

**ACTUALIZACION DE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA E IDENTIFICACIÓN  
DE FOCOS EROSIVOS RECIENTES EN EL TRAMO PUNTA REY - LA RADA,  
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA**

**PROYECTO DE GRADO**  
Requisito parcial para optar al título de Geólogo

**Autores:**  
VANESSA MEZA PALENCIA Y MARCO ANTONIO PASTRANA PRELET

**Asesor:**  
JUAN FELIPE PANIAGUA ARROYAVE

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA  
UNIVERSIDAD EAFIT  
MEDELLIN  
2020**



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes.

Le doy gracias a mis padres Luis Alberto y Martha por apoyarme en todo momento, por los valores que me ha inculcado, por ser quienes día a día me llenan de voluntad, fuerza y valor para afrontar cada uno de los retos, por ser mi apoyo constante, por enseñarte a creer en la voluntad de Dios y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Son mi vida y gran ejemplo para seguir.

A mis hermanas por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, por llenar mi vida de alegrías, amor y motivación. Que mi triunfo las motive a cumplir sus sueños.

Gracias, Dr Juan Felipe Paniagua por creer en Marco y en mí, y habernos brindado el apoyo para desarrollar nuestro proyecto de grado. Por darnos la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis amigos de la vida y a mis compañeros de trabajo que también aportaron su granito de arena para que pudiera llegar a este punto de mi vida.

A mis amigos por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un proyecto de vivencia que nunca olvidaré.

¡Ya soy Geóloga!

Vanessa Meza Palencia

Primero que todo quiero darle gracias a Dios por bendecirme en todo este camino, por guiar mis pasos a lo largo de mi carrera, aunque no fue fácil siempre fue mi fortaleza para salir adelante.

Agradezco con todo mi corazón el gran esfuerzo de mi madre Bernarda Pretelt en estos años llenos de altibajo, pero siempre estuvo ahí para ser mi gran apoyo, mi fuente de inspiración para seguir adelante y los incontables sacrificios que hizo para poder brindarme la oportunidad de estudiar, de educarme y ser un profesional. A mi padre Fabio Pastrana gracias por el apoyo y confiar en mí. A mi hijo Samuel Pastrana por darme fuerzas y ganas todas las mañanas de luchar por ser alguien en la vida.

Gracias al profesor Oscar Geovany Bedoya por apoyar este proyecto desde el primer momento que se lo planteamos. Al Dr. Juan Felipe Paniagua infinitos agradecimientos primero por ser nuestro asesor por brindarnos el espacio y acompañamiento, muchas gracias por sus consejos y el aporte de su conocimiento a este trabajo.

A todos mis compañeros, familiares y amigos que de una u otra manera hicieron parte de esta gran experiencia muchas gracias por su grano de arena y ayudarme ser un profesional, siempre en mi habrá solo palabras de agradamientos para todos.

Marco Antonio Pastrana Pretelt

## CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.1. Antecedentes y planteamiento del problema .....	12
1.2. Objetivo General.....	13
1.3. Objetivos Específicos.....	13
1.4. Pregunta de Investigación.....	13
1.5. Alcances y Limitaciones .....	13
2. METODOLOGÍA.....	14
3. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1 Franja Litoral.....	16
2.2 . Playa.....	16
2.3 Erosión costera.....	17
2.4 Mareas.....	18
2.5 Línea de costa .....	18
2.6 Acantilados.....	19
2.7 Evolución histórica de la Línea de Costa.....	19
2.8 Estadísticas calculadas con DSAS.....	20
2.9 Incertidumbres en la posición de la línea de costa .....	20

3. GENERALIDADES.....	22
3.1 Localización .....	22
3.2 Fisiografía .....	23
4. GEOLOGÍA.....	24
4.1 Geología Regional.....	24
4.2 Litología.....	25
4.3 Geología Estructural .....	27
5. GEOMORFOLOGÍA.....	30
5.1 Ambiente Marino .....	31
5.2 Ambiente Estructural.....	32
5.3 Ambiente Fluvial.....	32
5.4 Ambiente Denudacional.....	32
6. ACTUALIZACIÓN DE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA DEL TRAMO PUNTA REY- LA RADA.....	33
6.1 Sector 1: Punta Rey - Punta Brava .....	35
6.2 Sector 2: Punta Brava - Playa Canalete .....	37
6.3 Sector 3: Playa Canalete - Punta Santa Bárbara.....	39
6.4 Sector 4: Punta Santa Bárbara - Punta La Cruz .....	41
6.5 Sector 5: Punta la Cruz - Punta Broqueles.....	43
6.6 Sector 6: Punta Broqueles - Punta La Rada .....	45

