

EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Procesos de erosión costera y sedimentación en el Golfo de Morrosquillo, Colombia

María Alejandra Pérez Serrano

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geóloga

Director

Mario García González

Geólogo, PhD

Codirector

Tania Palmera Henao

Geólogo, Ph.D

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Geología

Geología

Bucaramanga

2025

Agradecimientos

Para mis papás, Martha y Álvaro, porque nunca me faltó nada y me acompañaron en cada paso, en cada montaña. Porque su amor fue incondicional y nunca dudaron de mis sueños.

Te agradezco a ti gordita, porque siempre fuiste mi norte y creíste en mí cuando yo no pude. Por darme el amor más puro en mis días más difíciles.

A mis amigos por tantos recuerdos que me llevaré por siempre a cada campo que se asome en mi futuro.

A mis profesores, por su acompañamiento y aprendizaje en estos años que me ayudó a ser la profesional que aspiré siempre a ser.

A mí, porque seguí mi latido y aquí estoy cumpliendo uno de mis sueños.

EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Tabla de contenido

Introducción	11
1 Objetivos	12
1.1 Objetivo general	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2 Marco geológico.....	13
2.1 Localización	13
2.2 Geología estructural	14
2.3 Estratigrafía.....	15
2.4 Unidades Geomorfológicas del Golfo de Morrosquillo.....	17
2.4.1 Lomos (Sl).....	18
2.4.2 Planos de inundación (marismas, ciénagas, zonas bajas de inundación) (Mpi).....	19
2.4.3 Islas (Mi).....	19
2.4.4 Plano negadizo (Fpa).....	20
2.4.5 Frente deltaico (Fdl).....	20
3. Metodología	21
3.1 Trabajo de campo.....	21
3.2 Trabajo de laboratorio	22
3.2.1 Preparación de muestras.....	23
3.2.2 Análisis petrográfico	23

	4
EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO	
3.2.3 Análisis geomorfológico.....	24
3.2.4 Análisis de los procesos de erosión y/o depositación.....	24
3.2.5 Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC).....	24
4 Resultados	25
4.1 Análisis granulométrico	27
4.2 Análisis geomorfológico.....	32
4.3 Análisis petrográfico	34
4.3.1 Sector Mangles.....	35
4.3.2 Sector La Punta.....	36
4.3.3 Sector Guacamaya.....	37
4.3.4 Sector El Francés.....	38
4.3.5 Sector San Bernardo.....	39
4.4 Análisis de erosión y depositación costera.....	40
4.4.1 Sector Mangles.....	41
4.4.2 Sector La Punta.....	43
4.4.3 Sector Guacamaya.....	46
4.4.4 Sector El Francés.....	47
4.4.5 Sector San Bernardo.....	50
4.5 Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC).....	52

EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO	5
5 Discusión.....	53
6 Conclusiones	60
7 Recomendaciones.....	64
Referencias bibliográficas.....	65

Lista de tablas

Tabla 1. Tamaño de grano de Wentworth (1922)	25
Tabla 2. Datos de peso para cada muestra según el tamaño de la malla.....	26
Tabla 3. Porcentajes para cada clase según el tamaño de la malla.....	27
Tabla 4. Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS01-M2.....	34
Tabla 5. Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS02-M1.....	37
Tabla 6. Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS03-M1.....	38
Tabla 7. Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS04-M1.....	39
Tabla 8. Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS07-M2.....	40
Tabla 9. Tabla de resultados de TOC y TC.....	52

EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de localización con estaciones del Golfo de Morrosquillo.....	13
Figura 2. Mapa geológico del Golfo de Morrosquillo.....	14
Figura 3. Columna Estratigráfica General de las cuencas de Sinú (NW) y San Jacinto (NE) modificada de Barrero et al. (2007)	15
Figura 4. Mapa geomorfológico del Golfo de Morrosquillo.....	17
Figura 5. Modelo de elevación sombreado del Golfo de Morrosquillo.	18
Figura 6. Fotografía de la isla Mangle.....	19
Figura 7. Vista satelital del delta del río Sinú.....	20
Figura 8. Ubicación de las estaciones de muestreo.	22
Figura 9. Proceso de tamizaje, medición y cálculo de porcentajes granulométricos por tamaño de malla a partir de muestras recolectadas.....	23
Figura 10. Histogramas de los resultados granulométricos para cada una de las muestras.....	27
Figura 11. Clastos tamaño arena muy gruesa correspondientes a la muestra MAPS01-M2 de la Isla Mangle (A).....	28
Figura 12. Clastos tamaño arena gruesa correspondientes a la muestra MAPS05-M1 del sector Guacamaya (C).....	29
Figura 13. Clastos tamaño arena media correspondientes a la muestra MAPS06-M1 del sector San Bernardo (D).....	29

EROSIÓN COSTERA EN EL GOLFO DE MORROSQUILLO

Figura 14. Imagen satelital tomada de Google Earth de la isla Mangles (A).....	30
Figura 15. Imagen satelital tomada de Google Earth del sector Guacamaya (C).....	31
Figura 16. Imagen en 10x de la muestra MAPS01-M2 en XPL y PPL.....	33
Figura 17. Imagen en 10x de la muestra MAPS02-M1 en XPL y PPL.....	34
Figura 18. Imagen en 10x de la muestra MAPS03-M1 en XPL y PPL.....	35
Figura 19. Imagen en 10x de la muestra MAPS04-M1 en XPL y PPL	36
Figura 20. Imagen en 10x de la muestra MAPS07-M2 en XPL y PPL.....	37
Figura 21. Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector Mangles.....	39
Figura 22. Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector la Punta.....	40
Figura 23. Intervención antropogénica en el Sector La Punta (B).....	41
Figura 24. Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector Guacamaya.....	42
Figura 25. Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector el Francés.....	43
Figura 26. Erosión costera en el sector El Francés por intervención antropogénica.....	44
Figura 27. Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector San Bernardo.....	45
Figura 28. Imagen tomada de la playa San Bernardo del Viento (D).....	46

Resumen

Título: Procesos de erosión costera y sedimentación en el Golfo de Morrosquillo, Colombia. *

Autor: María Alejandra Pérez Serrano**

Palabras Clave: erosión costera, sedimentación, Golfo de Morrosquillo, geomorfología, intervención antropogénica.

Descripción: La erosión costera es una problemática que involucra muchas áreas de gran importancia para la sociedad tales como lo son la biodiversidad, la estructura costera y especialmente afecta a las comunidades locales quienes se ven obligadas a desplazamientos forzosos por el alto riesgo de inundaciones, así como también la infiltración de aguas salinas en acuíferos de agua dulce que afectan la calidad del agua. Por lo tanto, el presente trabajo analiza los procesos de erosión costera y sedimentación en el Golfo de Morrosquillo, evidenciando la influencia de factores como lo son la granulometría de los sedimentos, la composición mineralógica, la geomorfología y la intervención antropogénica. Por esta razón, se llevaron a cabo una serie de análisis enfocados en la granulometría, composición mineralógica mediante secciones delgadas, pruebas de Carbono Total y Carbono Orgánico Total, y un estudio geomorfológico basado en imágenes satelitales donde también en estas mismas se evaluó la intervención antropogénica. El golfo se dividió en 5 sectores debido a los resultados obtenidos para facilitar el análisis del estudio, los cuales se denominaron como Mangles, La Punta, Guacamaya, El Francés y San Bernardo, ubicados en un orden norte, centro y finalmente sur. Los resultados obtenidos evidencian que la erosión costera y sedimentación del Golfo de Morrosquillo está influenciada por estos factores naturales y actividades humanas, donde se observa la importancia de una buena gestión costera para promover la estabilidad de las playas y mitigación de los efectos negativos de la erosión costera.

*Bachelor's Thesis

**Faculty of Physico-Chemical Engineering. School of Geology. Supervisor: Mario García González. Geologist, PhD. Co-supervisor: Tania Palmera Henao. Geologist, PhD.

Abstract

Title: Coastal erosion and sedimentation processes in the Gulf of Morrosquillo, Colombia*

Author: María Alejandra Pérez Serrano **

Keywords: coastal erosion, sedimentation, Golfo de Morrosquillo, geomorphology, anthropogenic intervention

Description: Coastal erosion is a problem that involves many areas of great importance to society, such as biodiversity, coastal structure, and, most notably, local communities, which are often forced into displacement due to the high risk of flooding. Additionally, saline water infiltration into freshwater aquifers affects water quality. Therefore, this study analyzes the processes of coastal erosion and sedimentation in the Gulf of Morrosquillo, highlighting the influence of factors such as sediment granulometry, mineralogical composition, geomorphology, TOC and TC levels, and anthropogenic intervention. A series of analyses were conducted, focusing on granulometry, mineralogical composition through thin sections, Total Carbon and Total Organic Carbon tests, and a geomorphological study based on satellite images, in which anthropogenic intervention was also evaluated. The gulf was divided into four sectors based on the results obtained to facilitate the study's analysis, named Mangles, La Punta, El Francés, and San Bernardo, arranged from north to center and finally south. The results obtained show that coastal erosion and sedimentation in the Gulf of Morrosquillo are influenced by these natural factors and human activities, highlighting the importance of proper coastal management to promote beach stability and mitigate the negative effects of coastal erosion

*Bachelor's Thesis

**Faculty of Physico-Chemical Engineering. School of Geology. Supervisor: Mario García González. Geologist, PhD. Co-supervisor: Tania Palmera Henao. Geologist, PhD.

Introducción

El presente documento es un resultado de un trabajo de grado realizado con el fin de determinar la erosión y sedimentación costera en el Golfo de Morrosquillo mediante un muestreo sedimentológico y caracterización geomorfológica a lo largo de la costa.

Las características sedimentarias y tectónicas como lo son el escaso aporte de sedimento, un margen tectónicamente activo por fallas, pliegues recientes, fracturamiento intenso y diapirismo de lodo hacen de este golfo un laboratorio geológico ideal para el estudio del control tectónico en la geomorfología en la erosión costera (Ojeda *et al.*, 2007). Esta problemática involucra muchas áreas de gran importancia para la sociedad tales como la biodiversidad, la infraestructura costera y especialmente afecta a las comunidades locales quienes se ven obligadas a desplazamientos forzosos por el alto riesgo de inundaciones, así como por la baja calidad del agua, la cual se ve afectada por la infiltración de aguas salinas en acuíferos de agua dulce. La erosión, inundación y salinización de los litorales son amenazas geológicas mayores en muchas zonas costeras, sobre todo en aquellas intervenidas y con economías basadas en usos intensivos del espacio físico (agricultura, acuicultura, turismo, industria, actividades portuarias) (Correa, *et al.*, 2007). Consecuentemente este estudio realiza un diagnóstico de los procesos de erosión y sedimentación a lo largo de la línea de costa del Golfo de Morrosquillo para la población desde Berrugas en el extremo norte hasta el delta del río Sinú en el extremo sur oeste del Golfo de Morrosquillo. El resultado de este diagnóstico permite una gestión eficaz para la protección del entorno costero y de las comunidades que dependen de él.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Determinar las áreas costeras del Golfo de Morrosquillo en las cuales se presenta la erosión de la playa, o crecimiento por sedimentación.

1.2 Objetivos específicos

Estudiar la geomorfología del área de influencia del Golfo de Morrosquillo a partir de la observación realizada en campo e imágenes satelitales trabajadas en GIS.

Elaborar el mapa geomorfológico del Golfo de Morrosquillo por medio de la geomorfología realizada en campo.

Realizar un muestreo de sedimentos y elaboración de perfiles de playa en diferentes sectores del Golfo de Morrosquillo.

Analizar la granulometría y mineralogía de las muestras de sedimentos recolectadas en campo.

Analizar las diferencias entre los modelos teóricos propuestos y el modelo práctico de campo.

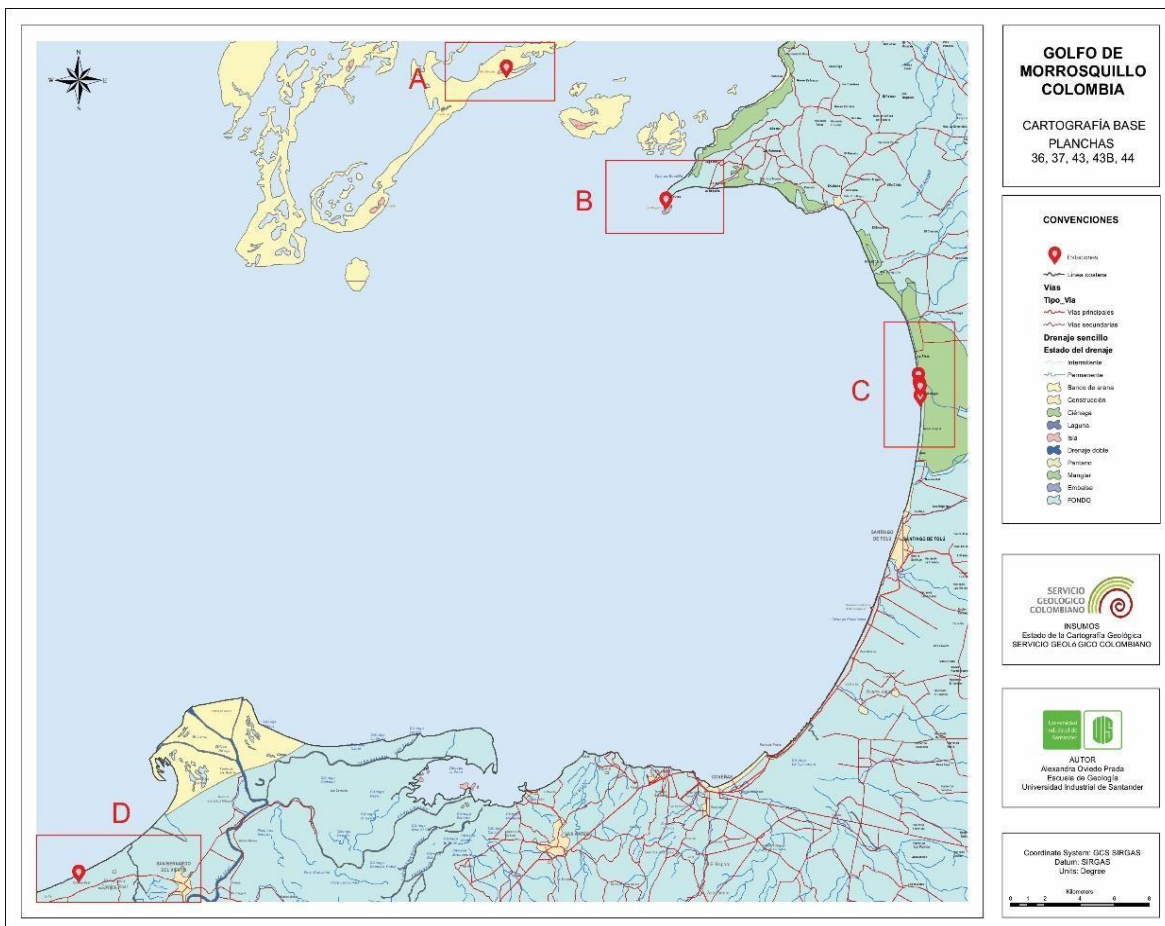
2 Marco geológico

2.1 Localización

El Golfo de Morrosquillo se encuentra ubicado en la costa del Caribe colombiano. Las poblaciones costeras de norte a sur son Berrugas, Santiago de Tolú, y Coveñas en el departamento de Sucre, y San Antero en el extremo sur del golfo que pertenece al departamento de Córdoba.

