledañas. El presente trabajo está encaminado a determinar si hubo o no cambios significativos en el paisaje costero en el caribe colombiano desde 1988 hasta el 2017, por medio de una clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat.

El nivel medio del mar (NMM) no es siempre el mismo a lo largo del tiempo, éste experimenta cambios debido a los movimientos verticales del suelo que se dan por congelamiento o derretimiento de glaciales, movimientos tectónicos y los cambios en las corrientes oceánicas y mareas, el NMM es constantemente medido para realizar obras de infraestructura costera, transporte marítimo, erosión costera y es además un indicador importante del cambio climático [1].

Las mareas son movimientos periódicos del mar con relación a alguna fuerza geofísica., la principal fuerza geofísica es el campo gravitacional sobre la superficie de la tierra debido a las relaciones de la tierra, la luna y el sol. La mayor altura del NMM alcanzada se llama Pleamar y la menor Bajamar. El intervalo medio entre pleamares o bajamares sucesivas es de 12 horas y 25 minutos aproximadamente [1].

“El NMM, está basado en valores horarios tomados durante un periodo de tiempo no inferior a un año; sin embargo, para efectos geodésicos y el establecimiento de redes altimétricas, se requiere un registro de largo periodo, que permita establecer un patrón definido, de acuerdo con su frecuencia” [1].

El instrumento de medida para el NMM es el mareógrafo, que mide el nivel del mar en un punto de forma continua, estos, miden la distancia vertical entre un punto de referencia y la superficie instantánea del mar, generalmente conectados a redes de nivelación con altímetros de precisión y sistemas de posicionamiento global. La precisión de estos tipos de mareógrafos es de

aproximadamente 1cm, el punto de referencia y los puntos de apoyo están situados en tierra y son también susceptibles de moverse verticalmente. Para poder controlar estos movimientos del punto de referencia se toman periódicamente nivelaciones de precisión entre el punto de referencia y los de apoyo. Adicionalmente se hacen mediciones de gravedad con un gravímetro absoluto para tener medidas independientes de estabilidad en estos puntos [1].

En Colombia las mediciones del nivel medio del mar se iniciaron en 1951 a cargo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) hasta 1987, año en el que paso a ser parte de la red del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Actualmente esta red cuenta con 7 estaciones registradoras en los principales puertos y zonas insulares a lo largo de las Costas Pacífica y Caribe. Los aparatos registradores van desde mareógrafos convencionales de flotador hasta sensores tipo radar.

Las estaciones mareográficas en Colombia están ubicadas en Tumaco, Juanchaco, Buenaventura, Capurgana, San Andrés, Puerto Bolívar y Escuela Naval CIOH en Cartagena. La estación CIOH cuenta con un sensor de nivel tipo radar y tiene registros del nivel del mar horarios desde el año 1993 y el nivel medio del mar es de 0.14 metros [2].

El 23 de julio de 1988 fue puesto en órbita el primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technology Satellite) rebautizada como Landsat a partir del segundo lanzamiento, en 1975 (Landsat 2); El Landsat 6 se lanzó en 1993 pero por fallos de comunicación con la plataforma no se ubicó en la órbita precisa y se perdió. Actualmente en el proyecto Landsat 7 y 8 participa la National Administration of Aeronautics and Space (NASA) como responsable del desarrollo y lanzamiento del satélite y del sector de tierra, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) encargada de su operación y mantenimiento durante todo el tiempo de vida del satélite, y el United States Geological Survey (USGS) encargada de recoger, procesar y distribuir los datos y de mantener el archivo de datos [3].

Los tres primeros satélites Landsat tenían un peso total de 960 Kg, una órbita heliosincrónica, con una altura orbital de 917 Km, orbitaba la tierra en 103 minutos, 14 orbitas diarias y revisita de 18 días ente las 9:30 y las 10:30 hora local. Los instrumentos de observación para estos satélites estaban compuestos por un explorador de barrido multiespectral MSS (Multispectral Scanner) y un conjunto de tres cámaras vidicon RBV (Return Beam Vidicon) [3].