7. ....	46
7. CONCLUSIONES .....	47
8. RECOMENDACIONES.....	48
9. BIBLIOGRAFIA.....	49
10. ANEXOS.....	51

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imágenes tomadas por la misión Landsat 7 ETM+ analizadas para la zona de estudio. Elaboración propia.....	14
Figura 2. Límites en la zona costera, tomado y modificado de (Masselink, y otros, 2003).....	16
Figura 3. Perfil de playa típico en las costas. Modificado de (Correa, y otros, 2007) .....	17
Figura 4. Acantilados y geoformas indicadoras de la erosión de las terrazas litorales. Tomado de (Correa, y otros, 2004).....	19
Figura 5. Localización de la zona de estudio. ....	22
Figura 6. Modelo esquemático de la Cuenca Caribe colombiana. Tomado de (GEOTEC, 2003) .....	24
Figura 7. Geología de la zona de estudio. Modificado de (GEOTEC., 2014) Planchas 50 y 60. Ver texto para detalles sobre las unidades geológicas. ....	25
Figura 8 Geología estructural general de la zona de estudio. Tomado y modificado de las Planchas 50 y 60 (GEOTEC., 2014).....	29
Figura 9. Geomorfología de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia (fotointerpretación) .....	30
Figura 10. Ubicación de los sectores definidos para el estudio de la actualización posicional de la línea de costa del área de estudio. ....	34
Figura 11 A. Localización del sector 1: Punta Rey- Punta Brava en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. Valores LRR, según DSAS – software ArcGIS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 1. Arcgis .....	36
Figura 12 A. Localización del sector 2: Punta Brava- Playa Canalete en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. valores LRR, según DSAS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 2. ....	38
Figura 13 A. Localización del sector 3: Playa Canalete- Punta Santa Barbara en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. valores LRR, según DSAS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 3.....	40

Figura 14 A, Localización del sector 4: Punta Santa Barbara – Punta La Cruz en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. valores LRR, según DSAS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 4..... 42

Figura 15 A. Localización del sector 5: Punta La Cruz- Punta Broqueles en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. valores LRR, según DSAS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 5..... 44

Figura 16 A. Localización del sector 6: Punta Broqueles- Punta La Rada en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR B. valores LRR, según DSAS C. Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 6..... 46

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Geología de la zona costera de los municipios de Moñitos- Puerto Escondido- Los Córdoba en el departamento de Córdoba- Colombia.....	51
Anexo 2 Geología Estructural de la zona costera de los municipios de Moñitos- Puerto Escondido- Los Córdoba en el departamento de Córdoba- Colombia .....	52
Anexo 3 Geomorfología de la zona costera del tramo Punta Rey- Punta Rada en el departamento de Córdoba- Colombia .....	53

## 1. INTRODUCCIÓN

Las costas son entornos naturales que abarcan el área comprendida entre el mar y el continente. Constituyen la interfaz entre ambos medios que proveen recursos para el ser humano, pero al mismo tiempo son ambientes muy susceptibles a la variedad de riesgos y daños que pueden ocasionarse naturalmente o ser inducidos por el hombre. Por tanto, se considera que la franja litoral incluye ecosistemas muy dinámicos que afectan los asentamientos humanos, ya sea para su beneficio o para la pérdida debido al cambio en la dinámica costera (e.g., Hapke et al., 2013; Cooper et al., 2020).

Teniendo en cuenta que los efectos de las olas, corrientes, mareas y vientos son factores naturales primarios que influyen en las costas, los otros aspectos que erosionan la línea costera incluyen las fuentes y sumideros de arena, los cambios en el nivel relativo del mar y las características geomorfológicas de la costa (e.g., Inman, 2003; Ashton et al., 2016). Los efectos antropogénicos que afectan este balance de arena y desencadenan la erosión o acreción de las playas incluyen la construcción de estructuras artificiales, la minería de playas y el dragado en alta mar o la construcción de presas en los ríos que desembocan en ellas. Los cambios en la línea costera ocurren en una amplia gama de escalas de tiempo, desde eventos geológicos hasta eventos extremos de corta duración.