Figura 1

Mapa de localización de las áreas de muestreo en el Golfo de Morrosquillo



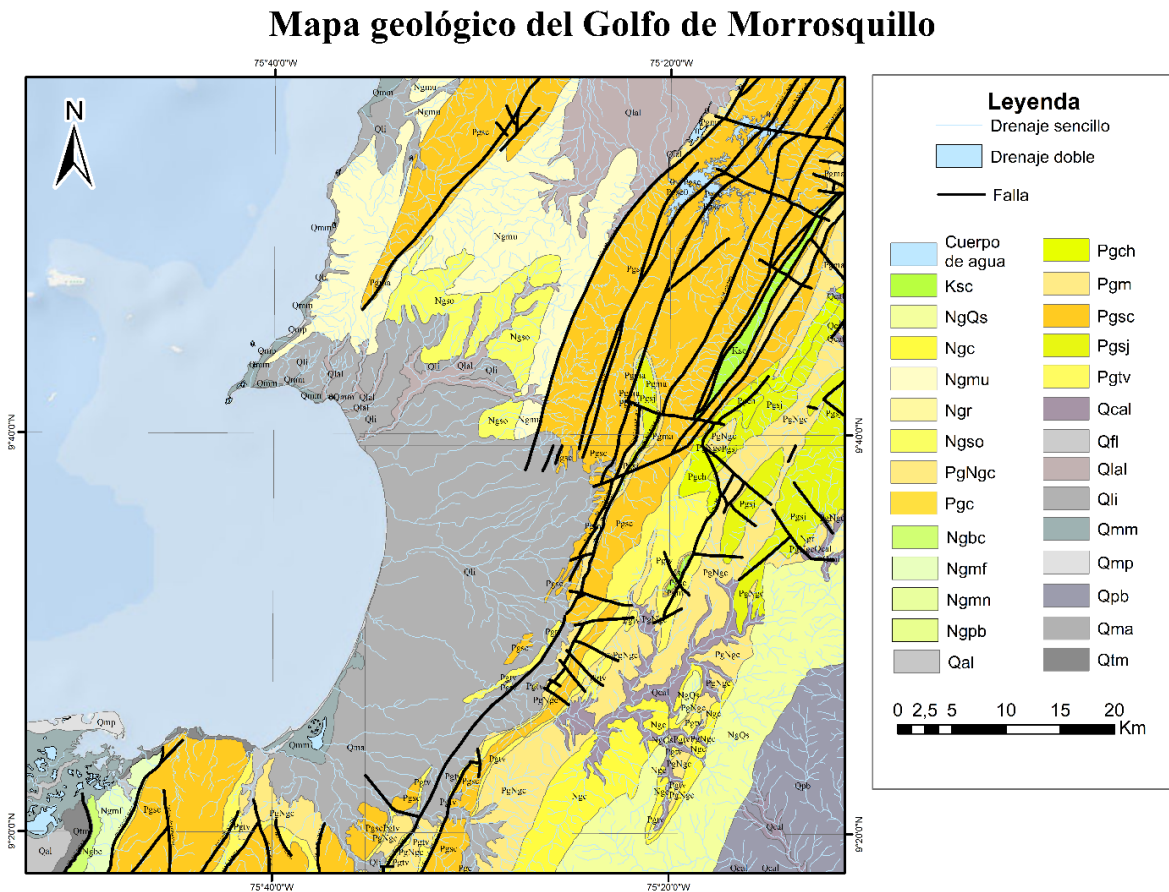
Nota. Las áreas de muestreo se distribuyen en: A área insular con muestras de la isla Mangle; B extremo Norte del Golfo de Morrosquillo con muestras de la localidad La Punta; C área central norte del Golfo de Morrosquillo en las localidades Guacamaya y el Frances; D área sur del Golfo

de Morrosquillo del delta del río Sinú. Las convenciones del mapa muestran el área insular, zonas de manglares, llanura costera y zona deltaica.

El área costera del golfo es de aproximadamente 1000 km², las profundidades del golfo varían entre 0.5 metros en línea de costa, la cual aumenta gradualmente mar adentro a 15 metros, con una profundidad máxima de 55 metros (INVEMAR, 2006).

Figura 2

Mapa geológico del Golfo de Morrosquillo



Nota. Se muestra la distribución de unidades geológicas, drenajes y fallas en la región. Predominan depósitos cuaternarios en la zona costera y unidades del Paleógeno y Neógeno hacia el interior.

Las fallas principales presentan orientación noreste-suroeste, indicando una compleja historia tectónica.

2.2 Geología estructural

Estructuralmente el Golfo de Morrosquillo se encuentra conformado por el Cinturón Plegado de San Jacinto al sureste en el área continental, y el cinturón plegado del Sinú al noroeste en la zona marina o de la costa hacia afuera. El contacto entre los dos cinturones plegados se manifiesta como un lineamiento entre San Antero al sur, y Berrugas en el extremo noreste del golfo. Este lineamiento tiene un rumbo NNE como se observa en la figura 2.

Los rasgos más dominantes del Golfo son un sistema conjugado de fallas con un componente en rumbo y de cabalgamiento, donde las fallas de rumbo muestran una tendencia con dirección de NW-SE (Geotec, 1997).

Por otro lado, el Cinturón de San Jacinto (Duque-Caro, 1980), consiste en una franja alargada de 360 km de longitud y 6km de ancho, limitada al noroeste por el sistema de fallas del Cinturón del Sinú, y al suroriente por el sistema de fallas de Romeral. Esta región se encuentra afectada por un tipo de fallamiento longitudinal de cabalgamiento con una dirección NS y NNE, donde también se encuentran presentes unas estructuras apretadas y alargadas, anticlinales y sinclinales (Geotec, 1997).

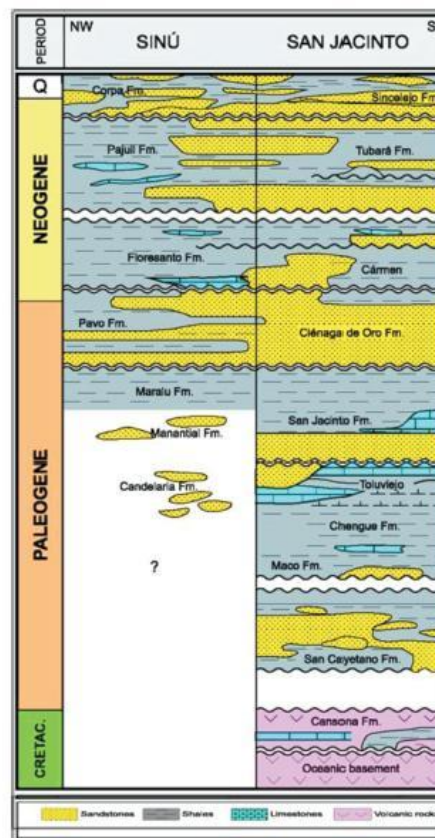
2.3 Estratigrafía

La estratigrafía observada en la figura 3, consiste en el registro estratigráfico del Cinturón Plegado de San Jacinto que abarca desde el cretácico superior suprayacente a secuencias sedimentarias por discordancias que se denominan Formación San Cayetano del Paleoceno Inferior, la segunda secuencia del paleoceno medio incluye las formaciones Maco, Chengue, Tolviejo, y San Jacinto,

caracterizadas por una alternancia de lutitas, areniscas y niveles carbonatados, depositados en ambientes marino-costero y de plataforma externa. Durante el Eoceno-Oligoceno, la formación Ciénaga de Oro representa depósitos marinos someros con intercalaciones de carbonatos y sedimentos clásticos, indicativos de condiciones transicionales. Hacia el Neógeno, se registra un predominio de ambientes más estables y continentales, reflejado en las formaciones Carmen, Tubará y Sincelejo, dominadas por sedimentos finos y secuencias pelíticas.

Figura 3

Columna Estratigráfica General de las cuencas de Sinú (NW) y San Jacinto (NE) modificada de Barrero et al. (2007).



Nota. La estratigrafía del Cinturón Plegado de San Jacinto abarca desde el Cretácico superior hasta el Neógeno, con depósitos marino-costeros y continentales. Destacan las formaciones San Cayetano, Chengue, Toluviejo y Ciénaga de Oro. En el Cinturón Plegado del Sinú, el registro inicia en el Paleoceno superior con la formación Maralú y continúa con las formaciones Pavo, Floresanto y Pajuil.

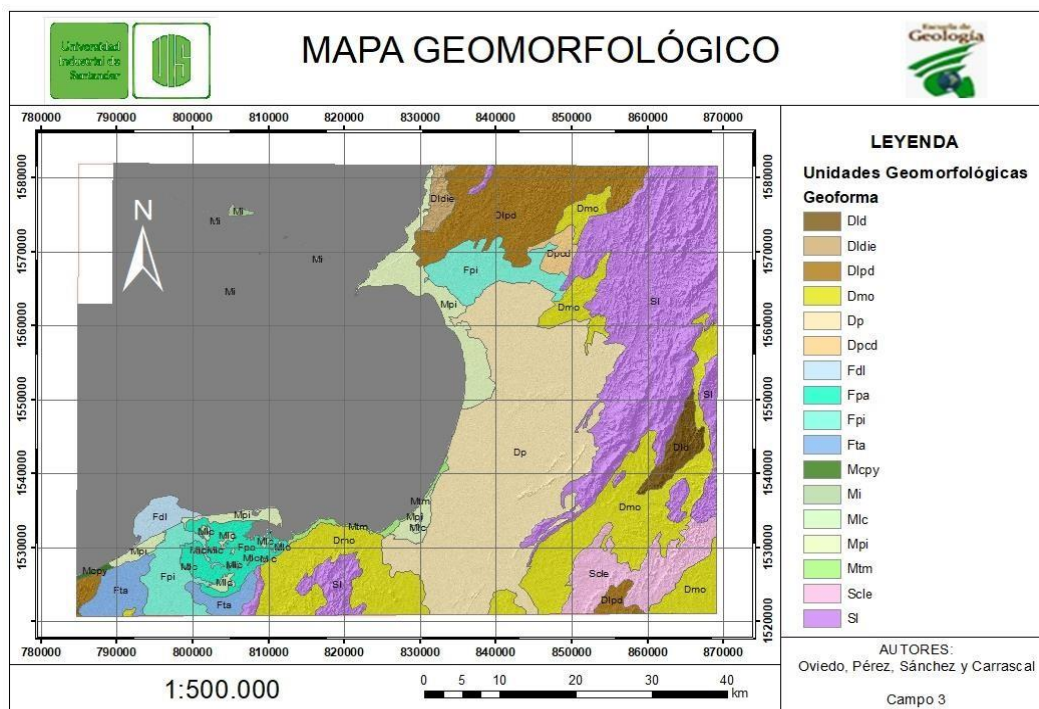
La estratigrafía del Cinturón Plegado del Sinú presenta un registro que se inicia en el Paleoceno superior con las areniscas y las lutitas de la formación Maralu, suprayacente por las formaciones Pavo, Floresanto, y Pajuil separadas entre si por discordancias (Duque-Caro, 1980).

2.4 Unidades geomorfológicas del Golfo de Morrosquillo

En esta zona se describen las unidades geomorfológicas por procesos exógenos y atmosféricos (erosión, meteorización, hídricos y movimientos en masa) en geoformas preexistentes marcando procesos morfodinámicos activos.