Los satélites 4, 5, 6, y 7 modificaron su forma y sus características orbitales, la altura orbital se reduce a 705 Km y se mejora el ciclo de revisita a 16 días. Sin embargo, el momento de adquisición se mantiene en torno a las 9:45 hora local. Los satélites 4 y 5 mantuvieron el sensor MSS para garantizar la continuidad de los datos anteriores, eliminan las cámaras RBV e incorporaron un nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper) diseñado para la cartografía temática que proporciona datos de mayor resolución espacial, espectral y radiométrica; en el landsat 7 se incorporó una versión actualizada del TM denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper). El satélite Landsat 8 incorporó dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI), que consta de un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y

un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus; y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS) [3, 4].

La clasificación de imágenes satelitales consiste en ordenar los píxeles de la imagen en una clase o categoría, es decir, convertir los ND de la imagen a categorías que faciliten la interpretación.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de interés comprende la parte noroeste de los departamentos de Bolívar y Sucre (Fig. 1). Se realizó una revisión bibliográfica de estudios similares tanto para Colombia como para las demás zonas costeras del mundo. En esta revisión bibliográfica se encontró que los estudios de este tipo en Colombia están a cargo del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), principalmente [5, 6].

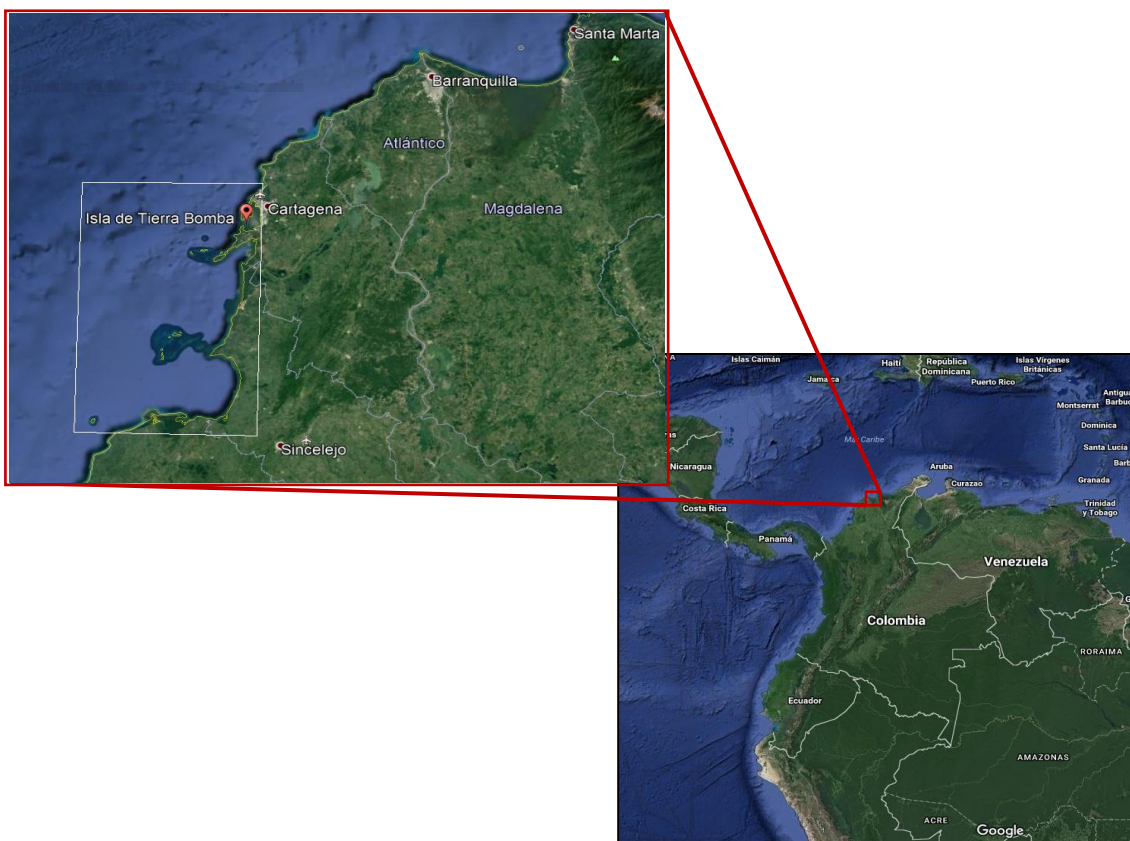


Fig. 1. Ubicación del área de interés
Fuente: Google Earth, noviembre de 2017

Se caracteriza geológicamente cada material constituyente de la costa, por medio de las planchas geológicas 29, 30, 36, 37, 43 y 44 a escala 1:100.000 con sus respectivas memorias explicativas realizadas por el Servicio Geológico Colombiano, obteniendo como resultado que geológicamente la zona de estudio está compuesta por lodolitas intercaladas con arenas de cuarzo de la Formación Bayunca formadas durante el Mioceno-Plioceno, arenas de cuarzo y gravas de Rionet y calizas arrecifales de la Formación la Popa, formadas durante el Pleistoceno inferior; así como por depósitos de playa, manglar, fluvio lacustres, marino fluviales y llanuras de inundación formadas durante el Pleistoceno medio hasta el Holoceno (Fig. 2) [7]. Estas rocas son susceptibles

de ser erosionadas con mayor facilidad que las rocas ígneas o metamórficas, ya que no están tan consolidadas como las otras y están sometidas constantemente a ciertos factores de erosión que solo se dan en las zonas costeras.