La evaluación del litoral es una preocupación importante en el monitoreo ambiental y la gestión integrada de zonas costeras debido a que son grandes indicadores de los cambios en el medio ambiente por alta sensibilidad ante factores meteorológicos, biológicos, químicos y físicos que requieren para su equilibrio, por lo que las agencias e instituciones mantienen el monitoreo de la morfodinámica costera como una prioridad de estudio.

En Colombia, la retirada de playas y acantilados suele ser la tendencia dominante a lo largo de la Costa Caribe, a excepción de algunas zonas rocosas y zonas de menor acreción (e.g., Correa et al., 2005; Correa et al., 2007). Específicamente en la zona costera cordobesa, cabe resaltar que en estudios previos el tipo de playa destructiva ha marcado la diferencia en grandes lapsos de tiempo, este estudio de los últimos años aporta al conocimiento para entender como es el comportamiento en esta área los últimos 16 años.

En este proyecto se describe la franja litoral del departamento de Córdoba en los últimos años y se cuantifica el desplazamiento de la línea de costa para identificar posibles focos erosivos a lo largo de ella.

## **1.1. Antecedentes y planteamiento del problema**

Basándose en el último estudio realizado por (Correa, Acosta, & Bedoya, 2004), donde muestras los cambios en la posición de la línea de costa, las magnitudes y posibles causas naturales y antrópicas de la erosión litoral cordobés.

Muchos lugares del caribe colombiano, incluyendo la costa del departamento de Córdoba, se han venido acentuando de manera progresiva, perdidas en el terreno a lo largo del litoral, que a han generado impactos socioeconómicos de importancia considerable. Estos impactos, han afectado severamente la infraestructura física de todos sus asentamientos a lo largo de la línea de costa (Minuto de Dios, Puerto Rey, Puerto Escondido, Cristo rey, Santander, Broqueles, La Rada, El Salvador, Paso Nuevo, Playa Blanca, El Porvenir). (Correa, Acosta, & Bedoya, 2004).

Según Correa y otros (2005), los principales cambios históricos de la línea costera a lo largo de las costas del Caribe colombiano reflejan eventos erosivos y deposicionales, estos últimos en zonas muy localizadas durante los últimos 70 años. La erosión histórica y reciente a lo largo de la Costa Caribe de Colombia ha sido extremadamente variada en magnitudes y causas. En este sentido, la evaluación de los cambios costeros futuros a nivel regional y local será una tarea difícil teniendo en cuenta que el aumento del nivel del mar, la tectónica local, los suministros de los ríos de sedimentos y el diapiatismo del lodo interactuarán con un número creciente de intervenciones del hombre tanto a lo largo de la costa y en las cuencas de drenaje adyacentes (Correa, y otros, 2005).

Según (Rangel & Posada, 2005), debido a la intervención del hombre, muchos terrenos, donde se encontraban manglares, han sido rellenados, convirtiéndose en zonas inundables que contribuyen a la inestabilidad de la costa cordobés; lo que lleva a pensar e investigar si las verdaderas causas de los cambios recientes en la geomorfología, paisaje y posición de la línea de costa, se debe netamente a la intervención antrópica u otras causas externas, y por esta causa, a identificar y cuantificar las estructuras antropogénicas construidas, y compararlas con los cambios en la última década, 2010-2020.

## **1.2. Objetivo General**

Describir y actualizar la morfodinámica espacial de la línea de costa del tramo Punta Rey - La Rada en el departamento de Córdoba de los últimos 16 años.

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Recopilar información de antecedentes de la línea de costa del departamento de Córdoba.
- Caracterizar geológica y geomorfológicamente la zona costera del área de estudio.
- Cuantificar los cambios en la línea de costa del departamento de Córdoba, entre las comunidades de Punta Rey - La Rada, entre los años 2004 y 2020.
- Identificar las zonas de retroceso y/o aumento de la línea de costa en la última década, en la zona de estudio.
- Analizar e interpretar las causas de posibles focos erosivos recientes en la línea de costa de la zona de estudio de Córdoba.

## **1.4. Pregunta de Investigación**

¿Cuánto ha variado de posición la línea de costa de Córdoba y cuáles son los procesos responsables de esta variación?

## **1.5. Alcances y Limitaciones**

Se cuantificaron los retrocesos y acreciones que se han presentado en la costa del departamento de Córdoba, para analizar el problema de erosión litoral.

Las líneas de costa presentadas en el proyecto fueron digitalizadas a una escala 1:6.000, por lo que puede haber márgenes de error en los detalles.