Figura 4

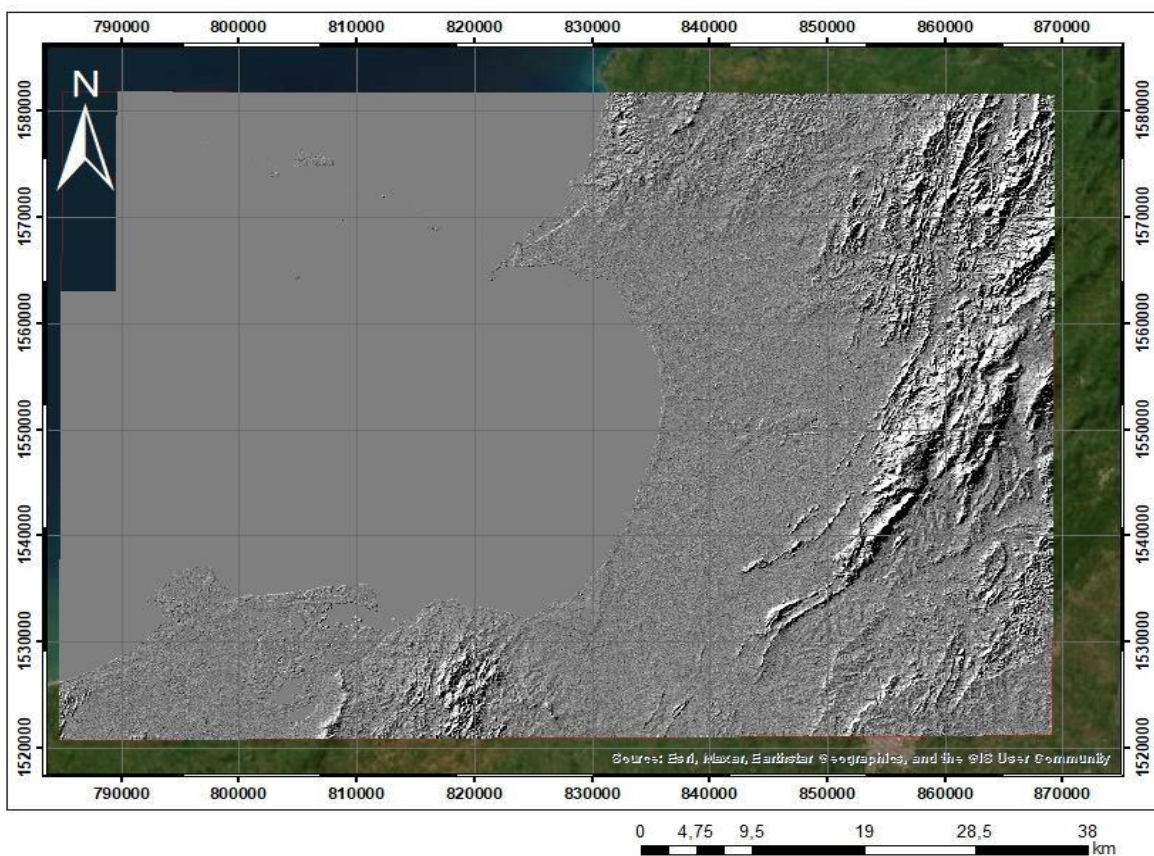
Mapa geomorfológico del Golfo de Morrosquillo.



Nota. Se identifican distintas unidades geomorfológicas de interés que representan las formas del relieve costero y continental. Entre ellas se destacan: Mpi (planos de inundación), Sl (lomos), Mi (islas), Fpa (plano anegadizo) y Fdl (frente deltaico). Estas unidades permiten comprender la dinámica morfoestructural y los procesos que modelan el paisaje en la región.

Figura 5

Modelo de elevación sombreado del Golfo de Morrosquillo.



Nota. A partir de imágenes satelitales y del modelo digital de elevación (DEM), se generaron mapas de sombras y pendientes, reclasificados en siete rangos según los criterios del SGC (2017).

2.4.1 *Lomos (Sl)*

Prominencias topográficas conformadas por sistemas o conjuntos de filos ubicados a diferentes alturas. Se caracterizan por presentar cimas alargadas, de topes agudos a redondeados que siguen la tendencia estructural regional, laderas cortas a moderadamente largas, de forma cóncava a rectas y pendientes inclinadas a abruptas (CORPOAMAZONIA, 2022).

2.4.2 *Planos de inundación (marismas, ciénagas, zonas bajas de inundación, cubetas de derrame) (Mpi)*

Son áreas bajas con relieve plano-cóncavo, alto nivel freático y que presentan procesos de sedimentación marina y continental a nivel del mar o un poco por encima del nivel de marea alta. Se constituyen de suelos muy húmedos de granulometría tamaño lodo, arena muy fina y abundante materia orgánica (INVEMAR, 2012).

2.4.3 *Islas (Mi)*

Corresponde a las porciones de terreno elevado (islas) del Archipiélago de San Bernardo.

Figura 6

Fotografía de la isla Mangle



Nota. Fotografía de la isla Mangle, perteneciente al Archipiélago de San Bernardo, se caracteriza geomorfológicamente por estructuras arrecifales, playas arenosas, manglares y terrazas coralinas formadas por la acumulación de depósitos calcáreos provenientes de arrecifes muertos.

2.4.4 *Plano anegadizo (Fpa)*

Superficie en forma de artesa, casi plana e irregular, con pendiente suave. Se localiza en áreas planas mal-drenadas. Su origen es relacionado a procesos de encharcamiento temporal, que de manera general bordean las cuencas de decantación. Su depósito está constituido por sedimentos finos. Esta unidad está asociada al delta lacustrino del Río Sinú (SGC, 2015).

2.4.5 *Frente deltaico (Fdl)*

Superficie en forma de delta de baja inclinación y morfología convexa. Su origen está relacionado con la rápida depositación en la desembocadura de la corriente dentro de un lago, es este caso al mar, que supera la capacidad de erosión. Este delta corresponde al delta de Tinajones ubicado en el municipio de San Bernardo del Viento, departamento de Córdoba, su formación está relacionada directamente con la acumulación de sedimentos del río Sinú, que se depositan en su desembocadura al mar, se encuentra subdividido en cuatro sectores separados por los tres brazos del río que desemboca.

Figura 7

Vista satelital del Delta Tinajones del río Sinú



Nota. Vista satelital del Delta Tinajones del río Sinú, donde se observa la línea de costa actual, la planicie litoral y la dirección del flujo del río hacia el mar Caribe. La imagen permite evidenciar procesos de acumulación y dinámica sedimentaria en la desembocadura fluvial.

3 Metodología

3.1 Trabajo de campo

El muestreo de campo se realizó durante el curso Campo III en octubre del año 2023 con un recorrido en las áreas costeras del Golfo de Morrosquillo. La metodología consistió en realizar un muestreo de arena en localidades previamente seleccionadas con imágenes SIG, en donde se observaban procesos de erosión ó sedimentación. En cada estación se realizó una descripción geomorfológica con el fin de identificar el proceso predominante entre la erosión o la

sedimentación. Los implementos utilizados para la extracción fueron: una pala metálica, bolsas ziploc, cinta de papel, un marcador brújula y GPS.

El total de las muestras de arena recolectadas fueron 13. Las localidades fueron: Isla Mangle, Isla La Punta, Caño Guacamayas (desembocadura del manglar Guacamayas), Playa Guacamayas, Playa El Francés, y Playa de San Bernardo del Viento (Figura 1).

En cada estación se recolectaron 2 muestras una en la zona de frente de playa (foreshore) en donde se recolecto una muestra de zanja a profundidad de 20 cm. A partir de esta estación se recolecto la segunda muestra de sedimentos a 50 metros mar adentro con una profundidad de agua que variaba entre 1 y 1.5 metros, en donde se recolecto muestra representativa de arena.

Figura 8

Ubicación de las estaciones de muestreo



Nota. La toma de muestra 1 corresponde a la línea de costa, mientras que la toma de muestra 2 se ubica a 50 metros mar adentro.

Cada una de las muestras fueron marcadas con un código denominado MAPS seguido de la estación en la que se encontraban y continuo a esto, el número de la muestra. En algunas estaciones se realizaron perfiles de playa en donde se tomaron muestras en la playa y 50 m aproximadamente en línea recta hacía el mar.

3.2 Trabajo de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras de los puntos estratégicos a lo largo de la costa del Golfo de Morrosquillo, se comienza la preparación de estas con un secado en el horno a 180° en un lapso de tiempo de 25-30 minutos. Seguido a esto, contando ya con las muestras secas se procede a realizar el proceso de tamizaje con un juego de 7 números de tamices y se finaliza con pesaje de cada muestra resultado del tamizaje. Antes del tamizaje de las muestras, se realizan las secciones delgadas de cada punto de recolección con el fin del estudio sedimentológico y granulométricos de estas. Finalizando así con un análisis de Carbono Orgánico Total en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará.

3.2.1 Preparación de muestras

Cada una de las muestras fue secada en un horno a 180° por un periodo de tiempo de 25-30 minutos. Seguido a esto, cada muestra fue tamizada por los números de mallas de alambre 14, 20, 30, 60, 80, 100 y >100. Seguido a esto, se realiza el peso de cada muestra según el tamaño de malla. Esto con el fin de darles una clasificación granulométrica según el Tamaño de grano de Wentworth (1922).

Figura 9

Proceso de tamizaje, medición y cálculo de porcentajes granulométricos por tamaño de malla a partir de muestras recolectadas



Nota. Este procedimiento permite clasificar los sedimentos según su distribución de tamaños para su posterior análisis sedimentológico.

3.2.2 Análisis petrográfico

Los análisis petrográficos se realizaron utilizando una muestra sin tamizar impregnada con resina epóxica azul a partir de la cual se elaboró una sección delgada. El análisis se llevó a cabo con un microscopio Nikon 50i POL con sistema de microfotografía. Se realizó un conteo sistemático de 400 puntos, seleccionados de manera aleatoria. En cada punto se describió el tamaño y forma del grano, la forma y esfericidad del grano, la composición mineralógica. La clasificación textural siguió los criterios de Powers (1953).

3.2.3 *Análisis geomorfológico*

Con base en imágenes satelitales se identificaron las unidades geomorfológicas presentes y su dinámica multitemporal relacionado a los procesos erosivos y sedimentológicos del Golfo de Morrosquillo.

3.2.4 *Análisis de los procesos de erosión y/o depositación*

Esta evaluación se realizó a partir de la comparación de la línea de costa reciente con respecto a los años anteriores, registrando el avance o retroceso de la línea de costa y su relación con la intervención por construcciones sobre el frente de playa.

3.2.5 *Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Total (TC)*

Se realizó un análisis detallado de Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Total (TC) mediante un horno de alta temperatura con detección infrarroja no dispersiva (DNIR) en 13 muestras recolectadas en 7 estaciones distribuidas en el Golfo de Morrosquillo. El análisis se llevó a cabo en un analizador de carbono y azufre LECO SC-144DR, bajo las siguientes condiciones específicas: temperatura del horno de combustión de 1357,40 °C, gas de oxidación (oxígeno de alta pureza) y temperatura del horno de celdas infrarrojas de 48,86 °C. en el laboratorio de la Universidad Industrial de Santander, sede Guatiguará.

4 Resultados

4.1 *Análisis granulométrico*

Con los resultados del tamizaje, y el peso de la fracción retenida en cada tamiz, se calculó el porcentaje de cada fracción según su tamaño de grano, los cuales se reportan en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación del tamaño de grano según la escala de Wentworth (1922), tomada de la Guía de laboratorio para análisis de tamaño de grano de sedimentos de Cruz et al. (2003).

N° Malla	Milímetros (mm)	Clases	Abreviatura
#14	1.41	Arena muy gruesa	AMG
#20	0.84	Arena gruesa	AG
#30	0.59	Arena gruesa	AG
#60	0.25	Arena media	AM
#80	0.17	Arena fina	AF
#100	0.14	Arena fina	AF
>100	<0.14	Arena muy fina	AMF

Nota. Esta clasificación fue utilizada para interpretar los resultados del tamizaje y determinar la distribución granulométrica de las muestras recolectadas en el área de estudio. Los resultados para del análisis granulométrico se presentan a continuación:

Tabla 2

Datos de peso para cada muestra según el tamaño de la malla.

Muestra	PESO EN GRAMOS							Total
	#14	#20	#30	#60	#80	#100	>100	
MAPS01-M1	133.3	15	70.4	195.8	48.6	16.7	4.7	484.5
MAPS01-M2	203.6	34.8	40.1	35.4	5.6	6.2	6.8	332.5
MAPS02-M1	2.6	4.9	17	30.1	25.8	28	256.4	364.8
MAPS02-M2	1.7	13.2	67.2	169.3	80.8	102.2	132.2	566.6
MAPS02-M3	0.2	0.3	1.5	5.5	18.6	120.9	206.1	353.1
MAPS03-M1	0.2	1.4	71.2	149.5	97.6	53.8	14.1	387.8
MAPS04-M1	0	1.9	48.4	447.5	98.2	43.1	12	451.1

MAPS04-M2	0.1	0.2	0.7	2.4	1.9	5.6	703.6	714.5
MAPS05-M1	1	13.6	207.1	351.6	30.1	11.8	1.9	617.1
MAPS06-M1	0.3	2	182.8	486.3	79.4	31.4	11.4	793.6
MAPS06-M2	0	0	0.4	1.3	0.9	2	510.1	514.7
MAPS07-M1	0.9	1	3	48.1	459.2	126.4	75.2	713.8
MAPS07-M2	0.6	0.7	3.1	17	62.1	186.1	574.4	844