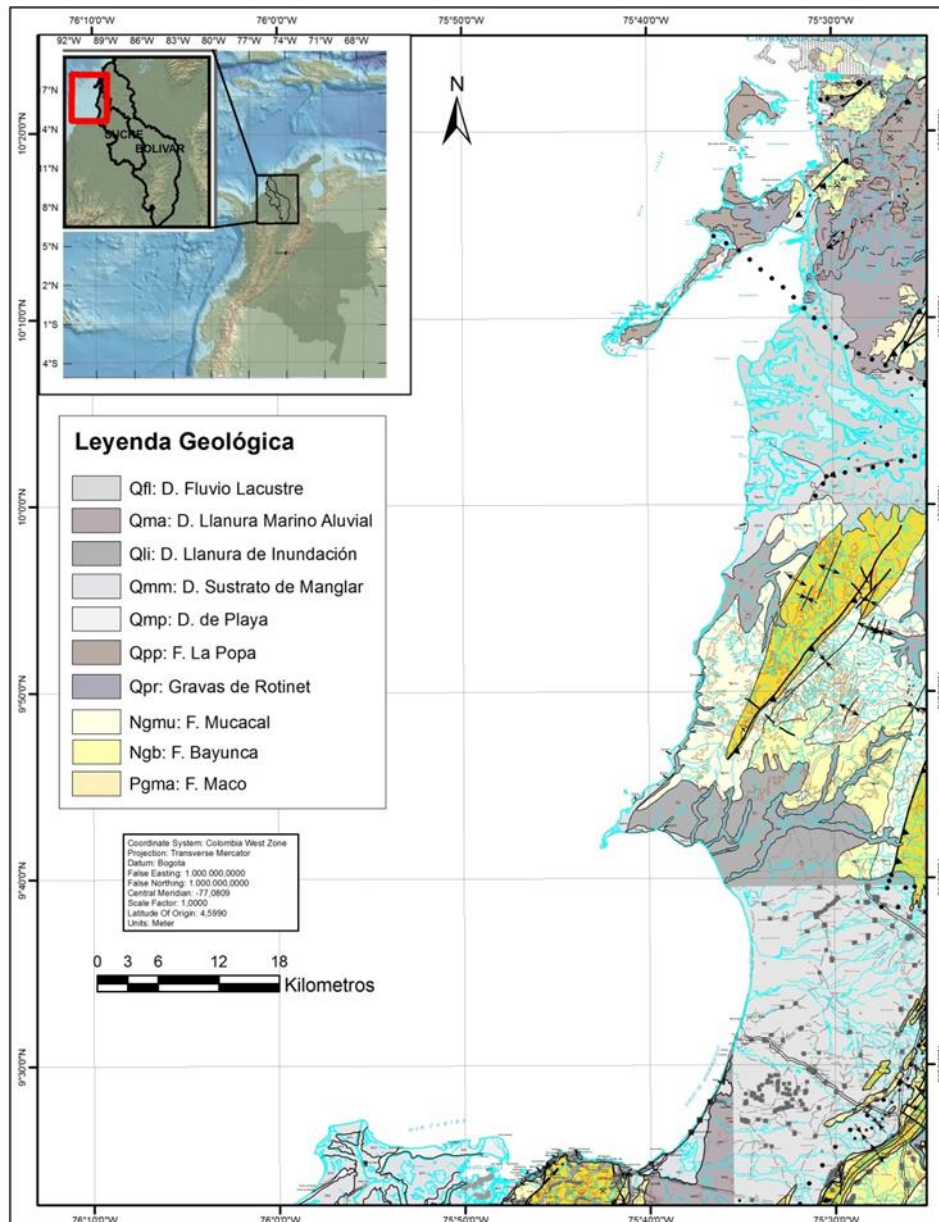


Fig. 2. Geología presente en la zona de interés
Fuente: Modificado de Guzmán, G., et al. 2003 [8]

1.1 MATERIALES

Para el desarrollo del proyecto se contó con una imagen Landsat 4 tomada en Abril de 1988 con tamaño de pixel de 60 metros y una imagen Landsat 8 tomada en Julio de 2017 con tamaño de pixel de 30 metros, ambas, en coordenadas WGS 84 zona 18 norte, estas imágenes fueron seleccionadas debido a que presentaban mayor congruencia y menor nubosidad (Fig. 3).

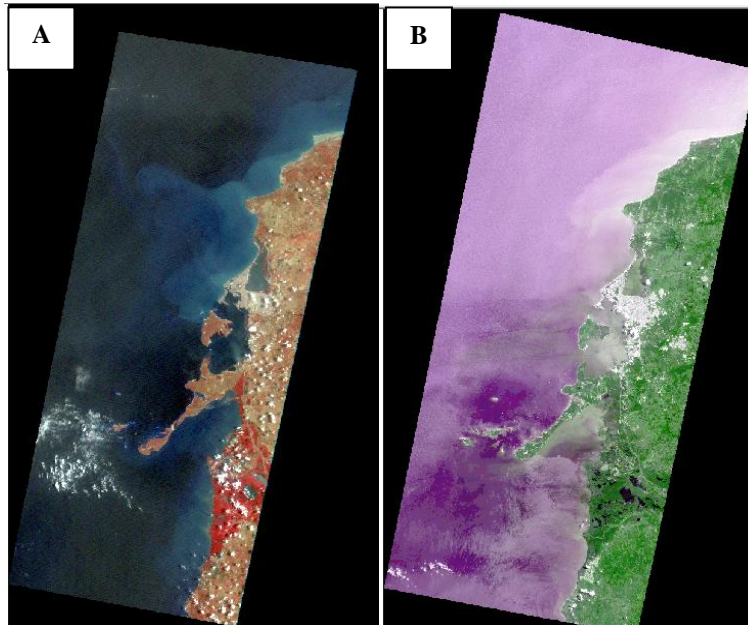


Fig. 3. Área de interés en las Imágenes satelitales Landsat 4 (A) y Landsat 8 (B).
Fuente: Elaboración propia.

1.2 MÉTODOS

El procesamiento satelital se hizo por medio del software PCI Geomatics, para lo cual el primer paso a seguir fue el recorte del área de interés en cada una de las imágenes, ya que solo una parte de la imagen contenía el área objeto del presente estudio. Una vez recortadas las imágenes se procedió a realizar una clasificación supervisada, es decir, crear dos canales adicionales para cada imagen en uno de los cuales se hicieron las muestras de entrenamiento y el otro canal para almacenar los resultados del algoritmo que mejor se ajustó a la clasificación. Las muestras de entrenamiento se hicieron para ayudarle a los algoritmos a diferenciar entre vegetación, ríos, playa, afloramientos rocosos, cultivo, zonas urbanas, nubes y mar entre otras, debido a que el área de interés se ubica en zona costera, el mayor porcentaje de píxeles corresponden al mar.

Una vez corridos los algoritmos de clasificación se encontró que el que mejor se ajusta a lo que se quiere conseguir con este estudio, es el método de paralelepípedo con máxima similitud (Fig. 4).