También es importante tener en cuenta las limitaciones a ortofotos de buena calidad y resolución, debido a que en algunas zonas la identificación de la línea de costa es limitada por la nubosidad, e.g., Punta Rey, al sur del área de estudio.

## 2. METODOLOGÍA

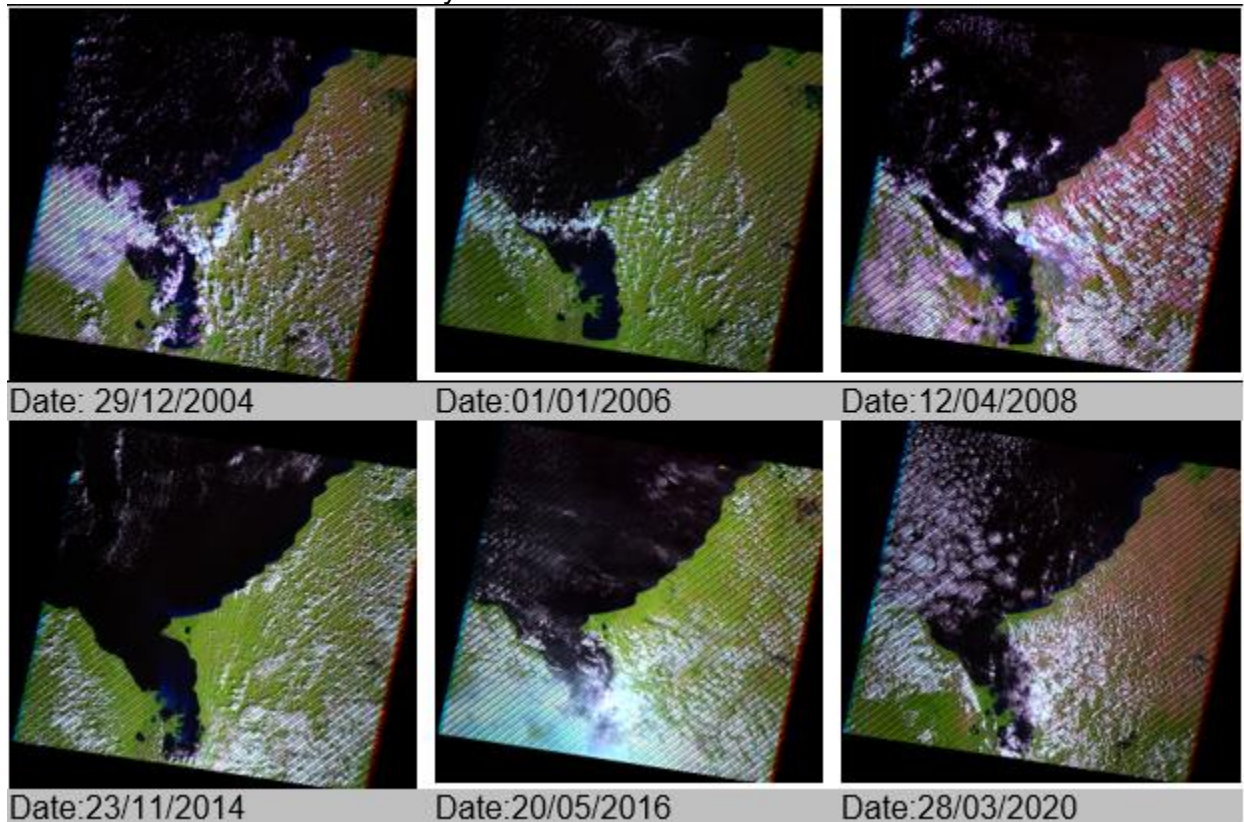
### **Etapa 1:** Recopilación, sistematización y análisis de información

En esta etapa se hizo, una recopilación de antecedentes de la zona, lectura e interpretación de conclusiones, recomendaciones de otras publicaciones y de resultados pasados.

Se adquirieron fotografías satelitales desde el portal de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), llamado Earth Explorer, de donde se pueden obtener datos geospaciales de colecciones a nivel mundial. Con esta herramienta, se obtuvieron ortofotos del área de estudio de los años 2004, 2006, 2008, 2014, 2016 y 2020, tomadas por el sensor remoto Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus con una combinación de RGB de las bandas 543, para maximizar la diferenciación entre continente y océano

### **Figura 1.**

RGB de las bandas **5** (infrarrojo de onda corta de 1.55 a 1.75 $\mu\text{m}$ ), **4** (infrarrojo cercano de 0.77 a 0.90  $\mu\text{m}$ ) y **3** (banda visible del color rojo de 0.63 a 0.69  $\mu\text{m}$ ) para maximizar la diferenciación entre océano y continente.