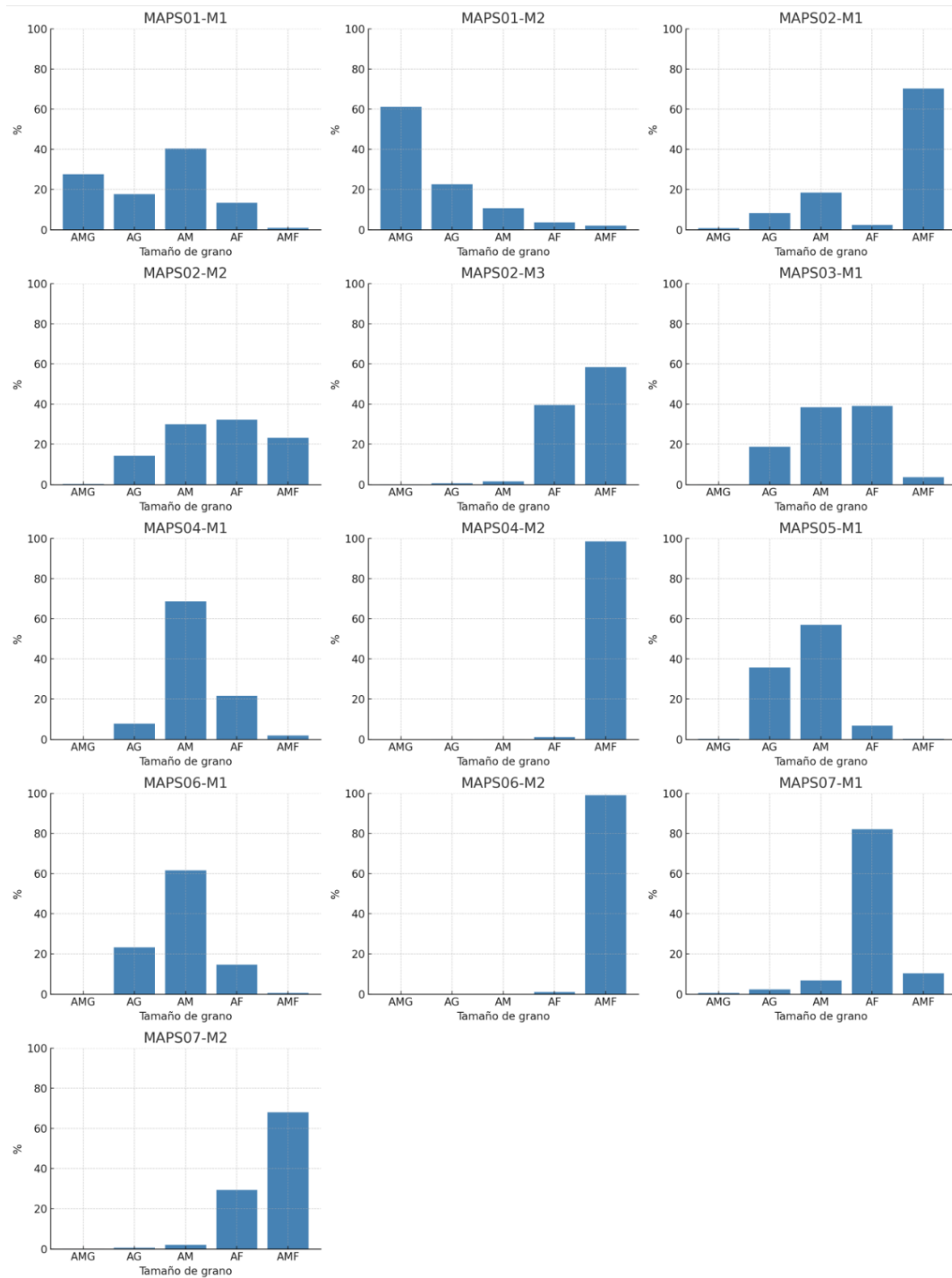
Tabla 3

Porcentajes y clasificación del tamaño de grano de las muestras de sedimento recolectadas, según la escala de Wentworth (1922).

Muestra	PORCENTAJES					Total
	AMG	AG	AM	AF	AMF	
MAPS01-M1	27.6	17.7	40.4	13.4	0.9	100
MAPS01-M2	61.2	22.6	10.6	3.6	2	100
MAPS02-M1	0.7	6	8.2	14.8	70.3	100
MAPS02-M2	0.3	14.3	29.9	32.2	23.3	100
MAPS02-M3	0.1	0.5	1.5	39.5	58.4	100
MAPS03-M1	0.1	18.8	38.5	39	3.6	100
MAPS04-M1	0	7.7	68.7	21.7	1.9	100
MAPS04-M2	0	0.1	0.3	1.1	98.5	100
MAPS05-M1	0.2	35.8	56.9	6.8	0.3	100
MAPS06-M1	0	23.3	61.6	14	1.4	100
MAPS06-M2	0	0.1	0.3	0.6	99	100
MAPS07-M1	0.1	0.5	6.8	82.1	10.5	100
MAPS07-M2	0.1	0.5	2	29.4	68	100

Figura 10

Histogramas de los resultados granulométricos para cada una de las muestras.



Nota. Las muestras MAPS01 correspondiendo al sector Mangle (A); MAPS02 correspondiendo al sector La Punta (B); MAPS03 y MAPS04 correspondientes al sector Guacamaya (C); MAPS05 y MAPS06 correspondientes al Francés (C); MAPS07 correspondiendo al sector San Bernardo (D).

En la isla Mangle los sedimentos tienen un rango granulométrico que va desde granos muy grandes hasta un tamaño de grano medio, los cuales comprenden valores desde 1.41 mm hasta 0.17 mm. La textura observada en las muestras de arena de estos islotes es heterogénea, refleja una variabilidad significativa en el tamaño de grano y su distribución granulométrica se clasifica como pobremente seleccionada. En cuanto a la morfología de los granos, estos presentan formas que van desde angulares hasta subredondeados.

Figura 11

Clastos tamaño arena muy gruesa correspondientes a la muestra MAPS01-M2 de la Isla Mangle (A)



El sector La Punta cuenta con una granulometría que puede ir desde granos gruesos a finos, donde comprende valores desde los 0.59 mm hasta <0.14 mm. El tamaño de grano de las arenas es

bastante variable, su clasificación granulométrica es pobremente seleccionada, y en cuanto a la morfología de los granos, la mayor predominancia de estos granos es subangulares, sin embargo, se identifican algunos subredondeados entre estos.

En el sector Guacamaya se observa una granulometría que va desde granos medios a granos finos, donde los valores comprendidos van desde 0.17 mm a 0.25 mm. La clasificación de estas arenas es pobremente seleccionada y en cuanto a la morfología de los granos, su predominancia es subangular con muy pocos granos subredondeados.

Figura 12

Clastos tamaño arena gruesa correspondientes a la muestra MAPS05-M1 del sector Guacamaya (C)



En el sector El Francés el rango de tamaño de grano va desde 0.25 mm a <0.14 mm, clasificando así estas muestras como arenas medias, finas y muy finas. Su clasificación granulométrica es moderadamente seleccionada y en cuanto a la morfología de los granos, estos presentan formas que van desde angulares hasta subredondeados.

Figura 13

Clastos tamaño arena media correspondientes a la muestra MAPS06-M1 del sector San Bernardo (D).



En el sector San Bernardo en el delta del Río Sinú se caracteriza por una granulometría de arenas muy finas a finas en donde el tamaño de grano puede ir desde 0.14 mm a <0.14 mm, la textura de las muestras es considerablemente heterogénea, su selección granulométrica es moderada a pobre y también se observa la mayoría de granos con formas subangulares a subredondeados.

4.2 Análisis geomorfológico

Figura 14

Imagen satelital tomada de Google Earth de la isla Mangle (A).



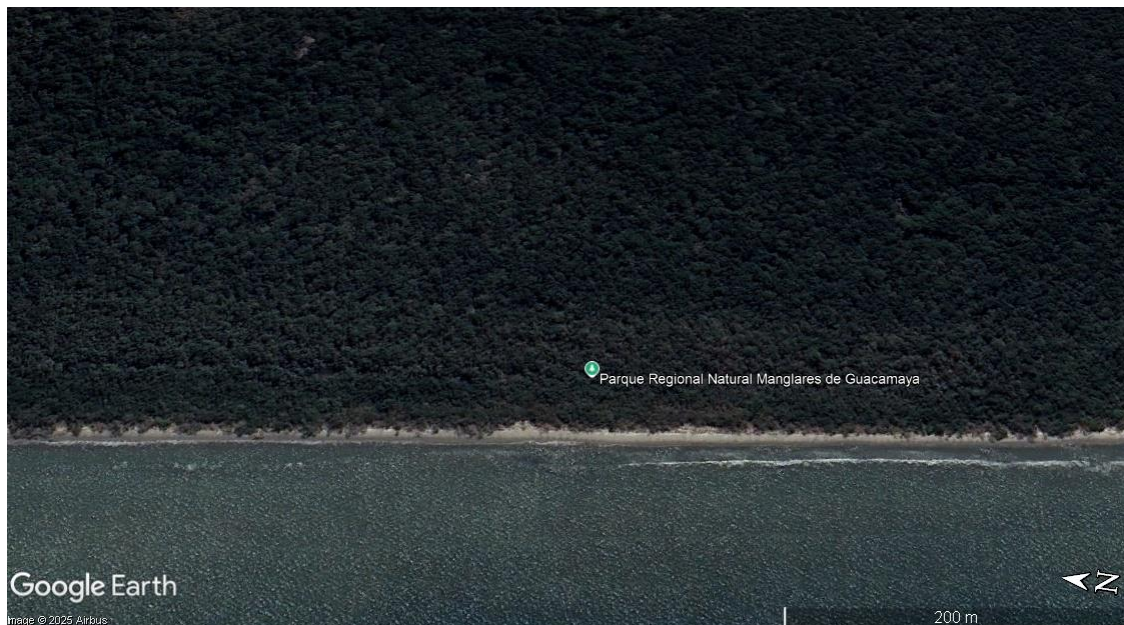
La isla Mangle, ubicada en el sector norte del Golfo de Morrosquillo, presenta una morfología alargada y estrecha. Se observa una cobertura densa de manglar en gran parte de su superficie, especialmente en los márgenes y asimismo se identificó una pendiente de la costa es muy suave. En la imagen satelital (Ilustración 14), se distingue la presencia de terrazas coralinas, así como acumulaciones de sedimento que se extienden hacia el interior. También se reconocen zonas con playas de arena blanca, formaciones típicas de ambientes insulares con origen coralino.

Por otro lado, la geomorfología del sector La Punta y Guacamaya es similar debido a que comparten unidades geomorfológicas como lo son los planos de inundación identificados en estas áreas, tales como ciénagas, marismas y zonas bajas de inundación (Figura 15). En estas zonas se observan mayores cantidades de manglares y desembocaduras de drenajes en el mar, así como

también es importante mencionar la presencia de los cordones litorales que se pronuncian a lo largo de la costa. A diferencia de la zona Guacamaya, en la zona la Punta existen franjas costeras que están compuestas por playas estrechas de arena clara, y en algunos sectores de esta se identifican estructuras rectilíneas que se extienden hacia el mar, conocidas como espolones. También se destacan cordones litorales paralelos a la costa, que marcan acumulaciones de sedimento. La combinación de manglares, zonas inundables y elementos de la dinámica costera configuran una geomorfología característica de áreas bajas y húmedas.

Figura 15

Imagen satelital tomada de Google Earth del sector Guacamaya (C).



En el sector el Francés se identifica una planicie costera caracterizada por pendientes muy suaves que facilitan la conexión entre tierra firme y la costa. Históricamente, esta zona presentaba extensas áreas de manglar asociadas a planos de inundación y cuerpos de agua interiores. Sin embargo, actualmente se observa una alta intervención antropogénica debido al crecimiento urbano, lo que

ha provocado la reducción de los manglares y la disminución de los cuerpos de agua asociados a la ciénaga. La urbanización ha modificado notablemente la geomorfología natural del área, evidenciándose la presencia de viviendas, vías y construcciones aledañas a la línea de costa. Además, a lo largo de la franja litoral se observan estructuras perpendiculares al litoral, como espolones, las cuales han sido instaladas frente a los sectores urbanizados.

En el sector de San Bernardo del Viento se observa un frente deltaico de morfología convexa y pendiente muy baja, característico de ambientes de alta sedimentación. El delta, conocido como Delta de Tinajones, se forma por la acumulación de sedimentos transportados y depositados por el río Sinú hacia el mar Caribe. La zona presenta un patrón complejo de barras y bancos de arena que emergen en las desembocaduras y a lo largo de la costa, asociados a procesos dinámicos de transporte litoral e intermareal. También se identifican amplias áreas de zonas intermareales, donde la interacción de las mareas y el aporte fluvial facilita la formación de humedales, lagunas costeras y marismas, proporcionando una transición gradual entre el continente y el mar. El entorno geomorfológico se caracteriza por la presencia de canales distributarios que permiten el flujo de sedimentos hacia diferentes partes del delta, y áreas de vegetación densa adaptada a las condiciones de inundación periódica. La dinámica sedimentaria constante ha modelado la forma convexa del frente costero, contribuyendo a la construcción progresiva del delta a lo largo del tiempo.