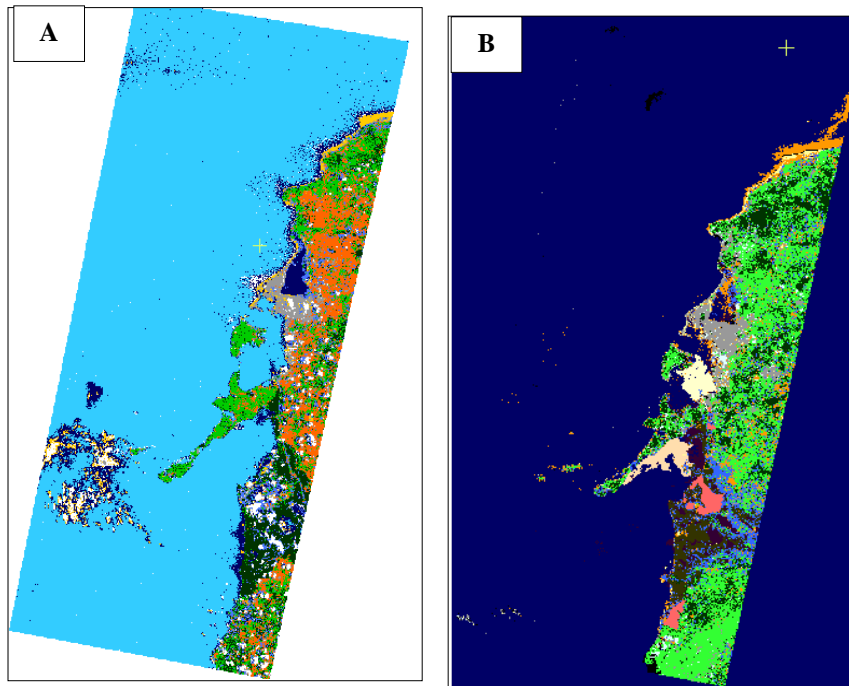


Fig. 4. Clasificación supervisada por el método de paralelepípedo, A) para la imagen de 1988 y B) para la imagen de 2017.
Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 5 se observa el coeficiente de Kappa, el cual muestra buena confiabilidad en la clasificación por paralelepípedos ya que da un porcentaje de 80% para 1988 y de 87% para 2017, a pesar de que no se contó con muestras de campo.

Accuracy Statistics							A
Overall Accuracy		: 80.000%		95% Confidence Interval (70.908%			
Overall Kappa Statistic:		0.499		Overall Kappa Variance		: 0.289	
Class Name	Producer's Accuracy	95% Confidence Interval	User's Accuracy	95% Confidence Interval	Kappa Statistic		
Class-00	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.0000		
Nube	0.000%	(-10.000% 10.000%)	0.000%	(-25.000% 25.000%)	-0.0625		
Mar	95.455%	(89.672% 101.238%)	96.923%	(91.956% 101.891%)	0.8623		
Ciénaga	0.000%	(-50.000% 50.000%)	0.000%	(-7.143% 7.143%)	-0.0119		
Urbano	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.0000		

Accuracy Statistics							B
Overall Accuracy		: 87.097%		95% Confidence Interval (79.746%			
Overall Kappa Statistic:		0.705		Overall Kappa Variance		: 0.433	
Class Name	Producer's Accuracy	95% Confidence Interval	User's Accuracy	95% Confidence Interval	Kappa Statistic		
Class-00	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.0000		
RIO	0.000%	(-25.000% 25.000%)	0.000%	(-12.500% 12.500%)	-0.0220		
URBANO	100.000%	(50.000% 150.000%)	100.000%	(50.000% 150.000%)	1.0000		
CULTIVO C	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.000%	(0.000% 0.000%)	0.0000		
LAGUNA	100.000%	(75.000% 125.000%)	100.000%	(75.000% 125.000%)	1.0000		

Fig. 5. Coeficiente Kappa para las imágenes satelitales de 1988 (A) y la de 2017 (B).
Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados del coeficiente Kappa se procedió a aplicar el filtro de paso bajo FMO, el cual atenuaron las frecuencias bajas y seguidamente se aplicó el filtro SIEVE para generalizar las coberturas, dejando por fuera las coberturas de los cultivos de camarón y las de sedimentación ya que esta fueron delimitadas por polígonos y no había necesidad de generalizar. El resultado de los pasos anteriores se convirtió de formato raster a vector para poder generar un archivo shapefile, el cual puede ser leído por ArcGIS para hacer las respectivas comparaciones entre las coberturas encontradas en 1988 y las encontradas en 2017 para la zona de estudio.