**Figura 1.** Imágenes tomadas por la misión Landsat 7 ETM+ analizadas para la zona de estudio. Elaboración propia.

***Etapa 2:*** Sistematización, interpretación y análisis de datos.

Después de obtener los datos de otras publicaciones y estudios, se procedió a la toma, sistematización e interpretación de los datos actuales, mediante el software ArcMap. En este programa se digitalizaron las líneas de costa para cada uno de los años, y con ellas una línea base para su posterior procesamiento en la extensión Digital Shoreline Analysis System (DSAS), con el cual se calculan los cambios de la posición de la línea de costa (Himmelstoss, y otros, 2018)

Para emplear DSAS se requirió crear una Geodatabase unificando las líneas costeras digitalizadas de los años de interés, así como una línea base a partir de la línea costera de 2004 direccionada hacia el mar. Posteriormente, se establecieron una serie de transectos ortogonales desde la línea basal hacia las líneas costeras adjuntas. Los transectos contaron con una longitud de 500 m y fueron separados entre sí a una distancia de 300 m.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Franja Litoral

La franja litoral corresponde a la zona que se extiende entre los límites superior e inferior donde alcanza la acción del oleaje como transición entre el continente y el medio marino. (Correa, 2003).

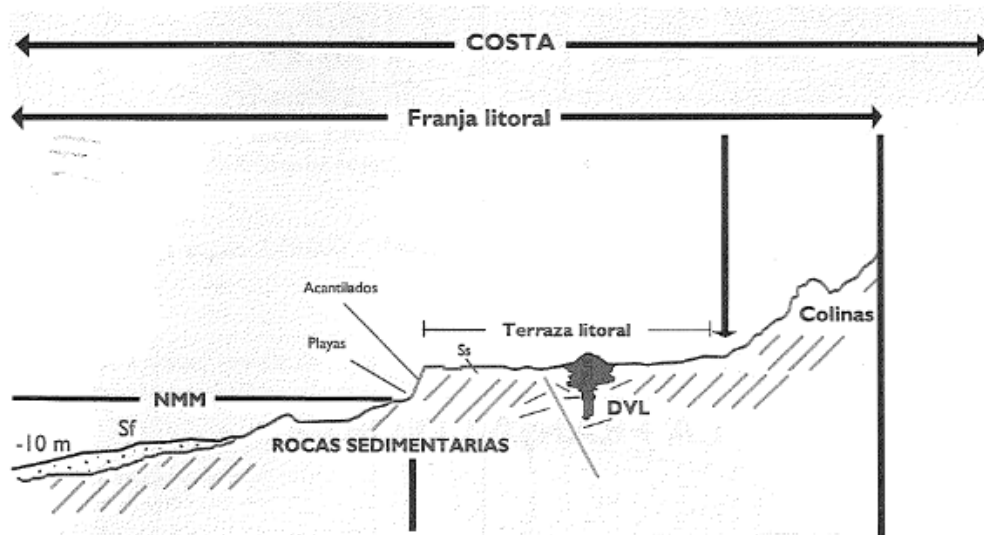


Figura 2. Límites en la zona costera, tomado y modificado de (Masselink, y otros, 2003)