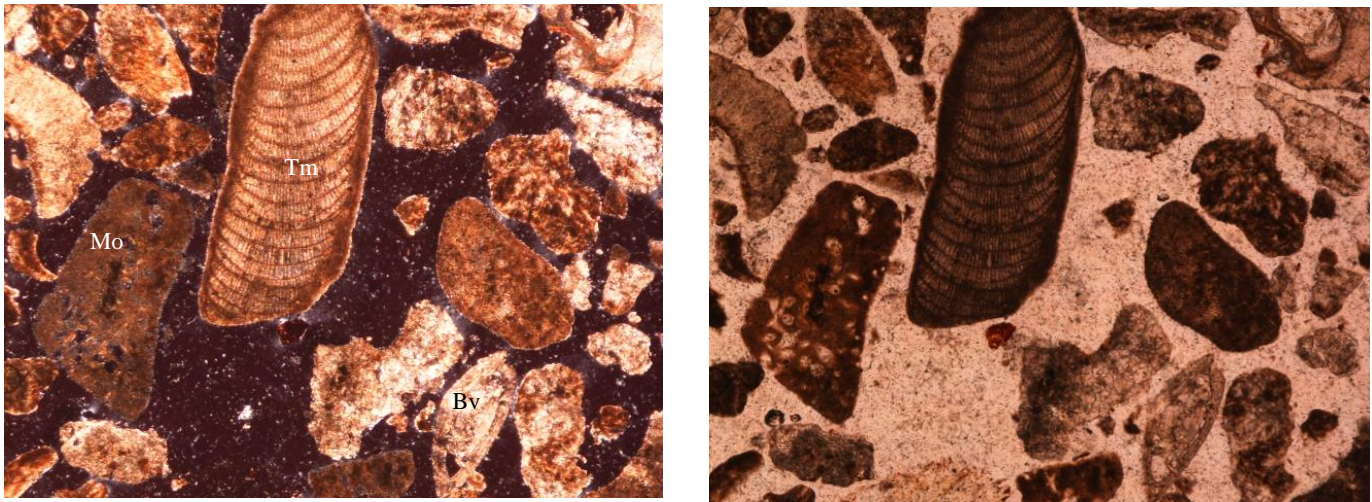
4.3 Análisis petrográfico

Mediante el estudio de las secciones delgadas de cada muestra obtenidas del área de estudio, se observaron los resultados de la composición mineralógica con el fin de interpretar y relacionar estos factores con la erosión y sedimentación de cada sector mencionado anteriormente.

4.3.1 Sector Mangles

Figura 16

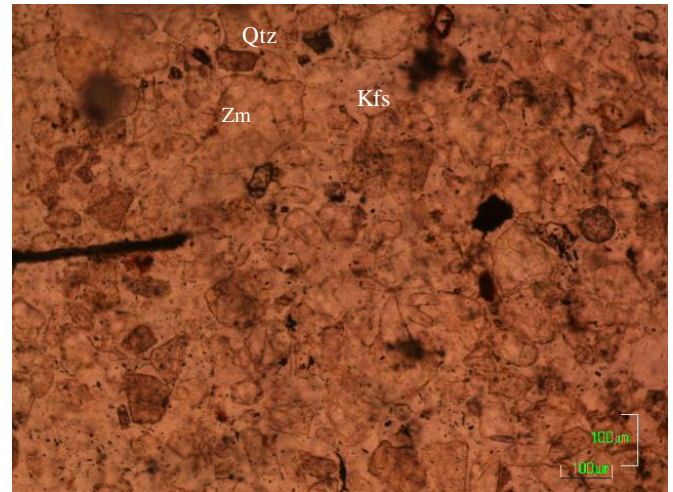
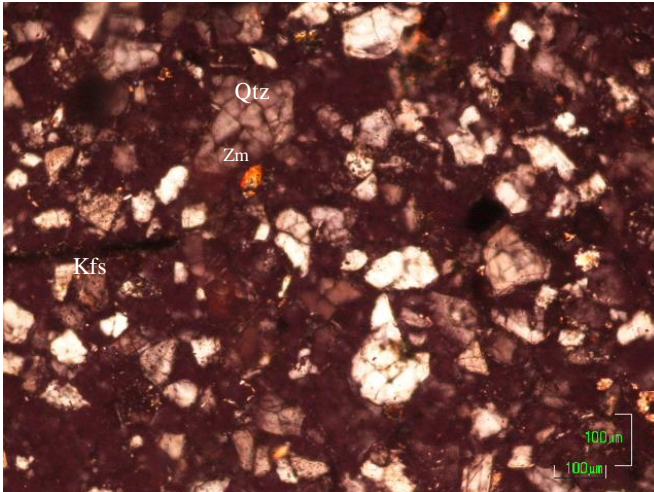
Imagen en 10x de la muestra MAPS01-M2 en XPL y PPL. Abreviaturas usadas son: Tm (trozos de madera), Bv (bivalvo) y Mo (materia orgánica)



Composicionalmente las dos muestras de este sector tienen un gran aporte calcáreo. Las muestras de arenas están compuestas principalmente por material orgánico (trozos de madera) con una predominancia del 33%, fragmentos de bivalvos con un 27%, carbonatos (calcita y otros) con 22%, algas con 15% y finalmente pequeños granos de cuarzo con 3%.

Tabla 4*Porcentajes mineralógicos de la sección delgada MAPS01-M2*

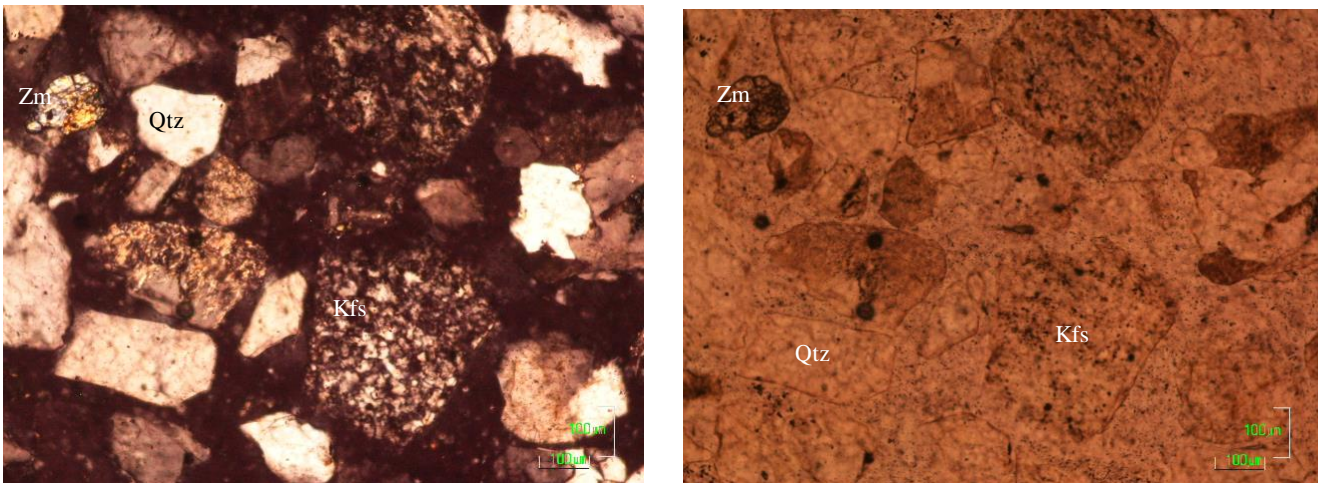
Componente	Porcentaje
Fragmentos de bivalvos	27%
Algas	15%
Carbonatos (calcita y otros)	22%
Material orgánico (trozos de madera)	33%
Cuarzo	3%
Total	100%

4.3.2 Sector La Punta**Figura 17***Imagen en 10x de la muestra MAPS02-M1 en XPL y PPL. Abreviaturas según Siivola y Schmid (2007)*

Por otro lado, composicionalmente este sector se evidencia un gran aporte de cuarzo y feldespatos donde su predominancia es hasta el 77% en las muestras recolectadas, no obstante, también se observan micas como moscovita, biotita y clorita que suman un 11%, carbonatos con un 4% y finalmente, la presencia evidente de circones con un 8%.

Tabla 5*Porcentajes mineralógicos de la sección delgada*

Componente	Porcentaje
Cuarzo	62%
Feldespatos	15%
Moscovita	4%
Clorita	7%
Circón	8%
Carbonatos	4%
Total	100%

4.3.3 Sector Guacamaya**Figura 18***Imagen en 10x de la muestra MAPS03-M1 en XPL y PPL. Abreviaturas según Siivola y Schmid (2007)*

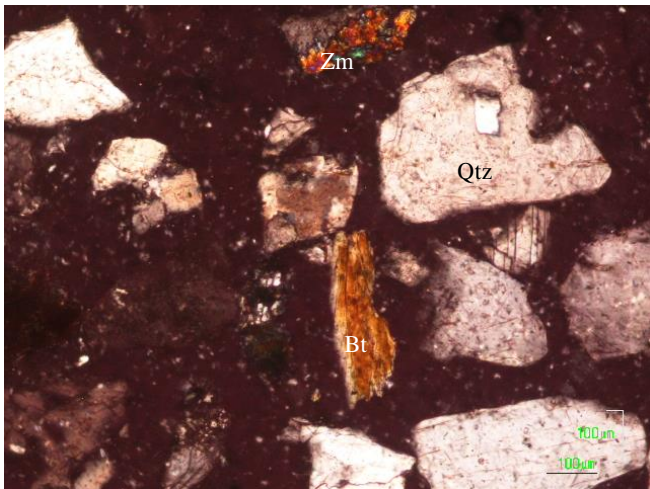
El sector Guacamaya cuenta composicionalmente con un gran aporte de siliciclásticos y feldespatos los cuales suman un 79%, así como también se observó moscovita con un 3%, clorita 6%, circón 9% y pocos granos de carbonatos que suman un 3%.

Tabla 6*Porcentajes mineralógicos de la sección delgada*

Componente	Porcentaje
Cuarzo	61%
Feldespatos	18%
Moscovita	3%
Clorita	6%
Circón	9%
Carbonatos	3%
Total	100%

4.3.4 Sector El Francés**Figura 19**

Imagen en 10x de la muestra MAPS04-M1 en XPL y PPL. Abreviaturas según Siivola y Schmid (2007).

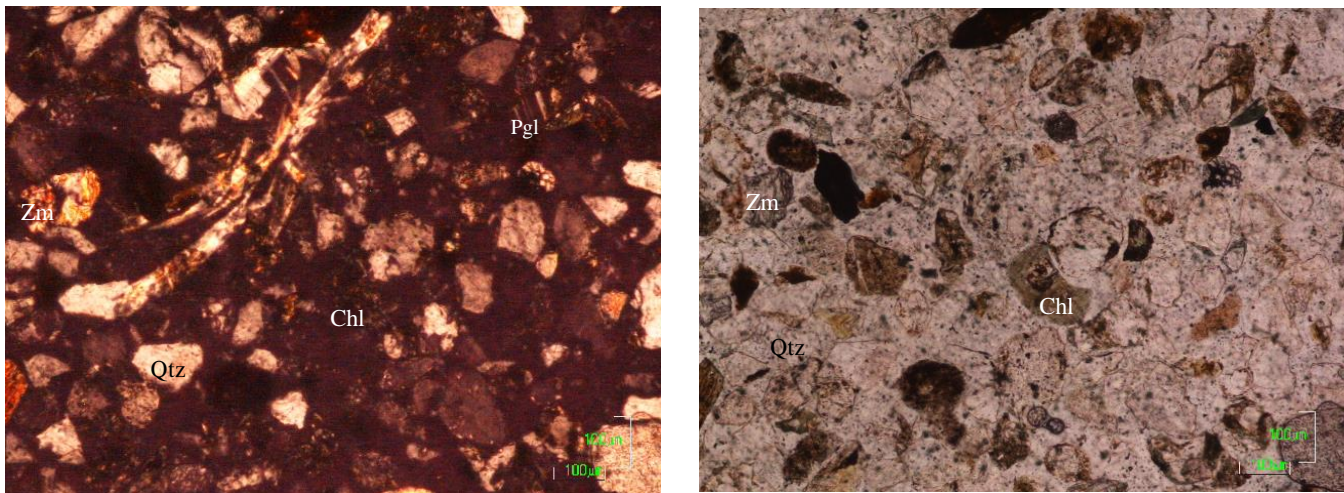


Composicionalmente estas muestras tienen un gran aporte de cuarzo y feldespatos donde su porcentaje es del 74% en su totalidad, asimismo las micas como lo son la moscovita, la biotita y la clorita con un 14%, circón con un 7% y epidota con 5%.

Tabla 7*Porcentajes mineralógicos de la sección delgada*

Componente	Porcentaje
Cuarzo	63%
Feldespatos	11%
Moscovita	6%
Clorita	8%
Circón	7%
Epidota	5%
Total	100%

4.3.5 Sector San Bernardo

Figura 20*Imagen en 10x de la muestra MAPS07-M2 en XPL y PPL. Abreviaturas según Siivola y Schmid (2007)*

La composición de las muestras representativas de este sector demuestra un alto porcentaje de minerales siliciclásticos como lo son el cuarzo con un 57%, feldespatos con un 11%, moscovita y

biotita en total con un 18%, asimismo se observa la presencia de algunos granos de epidota con un 5% y circones con un 9%.

Tabla 8

Porcentajes mineralógicos de la sección delgada

Componente	Porcentaje
Cuarzo	57%
Feldespatos	11%
Moscovita	6%
Clorita	12%
Circón	9%
Epidota	5%
Total	100%

4.4 Análisis de erosión y depositación costera

Con base en las observaciones realizadas en campo y con la ayuda de imágenes satelitales multitemporales de Google Earth, se realizó un análisis de erosión y sedimentación costera a lo largo del Golfo de Morrosquillo donde se evidencia el retroceso de la línea de costa con el paso de los años debido a factores naturales como también la intervención antropogénica. Esta dinámica de erosión y depositación costera se ve influenciada de función del área que se estudie.

4.4.1 Sector Mangles

Figura 21

Análisis multitemporal de imágenes satelitales tomadas de Google Earth de la línea de costa en el Sector Mangles.



Nota. Obsérvese en amarillo la ubicación de la costa en el año 2025 para hacer la comparativa del retroceso. Se puede observar una reducción de área de la isla con el paso de los años.