2. RESULTADOS

Como resultado de la clasificación se pudo observar que para el año 1988 las coberturas principales en la zona objeto de estudio, aparte del mar, son suelo desnudo y los pastos, mientras que para el 2017 las principales coberturas son pastos, seguidas por la zona urbana, bosques y cultivos de camarón. Hacia la parte sur del área de estudio se pudo observar un contraste o una buena diferenciación en los pixeles para las zonas de ciénaga, en cuanto a la vegetación y el agua. La imagen Landsat 8 permitió identificar adicionalmente zonas de aporte de sedimentos hacia el mar en las desembocaduras del canal del dique, específicamente en la bahía de Cartagena y en la bahía de barbacoas (Fig. 4).

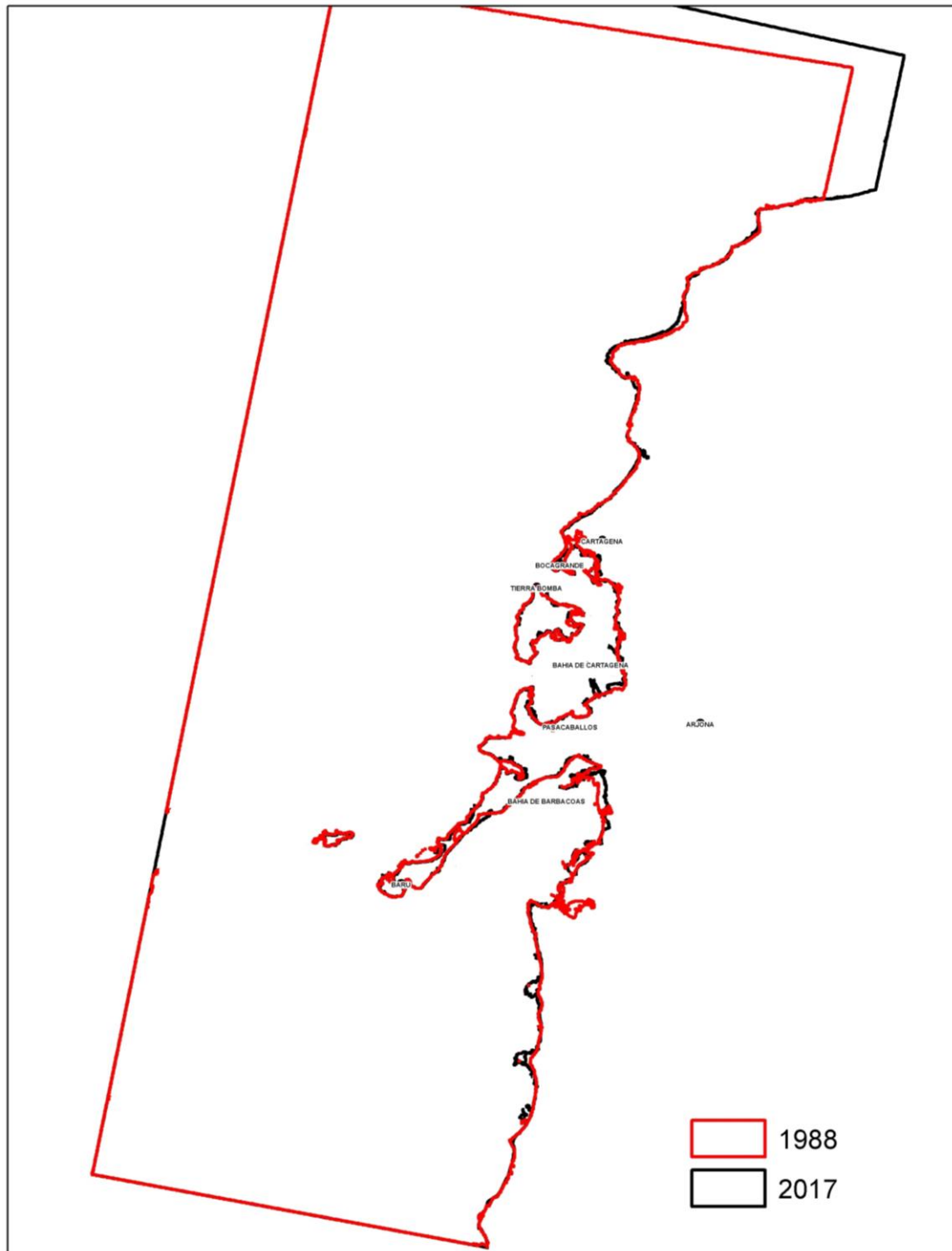


Fig. 6. Línea de costa, identificada en ArcGIS mediante la conversión de las coberturas a formato vector.

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 6 es el resultado de la clasificación supervisada y la transformación de formatos de raster a vector, en el cual es observable que hay un proceso de erosión leve en la bahía de Cartagena y uno más fuerte en la bahía de barbacoas basado en los polígonos que representan la línea de costa, donde, la línea negra que corresponde al año 2017 está desplazada con respecto a la línea roja que representa la línea de costa en el año 1988 para los sectores antes mencionados. Adicionalmente, se puede observar que hacia la parte inferior de la imagen el proceso es contrario, ya que hay una ganancia de terreno desde 1988 hasta el presente año en base al desplazamiento de la línea de costa negra (2017) con respecto a la línea de costa roja (1988).

3. CONCLUSIONES

La erosión en las costas de todo el mundo es un fenómeno preocupante ya que puede provocar riesgos y vulnerabilidad a las poblaciones aledañas, por lo tanto, el estudio de estos fenómenos por medio de imágenes satelitales es una buena opción cuando se trata de áreas grandes.

Como resultado del presente estudio se pudo observar que se han dado cambios en el paisaje costero desde 1988 hasta la actualidad, en la parte noroeste de los departamentos de Bolívar y Sucre, en cuanto a coberturas vegetales, uso de suelos y crecimiento de áreas urbanas.