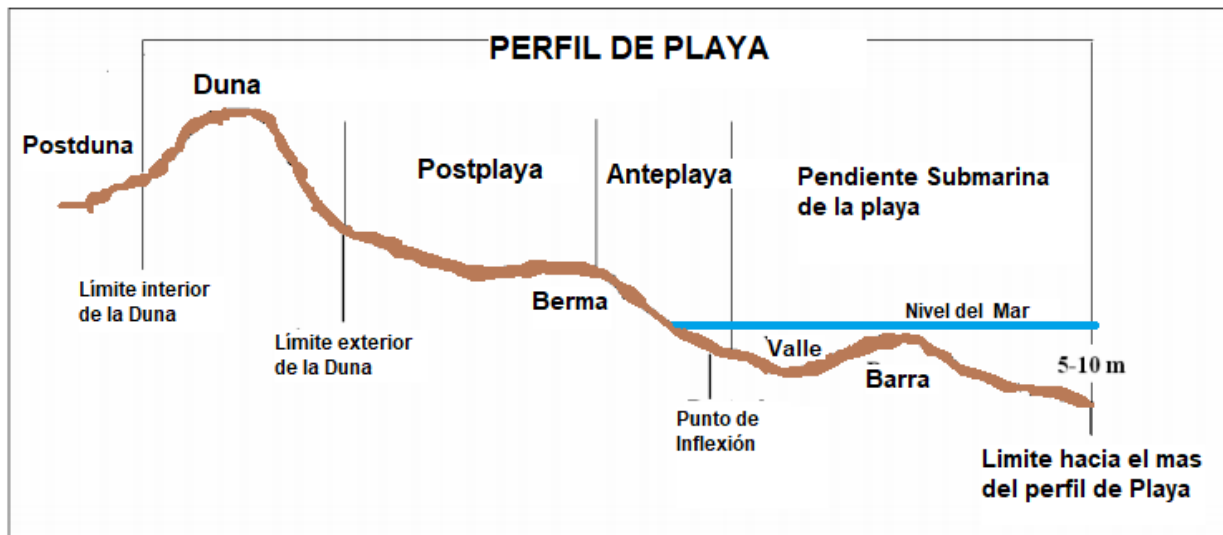
Los límites costeros ilustrados en la Figura 2, corresponde a los procesos que se han extendido durante el periodo Cuaternario, donde el nivel del mar ha fluctuado debido a la expansión y contracción de las capas de hielo. Se incluyen por tanto la superficie de erosión marina y sedimentarias costeras formadas cuando el nivel del mar ha sido alto (Masselink, y otros, 2003)

#### 2.2. Playa

Una playa se define como una acumulación de arena o grava en la costa del mar o de un lago y, más localmente, en la orilla de un río. Tiene una geometría cóncava hacia arriba y se inclina muy suavemente hacia el medio acuoso (SGC, 2015).

La unidad geomorfológica de playas es una de las más relevantes en términos paisajísticos, económicos y como agente disipador de energía. Las playas pueden considerarse un patrimonio natural que debido a la alta afluencia de usuarios e

infraestructura que tiene lugar en ellas se ven con frecuencia deterioradas y su equilibrio amenazado.



**Figura 3.** Perfil de playa típico en las costas. Modificado de (Correa, y otros, 2007)

Según (Correa, y otros, 2004) existen diferentes tipos de playas, con formas, dimensiones y dinámicas que varían dependiendo de factores naturales e inducidos por las que evolucionan a través del tiempo. Sin embargo, el equilibrio de las playas depende del balance entre las cantidades de sedimentos recibidos y perdidos en la dinámica de esta desde una perspectiva de celdas litorales (Inman, 2003), a lo que se le denomina Balance de Sedimento de Playas, que puede ser:

- Positivo, cuando llegan más sedimentos de los que salen, lo que ocasiona que las dimensiones de las playas aumenten.
- Negativo, cuando salen más sedimentos de los que llegan, que se ve reflejada en la disminución de tamaño de la playa, y tendencia a la erosión y desplazamiento de la línea de costa hacia el continente.
- En equilibrio, las playas mantienen en el tiempo su forma y dimensiones generales, y reflejan un balance de arenas aproximado o igual a cero

Nótese que este balance puede variar de forma estacional de acuerdo con los procesos marinos y continentales, o definitivo si se exhibe una tendencia en las fuentes de arena y procesos morfodinámicos (Figura 3).

### 2.3. Erosión costera

Es la invasión de la tierra por el mar, o el retroceso de la línea de costa con pérdidas importantes de playas y terrenos que albergan ecosistemas aptos para actividades humanas (Correa, y otros, 2004).

La erosión costera se debe a diferentes causas que pueden ser : 1) Causas naturales: como aumento del nivel del mar, aumento de eventos climáticos, características geológicas de las rocas, diapirismo de lodo y la tectónica del terreno; 2) causas de origen antrópico, consideradas como la mayor responsable del aumento de la tasa de erosión reciente en las costas a nivel mundial, y pueden ser: extracción de materiales en playas y ríos, construcción de obras fijas, tala indiscriminada del mangle y daño a los arrecifes de coral (Correa, y otros, 2004).