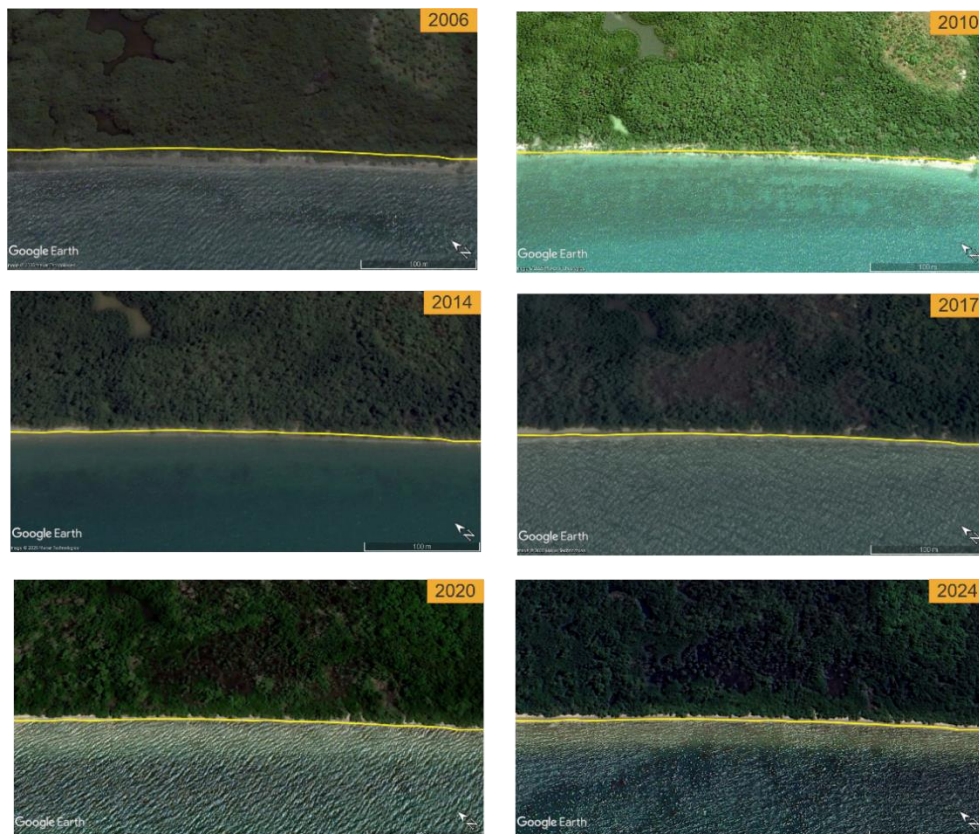
En la Figura 21 se observa la evolución morfológica de la isla Mangles, ubicada en el norte del Golfo de Morrosquillo, durante el periodo comprendido entre 2010 y 2025. A lo largo de los años, se evidencia una reducción progresiva en el área de la isla, acompañada de un retroceso de la línea

de costa, especialmente hacia el sector oriental. La pérdida de superficie se manifiesta a través de una fragmentación del contorno insular y una disminución de la cobertura de manglar. No se identificaron estructuras de intervención antropogénica que pudieran influir directamente en los procesos erosivos. La morfología de la isla, compuesta principalmente por depósitos sedimentarios no consolidados de origen arrecifal, la hace particularmente vulnerable a la acción de oleajes, corrientes marinas y mareas. Adicionalmente, los cambios observados en la distribución de sedimentos alrededor de la isla reflejan procesos activos de movilización y redistribución del material.

4.4.2 Sector La Punta

Figura 22

Análisis multitemporal de imágenes satelitales tomadas de Google Earth de la línea de costa en el sector La Punta.



Nota. Obsérvese en amarillo la ubicación de la costa en el año 2024 para observar el comportamiento de la línea de costa con el paso de los años. Se evidencia que esta se mantiene estable sin evidencia de erosión.

El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 2006 y 2024 (Figura 22) muestra que en el sector de La Punta persiste una franja continua de manglar que actúa como protección natural de la línea de costa. Sin embargo, se evidencian signos de erosión en tramos específicos donde la cobertura de manglar es más reducida. En estos sectores, se observa un retroceso progresivo de la línea de costa, aunque de magnitud limitada en comparación con otras zonas del Golfo de Morrosquillo. Adicionalmente, se identifican construcciones de espolones perpendiculares a la costa, cuya presencia ha alterado la dinámica sedimentaria local (Figura 23). Estas estructuras han generado zonas de sedimentación en su extremo izquierdo del espolón, mientras que en la zona de la derecha la erosión avanza rápidamente evidenciando un patrón típico de interferencia antropogénica en la dinámica costera. La comparación de las imágenes revela acumulaciones de sedimento entre los espolones y una pérdida visible de playa inmediatamente adyacente a ellos.

Figura 23

Intervención antropogénica en el Sector La Punta (B).

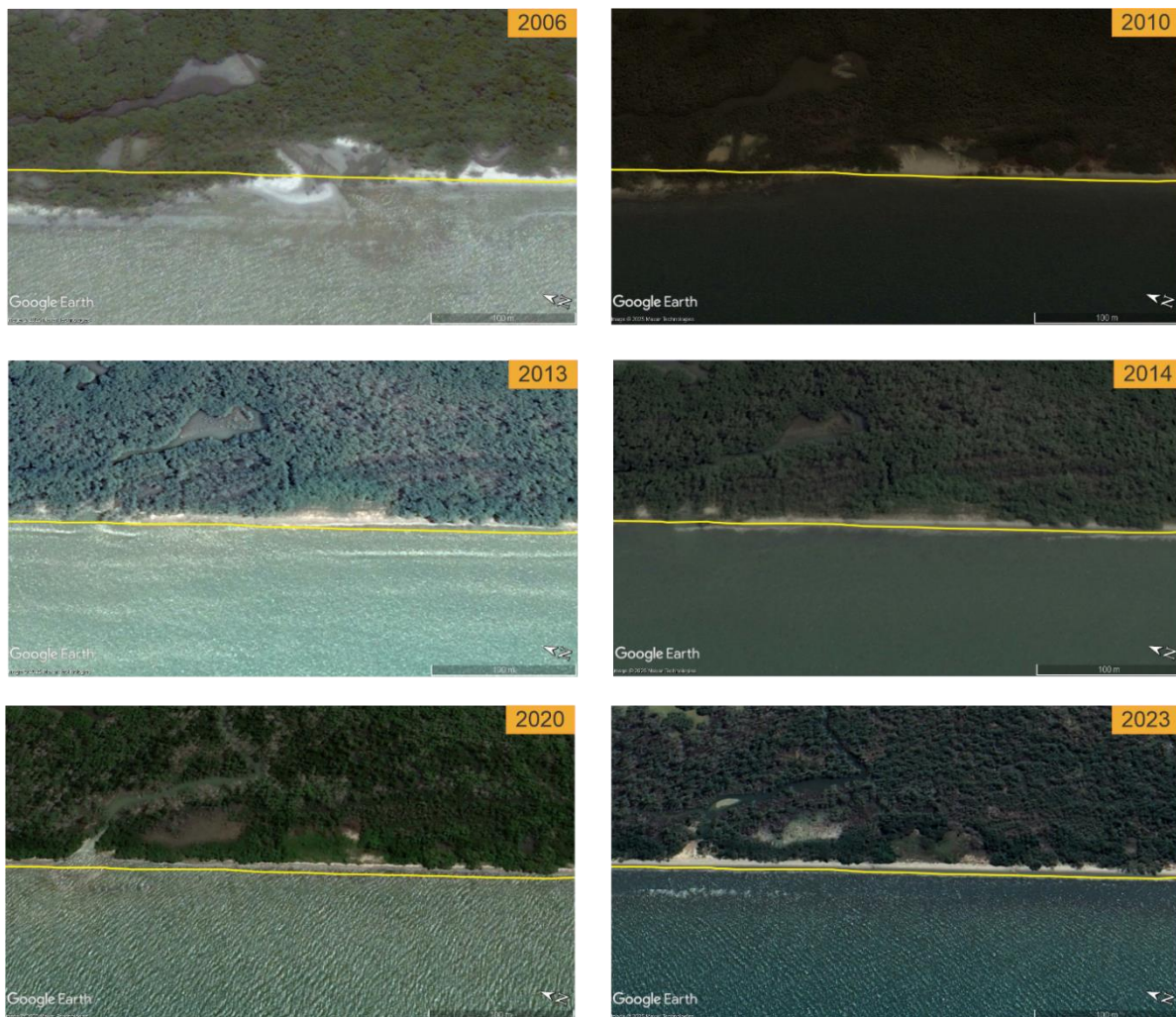


Nota. Como se evidencia en la anterior figura, se presenta un ejemplo claro de intervención antropogénica donde esta en particular cuenta con 4 espolones que se proyectan mar adentro con el fin de interrumpir el movimiento de sedimentos paralelo a la costa y también reducir la energía del oleaje. Estas estructuras permiten una sedimentación temporal en la zona izquierda del espolón, mientras que en la zona de la derecha la erosión avanza rápidamente. Finalmente, con el tiempo termina incrementando los niveles erosivos, acabando así con las pocas áreas de playa que quedan.

4.4.3 Sector Guacamaya

Figura 24

Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector Guacamaya en el Golfo de Morrosquillo entre los años 2006 y 2023.



Nota. Nótese que la línea de costa no ha sufrido cambios drásticos por erosión marina indicando que esta costa es estable en el tiempo sin erosión evidente.

El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 2006 y 2023 (Figura 24) evidencia que el sector Guacamaya ha mantenido una notable estabilidad en su línea de costa. La presencia de una

densa cobertura de manglar, asociada al Parque Regional Natural Manglares de Guacamaya, actúa como una eficaz barrera natural que reduce la energía del oleaje e impide procesos erosivos significativos. Durante el periodo analizado, no se observan modificaciones relevantes en la extensión de playa, ni evidencias de retroceso costero. Además, la intervención antropogénica en este sector es mínima, lo que ha favorecido la preservación de las condiciones naturales del sistema litoral. A diferencia de otros sectores del Golfo de Morrosquillo, la combinación de protección natural y bajo impacto humano ha permitido la conservación del frente costero en Guacamaya.

4.4.4 Sector El Francés

Figura 25

Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector el Francés que abarca toda la zona central del Golfo de Morrosquillo entre los años 2004 y 2022.

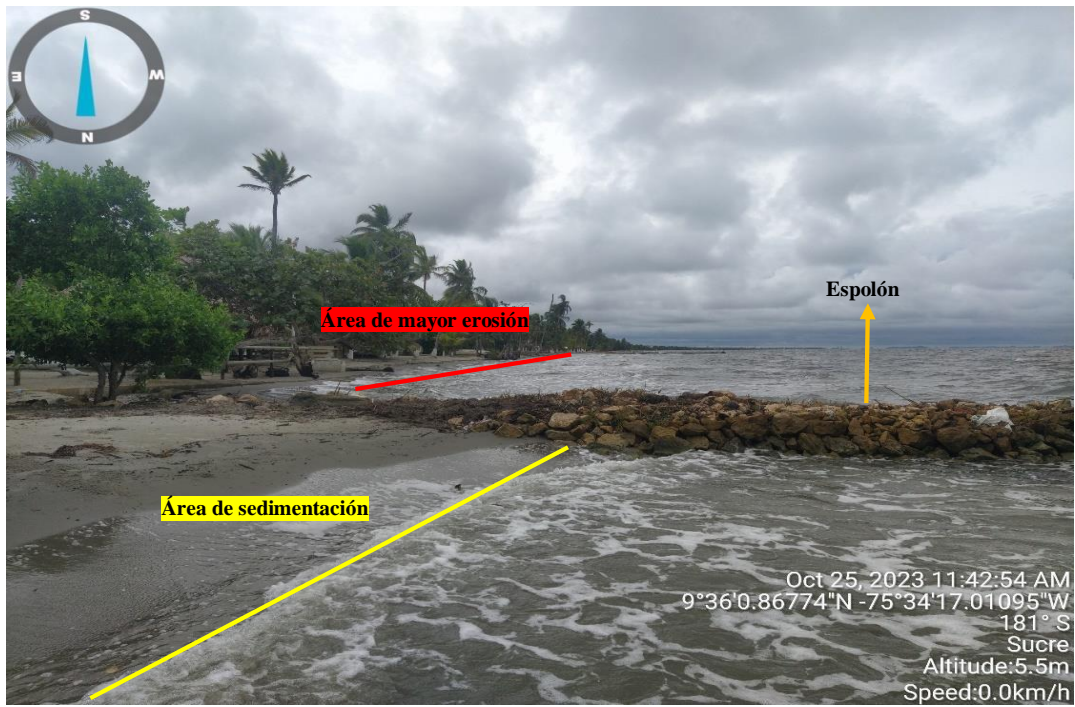


Nota. Obsérvese en amarillo la ubicación de la costa en el año 2022 para observar el comportamiento de la línea de costa con el paso de los años. Se evidencia que esta tiene un retroceso significativo señal clara de un proceso erosivo.

El análisis multitemporal de las imágenes satelitales (Figura 25) evidencia que el sector El Francés, localizado en la zona central del Golfo de Morrosquillo, ha experimentado un retroceso progresivo en su línea de costa entre 2004 y 2022. Se observa una pérdida de playa notable, especialmente en los tramos más urbanizados, donde las edificaciones se encuentran próximas al litoral. La intervención antropogénica ha tenido un papel importante en la aceleración de los procesos erosivos, como lo demuestran las estructuras rígidas visibles en la costa (espolones, muelles y edificaciones costeras). Además, la limitada presencia de manglares y cuerpos lagunares funcionales ha reducido la capacidad natural de defensa frente al oleaje y la dinámica marina. La construcción de infraestructuras costeras ha alterado el transporte litoral de sedimentos, favoreciendo la erosión en sectores adyacentes y comprometiendo la estabilidad de la playa. En consecuencia, El Francés presenta actualmente un frente costero más estrecho y expuesto, en comparación con años anteriores.

Figura 26

Erosión costera en el sector el Frances por intervención antropogénica



Nota. Este sector ha sido el más afectado con intervenciones antropogénicas como lo son los espolones, rompeolas y malecones con la intención de contener el oleaje y estabilizar la línea de costa.