Un segundo resultado del análisis de las imágenes satelitales fue observar como se ha desplazado la línea de costa en estos 29 años, especialmente, en la bahía de Cartagena y en la bahía de barbacoas; vemos que la erosión es un proceso dinámico que se da a diferentes velocidades y de manera no uniforme. No obstante, debido a que la imagen inicial tenía una resolución de 60 metros y la final una resolución de 30 metros, es necesario corroborar estos resultados con imágenes aéreas más detalladas o incluso con imágenes de radar que pueden llegar a tener una precisión de centímetros, si se quiere tener la certeza de la magnitud y la velocidad con la que está ocurriendo este fenómeno y adicionalmente corroborar que sea en los mismos lugares que se encontraron los cambios en el presente estudio.

REFERENCIAS

- [1] B. Posada, W. Henao. "Diagnóstico de la erosión costera". Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. Vol. 39, 54 pp. 2008.
- [2] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2015). Pronóstico de pleamares y bajamares. 164pp.
- [3] A. García. (2017, Octubre). "Landsat". Disponible en: kimerius.com/app/download/5784863998/LANDSAT.pdf

- [4] A. Ariza. (2013). "Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM". Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Versión 1.0, 46 pp.
- [5] I. Correa, V. Georges. (2017, Septiembre). "Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Urabá (Sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana". Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. Volumen (28), 7-28. Disponible en: <http://www.invemmar.org.co/documents/10182/14479/boletin+invemar+44%282%29.pdf>.
- [6] N. Rangel, B. Posada. "Geomorfología y Procesos Erosivos en la Costa Norte del Departamento de Córdoba, Caribe Colombiano (Sector Paso Nuevo-Cristo Rey)", Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. Vol. 34, pp 101-119. 2005.
- [7] G. Reyes, G. Guzmán, G. Barbosa, G. Zapata. (2001). Geología de las planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona Escala 1:100000. Memoria Explicativa. Ingeominas. 69pp.
- [8] G. Reyes, G. Guzmán, G. Barbosa, G. Zapata. (2003). Geología de las planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona Escala 1:100000. Mapa versión año 2003. Datum Bogotá. Ingeominas.