## **2.4. Mareas**

Las mareas son oscilaciones periódicas del nivel del mar que resultan de la atracción del Sol y la Luna sobre los océanos. Los efectos de los dos astros se superponen y su resultante constituye la fuerza generadora de las mareas. Sin embargo, las mareas exhiben grandes variaciones en función de la geografía de la costa de cada lugar. Por eso, para realizar predicciones de marea fiables en cualquier punto del planeta, nos valemos de los mareógrafos en conjunto con modelos numéricos, que permiten predecir el nivel que alcanzan las ondas de marea en las distintas horas del día (Castañeda, 2017).

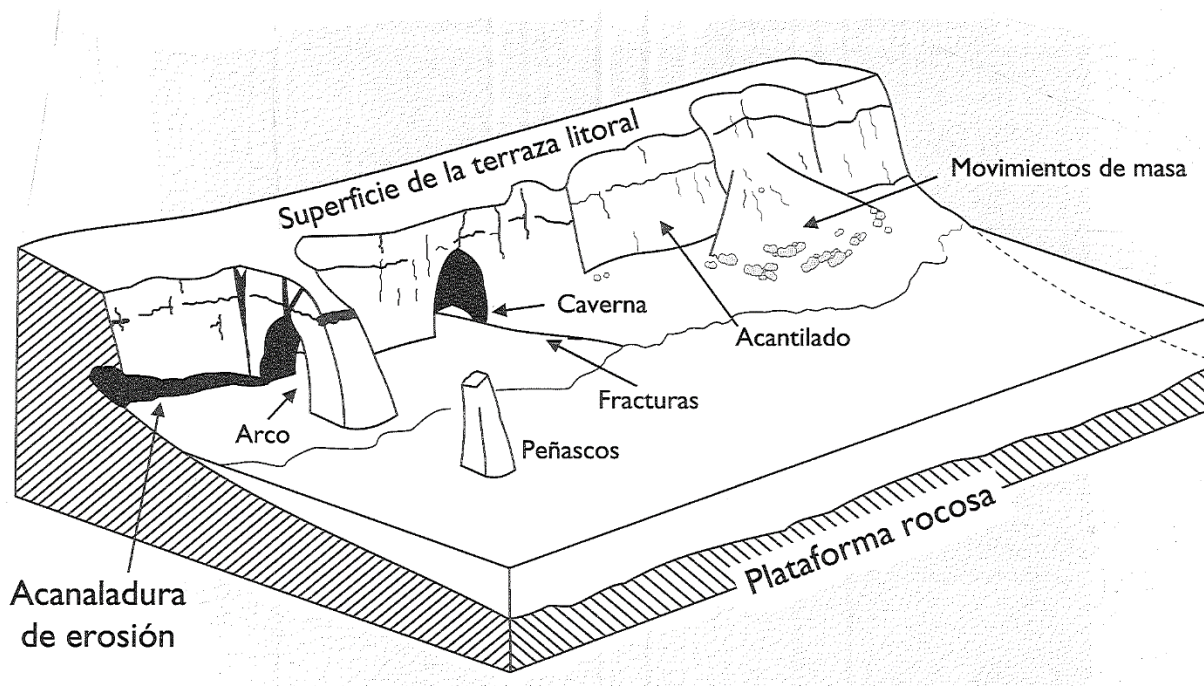
## **2.5. Línea de costa**

Según (Boak, y otros, 2005), una definición idealizada de línea de costa es que coincide con la interfaz física entre el continente y el océano. Su posición cambia a través del tiempo a escalas desde segundos hasta milenios debido al movimiento de sedimentos a lo largo y ancho de la costa en la franja litoral por la naturaleza dinámica de los niveles de agua en el límite costero (por ejemplo, olas, mareas, agua subterránea, tormenta, etc.). Por tanto, la línea de costa debe considerarse en un sentido temporal, y la escala de tiempo elegida dependerá del contexto de la investigación. Algunos de los marcadores utilizados para delimitar la línea de costa son componentes geomorfológicos como el escarpe de berma o la base de acantilados y en otros casos la línea de vegetación más próxima al océano y la línea de agua instantánea en el momento de hacer la medición en campo o toma de la imagen (Boak, y otros, 2005). En este caso de estudio, se consideran una línea de costa demarcada por la vegetación y a lo largo de ella, o “línea de vegetación estable”.

## 2.6. Acantilados

La erosión de las terrazas litorales es, en parte, consecuencia de la desaparición o disminución de la amplitud de las playas (Figura 4), lo cual facilita el golpe directo de los oleajes sobre las rocas y suelos que las conforman (Correa, y otros, 2004).