4.4.5 Sector San Bernardo

Figura 27

Análisis multitemporal de imágenes satelitales de Google Earth del sector San Bernardo en el Golfo de Morrosquillo entre los años 1969 y 2020.

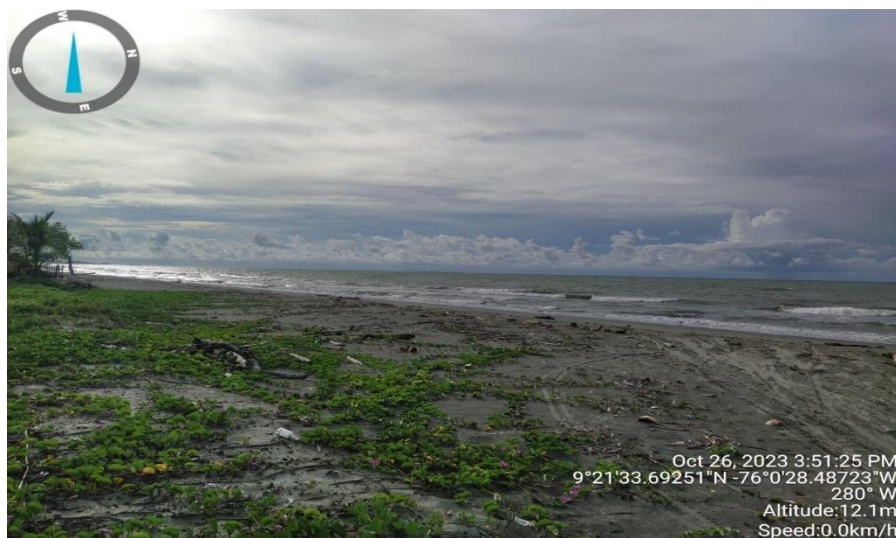


Nota. Obsérvese en amarillo la ubicación de la costa en el año 2020 para observar el comportamiento de la línea de costa con el paso de los años. Se observa una sedimentación del Delta Tinajones que avanza con el paso de los años debido a la depositación de sedimentos siendo el Río Sinú.

A diferencia de los sectores previamente analizados, el área de San Bernardo presenta una dinámica claramente dominada por procesos de sedimentación. El análisis multitemporal de imágenes satelitales (Figura 27) muestra un avance progresivo de la línea de costa entre 1969 y 2020, evidenciado en la expansión de la plataforma de sedimentos hacia el mar. Este crecimiento se atribuye principalmente al aporte sedimentario del Río Sinú, cuya descarga fluvial transporta grandes volúmenes de material hacia el litoral. La formación de un delta de depósito es claramente observable en las imágenes, consolidándose como una característica morfológica dominante en la zona. En este sector no se identifican signos de erosión costera significativa ni intervenciones antropogénicas que alteren la dinámica natural del área. La presencia de amplias extensiones de playa y la progresiva progradación de la línea de costa contrastan con la pérdida de terreno observada en otros sectores del Golfo de Morrosquillo. La estabilidad y crecimiento de San Bernardo destacan la importancia de los aportes fluviales en la dinámica costera regional, subrayando el rol fundamental del Río Sinú como agente de construcción del paisaje litoral.

Figura 28

Imagen tomada de la playa San Bernardo del Viento (D).



4.5 Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC) y Total de Carbono (TC)

Tabla 9

Tabla de resultados de Análisis de Carbono Orgánico Total (TOC) y Carbono Total (TC)

No	Nombre de la muestra	Carbono Total (TC)	Carbono Orgánico Total (TOC)
		%[p/p]	%[p/p]
1	MAPS01-M1	11,949	0.118
2	MAPS01-M2	11,800	0,141
3	MAPS02-M1	0,152	0,152
4	MAPS02-M2	0,077	0,077
5	MAPS02-M3	0,056	0,056
6	MAPS03-M1	0,140	0,140
7	MAPS04-M1	0,138	0,138
8	MAPS04-M2	0,052	0,052
9	MAPS05-M1	0,176	0,176
10	MAPS06-M1	0,116	0,116
11	MAPS06-M2	0,089	0,089
12	MAPS07-M1	0,134	0,134
13	MAPS07-M2	0,036	0,036

Los valores de TOC en las muestras varían entre 0.036% y 0.176% lo que demuestra una variabilidad en la acumulación de materia orgánica en los sedimentos a lo largo del Golfo de Morrosquillo. En el Sector Mangles se registraron valores más elevados de TC con 11,949% y 11,800%, mientras que en el TOC fue relativamente bajo con valores que oscilan entre 0,118 y 0,141%. En el Sector La Punta tanto el TC como el TOC presentaron valores bajos registrados entre 0,056% y 0,152%. Por otro lado, en el Sector Guacamaya se obtuvo un valor intermedio de 0,140% para ambos parámetros. En el Sector Francés se evidenció una variabilidad de valores bajos a moderados con registros entre 0,052% para el TC y 0,176 para el TOC. Finalmente, en el Sector San Bernardo el TC fue el más bajos de todos los sectores con 0,036% mientras que el TOC alcanzó un valor intermedio de 0,134%.

5 Discusión

Para el análisis de los procesos de erosión y sedimentación costera del Golfo de Morrosquillo, se hizo un estudio de múltiples factores que influyen en estos procesos como lo son la geomorfología, la intervención antropogénica, el tamaño granulométrico y la composición mineralógica de los sedimentos de la zona de estudio.

La isla Mangle, situada en el sector norte del Golfo de Morrosquillo, presenta una morfología alargada y estrecha, dominada por una densa cobertura de manglar, especialmente hacia los márgenes costeros. Se identificó una pendiente costera muy suave, así como la presencia de terrazas coralinas y acumulaciones de sedimento que se proyectan hacia el interior, características típicas de ambientes insulares de origen arrecifal. La granulometría de los sedimentos varía desde granos muy grandes (1.41 mm) hasta tamaño medio (0.17 mm), con texturas heterogéneas y pobremente seleccionadas. Esta distribución refleja un ambiente de energía moderada a alta, donde las corrientes marinas y el oleaje son suficientemente intensos para movilizar y depositar partículas de mayor tamaño (McLean & Kench, 2015). La morfología de los granos, que varía entre angulares y subredondeados, también sugiere un transporte relativamente corto y una energía intermitente que impide un redondeo completo de los sedimentos. Desde el punto de vista composicional, las arenas muestran un predominio de materiales biogénicos, con un alto contenido de fragmentos de bivalvos (27 %), material orgánico (33 %) y carbonatos (22 %), acompañado de aportes menores de algas (15 %) y cuarzo (3 %). Esta composición indica un fuerte control arrecifal y biológico en el suministro sedimentario. El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 2010 y 2025 evidencia una pérdida progresiva de superficie en la isla, manifestada como un retroceso de la línea de costa, particularmente en el sector oriental (Vousdoukas et al., 2020). Esta regresión se acompaña de una fragmentación creciente del contorno insular y una reducción notable de la

cobertura de manglar. Dado que no se observaron intervenciones antropogénicas relevantes, los procesos de erosión son atribuidos a la combinación de la vulnerabilidad inherente del sustrato no consolidado, la acción dinámica de oleaje, mareas y corrientes marinas. En conjunto, la dinámica sedimentaria y morfológica de la isla Mangle refleja un equilibrio inestable en un ambiente de alta sensibilidad, donde la energía marina dominante dificulta la acumulación y estabilidad de los sedimentos en el ecosistema.

El sector La Punta presenta una geomorfología dominada por planos de inundación, manglares, ciénagas y cordones litorales que le otorgan una configuración típica de zonas bajas y húmedas. Esta estructura natural contribuye a una cierta estabilidad costera en condiciones normales, especialmente gracias a la cobertura de manglar, que actúa como una barrera natural frente a los procesos erosivos. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que, a pesar de esta protección natural, el sector experimenta procesos de erosión costera claramente vinculados a la intervención antropogénica, particularmente a la construcción de espigones o espolones a lo largo de la línea de costa. Estas estructuras, diseñadas inicialmente para reducir la pérdida de sedimento, han alterado negativamente la dinámica litoral natural (Bertoni & Sarti, 2021). El análisis multitemporal de imágenes satelitales (2006–2024) evidencia cómo estos espolones generan acumulación de sedimento en su flanco izquierdo, mientras que en el derecho se intensifica la pérdida de playa, reflejando una erosión acelerada y localizada. Este patrón es típico de zonas donde el transporte litoral ha sido interrumpido, lo que provoca un desequilibrio en el flujo sedimentario. La granulometría de las arenas, que va desde tamaños gruesos a finos y con una pobre selección, indica un entorno de alta energía con constante movilización de sedimentos. La morfología subangular de los granos sugiere un transporte intermedio y procesos activos de retrabajo. Además, la composición mineralógica, dominada por cuarzo y feldespatos (77%), junto

con la presencia de micas, carbonatos y circones, refleja un aporte mixto de origen continental y marino, vinculado al arrastre fluvial y a la dinámica costera. En conjunto, La Punta muestra cómo, incluso en un entorno con protección natural por manglares, las intervenciones humanas mal planificadas pueden romper el equilibrio sedimentario, generando zonas de alta erosión. Por tanto, es necesario considerar no solo los elementos naturales que mitigan la pérdida de playa, sino también el impacto de las obras de ingeniería costera en la modificación de los procesos litorales (Cicin-Sain & Belfiore, 2019).

El sector Guacamaya presenta características geomorfológicas y sedimentológicas que explican su actual estabilidad costera. La presencia de unidades como ciénagas, marismas y zonas bajas de inundación, asociadas a planos de inundación, favorece una dinámica sedimentaria de baja energía, donde predomina la acumulación frente a la erosión. Estos ambientes húmedos, junto con la abundante cobertura de manglar, crean condiciones propicias para la retención de sedimentos finos y actúan como una barrera natural frente a la acción del oleaje (Alongi, 2015). La granulometría de las arenas en este sector, compuesta mayoritariamente por granos medios a finos (0.17–0.25 mm), sugiere un entorno de sedimentación de baja energía, característico de zonas protegidas donde la dinámica marina es limitada. Este tipo de depósito está en concordancia con la presencia de manglares, desembocaduras de drenajes y áreas de planos de inundación, donde el oleaje y las corrientes tienen menor capacidad de transportar y seleccionar los sedimentos. La mala selección de las arenas y la morfología predominantemente subangular de los granos refuerzan esta interpretación, ya que indican un transporte corto y escaso retrabajo, propios de ambientes calmos. Desde el punto de vista composicional, el predominio de minerales siliciclásticos y feldspatos (79%) señala una fuerte influencia continental en el aporte sedimentario, probablemente relacionado con la escorrentía superficial y los drenajes que desembocan en el área. La presencia

de minerales accesorios como moscovita, clorita y circón también sugiere una procedencia metamórfica y magmática del material, posiblemente vinculada a las unidades geológicas del interior del golfo. El análisis multitemporal entre 2006 y 2023 refuerza esta interpretación, al evidenciar una notable estabilidad en la línea de costa del sector Guacamaya. La densa cobertura de manglar, protegida por el Parque Regional Natural Manglares de Guacamaya, cumple un papel crucial en la mitigación de procesos erosivos, al disipar la energía de las olas y estabilizar los sedimentos. La baja intervención antropogénica también ha contribuido a conservar las condiciones naturales del sistema, en contraste con otros sectores del Golfo de Morrosquillo donde la presión humana ha intensificado los procesos de erosión. En conjunto, la interacción entre factores geomorfológicos, sedimentológicos, composicionales y ecológicos ha permitido que Guacamaya mantenga un estado de equilibrio dinámico, actuando como un ejemplo de litoral resiliente frente a las amenazas naturales y antropogénicas que afectan otras zonas costeras del golfo.

El sector El Francés presenta una dinámica costera fuertemente influenciada por la intervención antropogénicas, lo que ha alterado significativamente las condiciones naturales del sistema litoral. Originalmente, esta zona estaba dominada por una planicie costera de pendiente muy suave, que facilitaba la presencia de manglares y cuerpos de agua interiores asociados a planos de inundación. Sin embargo, el crecimiento urbano ha transformado esta configuración geomorfológica, reduciendo considerablemente la cobertura de manglar y los humedales, elementos clave para la estabilización natural del litoral. Desde el punto de vista sedimentológico, las arenas del Francés presentan una granulometría que varía desde arenas medias hasta muy finas (<0.14 mm), con una clasificación moderadamente seleccionada. Esta diversidad en el tamaño de grano sugiere una dinámica sedimentaria más activa que en sectores protegidos como Guacamaya, lo cual es

coherente con la exposición directa al oleaje y a la falta de barreras naturales. La morfología de los granos, que va desde angulares hasta subredondeados, indica una mezcla de materiales con distintos grados de retrabajo, posiblemente influenciada por el aporte irregular de sedimentos y la alteración del transporte litoral debido a las construcciones costeras. En cuanto a la composición mineralógica, las muestras muestran un predominio de cuarzo y feldespatos (74%), lo que evidencia una fuente siliciclástica continental. Sin embargo, la presencia significativa de micas (14%) y minerales como circón (7%) y epidota (5%) sugiere una procedencia más diversa, con posibles aportes de zonas metamórficas y magmáticas del interior del golfo. Esta mezcla composicional, en conjunto con la variabilidad granulométrica, podría reflejar un sistema sedimentario alterado y con flujos de aporte no homogéneos, influenciados por la modificación del entorno natural. El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 2004 y 2022 evidencia un retroceso sostenido de la línea de costa, especialmente en los sectores más urbanizados. La construcción de estructuras rígidas como espolones, muelles y edificaciones en cercanía a la playa ha interrumpido el transporte litoral de sedimentos, provocando erosión en zonas adyacentes y pérdida de la playa activa. La reducción de los ecosistemas de manglar y cuerpos lagunares ha debilitado la capacidad del sistema para amortiguar la energía del oleaje, exponiendo directamente el frente costero. A diferencia de sectores como Guacamaya, donde la baja intervención humana ha permitido conservar la estabilidad litoral, El Francés muestra cómo la presión urbanística y la infraestructura costera mal planificada pueden agravar los procesos erosivos. En síntesis, el deterioro geomorfológico y ecológico del sector El Francés es el resultado de una intensa transformación antropogénica que ha comprometido la resiliencia del sistema costero. La pérdida de elementos naturales de defensa, combinada con la alteración del equilibrio sedimentario, ha derivado en una costa más estrecha, vulnerable y en continuo retroceso.

El sector San Bernardo del Viento se distingue por presentar un entorno deltaico activo, modelado principalmente por la deposición de sedimentos fluviales provenientes del río Sinú. La morfología convexa del frente costero y la pendiente extremadamente baja son rasgos característicos de un delta en construcción, donde los procesos de sedimentación superan ampliamente los de erosión. La presencia de barras, bancos de arena y zonas intermareales evidencia una intensa interacción entre la dinámica marina, las mareas y el aporte fluvial. Esta convergencia de factores favorece la formación de humedales, marismas y cuerpos de agua costeros, configurando un ecosistema de transición sumamente dinámico y productivo. La granulometría de las muestras, compuesta principalmente por arenas finas a muy finas ($<0.14\text{--}0.14\text{ mm}$), y la clasificación moderada a pobremente seleccionada, indican un ambiente de baja energía donde predominan los procesos de decantación y acumulación. La forma de los granos, en su mayoría subangulares a subredondeados, refleja un transporte relativamente corto y un bajo grado de retrabajo, coherente con la deposición directa en un entorno deltaico de rápido crecimiento. Esta heterogeneidad granulométrica es típica de sistemas con múltiples canales distributarios y fluctuaciones en el flujo fluvial. Desde el punto de vista composicional, el dominio de minerales siliciclásticos como cuarzo (57%) y feldspatos (11%) indica una fuente continental bien definida, mientras que la abundancia de micas (18%) y minerales accesorios como circón (9%) y epidota (5%) apunta a una contribución mixta de materiales procedentes de rocas ígneas y metamórficas del interior de la cuenca del Sinú. Esta combinación mineralógica, junto con la textura poco homogénea, apoya la idea de un sistema en constante renovación y aporte sedimentario activo. El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 1969 y 2020 revela un proceso sostenido de progradación costera, marcado por la expansión del delta hacia el mar. A diferencia de otros sectores del Golfo de Morrosquillo, donde prevalecen los procesos erosivos o la estabilidad condicionada por manglares, San Bernardo

destaca por su crecimiento litoral, atribuible a la continua descarga del río Sinú. La ausencia de intervenciones antropogénicas significativas y la amplia disponibilidad de espacio para la expansión del sistema deltaico han permitido que este sector conserve su dinámica natural, consolidando al Delta de Tinajones como un ejemplo de frente costero en construcción activa. En conjunto, el sector San Bernardo representa un sistema costero resiliente y en expansión, cuyo desarrollo está íntimamente ligado a los aportes fluviales. La progradación sostenida de la línea de costa, el carácter heterogéneo de los sedimentos y la ausencia de erosión significativa lo convierten en un contraste evidente con sectores más impactados por la urbanización o la pérdida de barreras naturales, como El Francés. Este caso resalta la importancia de los ríos como agentes constructores de paisaje y como factores estabilizadores del litoral caribeño colombiano.

6 Conclusiones

A partir del análisis integral de los procesos de erosión y sedimentación en el Golfo de Morrosquillo, se concluye que estos fenómenos están determinados por la interacción de múltiples factores, entre los cuales destacan el grado de intervención antropogénica, la composición mineralógica de los sedimentos, el tamaño de grano y la geomorfología de la zona. Los resultados obtenidos en la isla Mangle permiten inferir que el sistema costero se encuentra en una fase de retroceso y fragmentación progresiva, producto de un desequilibrio entre la dinámica marina y la capacidad de retención sedimentaria del ecosistema. La granulometría de los sedimentos, dominada por granos de gran tamaño y pobre selección, sugiere un ambiente de energía suficientemente alta para movilizar partículas gruesas, pero inestable para permitir procesos de maduración sedimentaria. La composición biogénica predominante indica que el aporte sedimentario depende en gran medida de la producción arrecifal y orgánica, factores altamente sensibles a cambios en la dinámica costera. El análisis multitemporal confirma que, en ausencia de intervención humana significativa, la erosión observada responde principalmente a procesos naturales, exacerbados por la vulnerabilidad inherente del sustrato no consolidado. Así, se concluye que la isla Mangle enfrenta una tendencia a la pérdida territorial, impulsada por condiciones naturales que limitan su estabilidad geomorfológica y favorecen su progresiva degradación.

Los resultados del sector La Punta indican que, aunque originalmente existía una configuración natural favorable para la estabilidad costera, la intervención humana ha alterado este equilibrio. La presencia de manglares y cordones litorales actuaba como un sistema de amortiguación frente a la dinámica marina, típico de ambientes de baja a moderada energía, donde predominan sedimentos finos. Sin embargo, la construcción de espolones ha interrumpido el transporte litoral natural,

intensificando la erosión en áreas específicas. El patrón de acumulación y erosión en los flancos de los espolones confirma que las obras costeras mal planificadas pueden agravar la degradación, incluso en zonas protegidas. La granulometría fina y la morfología subangular de los sedimentos respaldan un ambiente de baja energía, donde la dinámica de transporte es insuficiente para movilizar los sedimentos más pequeños. La composición mineralógica mixta refleja un aporte de sedimentos continentales y marinos, sujetos a retrabajo moderado. En conclusión, la pérdida de playa en La Punta está más relacionada con intervenciones antrópicas que con factores naturales, subrayando la necesidad de considerar la energía del ambiente y el equilibrio sedimentario antes de realizar alteraciones en el litoral.

Los resultados del sector Guacamaya indican que su estabilidad costera se debe a una combinación de factores naturales y baja intervención antrópica. La presencia de ciénagas, marismas, planos de inundación y manglares crea un ambiente de baja energía, favoreciendo la acumulación de sedimentos finos y limitando la erosión. La granulometría de las arenas, predominantemente finas y de mala selección, respalda esta interpretación, sugiriendo una baja dinámica marina. La morfología subangular de los granos indica transportes cortos y poca acción de oleaje. La composición mineralógica refleja principalmente un aporte continental, con influencias de rocas metamórficas y magmáticas del área continental. El análisis multitemporal confirma que la estabilidad del frente costero se debe al rol protector del manglar y a la baja intervención humana. En comparación con otras áreas del Golfo de Morrosquillo, Guacamaya es un ejemplo de litoral resiliente, donde los procesos naturales predominan y mantienen el equilibrio frente a amenazas externas.

Los resultados del sector El Francés muestran cómo la intervención humana ha alterado las condiciones naturales del sistema costero. Originalmente, la planicie costera con manglares y

humedales actuaba como una barrera natural contra la erosión, pero el crecimiento urbano ha reducido estas zonas de protección, exponiendo el litoral a mayores riesgos. La granulometría de las arenas, desde medias hasta muy finas, sugiere un ambiente de baja energía, y la morfología de los granos refleja un transporte de sedimentos alterado por infraestructuras costeras. Compositivamente, el predominio de cuarzo y feldespatos indica una fuente continental, mientras que la presencia de micas, circón y epidota sugiere un aporte mixto. El análisis de imágenes satelitales muestra un retroceso de la línea de costa, especialmente en las áreas urbanizadas, lo que evidencia que las intervenciones costeras han interrumpido el transporte de sedimentos y exacerbado la erosión. La pérdida de manglares y cuerpos lagunares ha debilitado la defensa natural frente al oleaje, aumentando la vulnerabilidad del frente costero. En conjunto, se concluye que la transformación antropogénica ha comprometido la resiliencia del sistema costero, generando un litoral más estrecho y vulnerable.

Los resultados del sector San Bernardo del Viento permiten concluir que este constituye un sistema deltaico activo, caracterizado por una progradación sostenida de la línea de costa debido al aporte sedimentario del río Sinú. Las evidencias granulométricas, con arenas finas a muy finas y una selección moderada a pobre, junto con la morfología subangular a subredondeada de los granos, indican un ambiente de baja energía y un transporte relativamente corto, típico de zonas deltaicas en expansión. La composición mineralógica, dominada por cuarzo, feldespatos y una alta proporción de micas y minerales accesorios como circón y epidota, sugiere un aporte mixto de rocas ígneas y metamórficas del interior de la cuenca. El análisis multitemporal de imágenes satelitales entre 1969 y 2020 confirma un crecimiento litoral progresivo, impulsado principalmente por la dinámica natural fluvial y la escasa intervención humana. En conjunto, el sector San Bernardo destaca como un frente costero resiliente y en construcción activa, en contraste con otros

sectores del Golfo de Morrosquillo que evidencian retroceso o degradación. Este caso subraya la importancia de los ríos como agentes fundamentales en la construcción y estabilidad del litoral caribeño colombiano.

En conjunto, estos hallazgos permiten afirmar que la conservación de ecosistemas naturales como los manglares, el control adecuado de la intervención humana y la comprensión de la dinámica sedimentaria local son claves para una gestión sostenible de las zonas costeras en el Golfo de Morrosquillo.

7 Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en este proyecto de grado, se recomienda implementar estrategias de manejo costero que prioricen soluciones basadas en la naturaleza, como la conservación y restauración de ecosistemas protectores como manglares y dunas, los cuales desempeñan un papel fundamental en la estabilización de la línea de costa y la reducción de la erosión. Asimismo, se sugiere regular y limitar la construcción de estructuras artificiales en las playas, ya que muchas de estas intervenciones, en lugar de mitigar la erosión, intensifican el proceso al alterar el transporte natural de sedimentos.

Es fundamental fortalecer el ordenamiento territorial en zonas costeras, teniendo en cuenta criterios geomorfológicos y ambientales que eviten el desarrollo urbano en áreas con alta vulnerabilidad a la erosión.

Finalmente, se recomienda establecer un monitoreo continuo de las dinámicas costeras, que incluya estudios periódicos de sedimentación, erosión y actividad antropogénica, lo cual permitirá tomar decisiones informadas.

Referencias bibliográficas

- Acosta, J., Velandia, F., Osorio, J., Lonergan, L., Mora, H., 2007. Strike-slip deformation within the Colombian Andes. Geological Society, London, Special Publications 272 (1), 303–319. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2007.272.01.16>
- Alongi, D. M. (2015). *The Impact of Climate Change on Mangrove Forests*. Current Climate Change Reports, 1(1), 30–39. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0002-x>
- Bertoni, W., & Sarti, G. (2021). "Human interventions and morphological changes on coastal zones: A review." *Ocean & Coastal Management*, 209, 105618.
- Cicin-Sain, B., & Belfiore, S. (2019). "Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: A review." *Ocean & Coastal Management*, 184, 105005.
- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (Corpoamazonia). (2022). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Mocoa: Documento de identificación preliminar y de manera participativa, los problemas, conflictos y potencialidades en la cuenca (p. 391). San Miguel de Agreda de Mocoa, Putumayo.
- Correa-Arango, I. D., Ríos, A., González, D. H., Toro, M., Ojeda, G., & Restrepo, L. F. (2007). Erosión litoral entre Arboletes y Punta San Bernardo, Costa Caribe colombiana. *Boletín de Geología*, 29(2), 115-129. <http://www.redalyc.org/pdf/3496/349632018012.pdf>
- Franco, F. A., Mercado, I. F. C., & Otalvaro, N. T. (2007). Información espacial para el control y administración del litoral en el Golfo de Morrosquillo, Caribe Colombiano. *Boletín científico CIOH*, 25, 94-109. https://doi.org/10.26640/01200542.25.94_109

Geotec. (1997). Cartografía geológica de la Región del Sinú. INGEOMINAS.

Gómez, F., J. Carvajal y J. Otero. 2012. Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Generales No. 54, Invenmar, Santa Marta. 110 p.

Mangrove Alliance. (2022). *El estado de los manglares del mundo: Informe 2022* (Versión en español). https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2022/11/The-State-of-the-Worlds-Mangroves-Report_2022_Spanish_V3.pdf

McLean, R.F. & Kench, P.S. (2015). *Destruction or Persistence of Coral Atolls in the Face of 20th and 21st Century Sea-Level Rise?*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change.

Monti, Alejandro J.A, & Bayarsky, Adelma. (1996). Relación entre las geofomas costeras y los sedimentos de playas del sur de Bahía Anegada, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 3(1), 31-42. Recuperado en 27 de marzo de 2025, de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-63601996000100004&lng=es&tlng=es

Ojeda, G., Restrepo, I., Corrêa, I. C. S., & Ríos, A. (2007). Morfología y arquitectura interna de una plataforma continental cambiante: Golfo de Morrosquillo. *Boletín de Geología*, 29(2), 105-114. <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349632018011.pdf>

Restrepo Villegas, J. C. (2001). *Geomorfología y análisis de las variaciones de la línea de costa de la zona norte del Golfo de Morrosquillo y el Archipiélago de las Islas de San Bernardo, Caribe colombiano* [Tesis de pregrado, Universidad de Caldas].

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2015). *Memoria explicativa: Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa, Esc. 1:100.000, Plancha 118 - San Francisco, departamento de Antioquia*. Servicio Geológico Colombiano.

Siivola, J. y Schmid, R. 2007. List of Mineral Abbreviations. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07. www.bgs.ac.uk/scmr/home.html.

Vousdoukas, M.I., et al. (2020). *Sandy coastlines under threat of erosion*. Nature Climate Change.