Debido a esto, se forman los acantilados costeros, que se definen como cuerpos rocosos con fuerte pendiente hacia el mar ( $>40^\circ$ ), formados por la acción directa de la erosión marina, que socava la base y hace que las partes superiores tiendan a caer (Bird, 2008, Cap. 4).



**Figura 4.** Acantilados y geformas indicadoras de la erosión de las terrazas litorales. Tomado de (Correa, y otros, 2004).

## 2.7. Evolución histórica de la Línea de Costa

Se les denomina así a los cambios que están sobre el límite continente-océano que representan los procesos de erosión o acreción de terreno en la zona costera y en la plataforma continental a lo largo de un lapso determinado de tiempo.

Los cambios que se presente en la línea de costa se interpretan como procesos geomorfológicos que pueden ser notorios a lo largo del tiempo. Por esta razón, la magnitud, velocidad y duración de estos cambios, dependerá de la geomorfología dominante en determinada zona de la costa (Kelletat, 1995).

De esta manera, la línea de costa desarrollará a través del tiempo geformas características como playas, dunas, llanuras costeras, colinas y otras morfologías propias de ambientes marinos-costeros. Por ejemplo, en costas destructivas o erosivas

se presentarán escarpes y acantilados como geoformas representativas. (Silva, y otros, 2014)

Los cambios que tienen lugar en la línea de costa y las unidades geomorfológicas asociadas ocurren en escalas de espacio-tiempo muy amplias. El tiempo que toma la configuración de un tramo litoral puede tomar desde minutos y segundos (eventos episódicos), horas a días (corto plazo), meses (mediano plazo), décadas (largo plazo), o siglos (muy largo plazo). Así mismo, los cambios temporales pueden darse en estrechos de la línea de costa entre decímetros hasta cientos de kilómetros (e.g., Karanci et al., 2018).

En este último grupo se incluyen procesos cuantificables en la escala de tiempo geológico (miles a millones de años), como son los movimientos de origen tectónico. Así, la periodicidad de los procesos físicos que tienen lugar en la zona costera determina la durabilidad de la geoforma. Elementos como los escarpes de playa pueden existir solo unos días o semanas antes de dar lugar a un nuevo componente geomorfológico, mientras los acantilados responden con mayor lentitud a los procesos físicos. (Castañeda, 2017).

## 2.8. Estadísticas calculadas con DSAS

El método implementado por el software Sistema de Análisis de Líneas de Costa Digital (DSAS por sus siglas en inglés) calcula las tasas de cambio de la línea de costa en función de las diferencias medidas entre las posiciones de la línea costera asociadas a periodos de tiempo específicos (Himmelstoss, y otros, 2018). Las siguientes medidas estadísticas del DSAS se tuvieron en cuenta para este proyecto:

1. *End Point Rate (EPR) - Tasa de punto final*: Es la relación de la distancia entre la línea de costa más antigua y la más reciente, y el lapso años entre ambas líneas, como medida principal. Surge de dividir la distancia del movimiento de la costa por el tiempo transcurrido entre la posición más antigua y la más reciente de la costa (Himmelstoss, y otros, 2018).
2. *Lineal Regression Rate (LRR) – Tasa de regresión lineal*: se determina trazando las posiciones de intersección de la línea costera (distancia desde la línea de base) con respecto al tiempo (años) y calculando la ecuación de regresión lineal de  $y = \beta_0x - \beta_1$ . La pendiente de la ecuación que describe la línea corresponde a la tasa para cada sector (Himmelstoss, y otros, 2018).

## 2.9. Incertidumbres en la posición de la línea de costa

Varios autores (Moore, 2000; Morton et al., 2005; Thieler y Danforth, 2015) han proporcionado expresiones para los errores típicos de medición relacionados con los métodos de cartografía y la digitalización de la línea costera. En general, las tasas de

migración de la línea costera son confiables si se consideran: (1) errores de medición que determinan la precisión de la posición de la línea costera; (2) errores de muestreo que explican la variabilidad de la posición de la costa; y (3) errores estadísticos relacionados con la compilación y comparación de posiciones costeras. En este trabajo, se consideraron errores basados en la incertidumbre en la medición fotográfica después de la corrección con distorsión de la imagen (Fletcher et al., 2015; Moore, 2000). Por lo tanto, el error total en la posición de la costa,  $E_t$ , se calculó como (Genz et al., 2007)

$$E_t = \pm \sqrt{E_r^2 + E_d^2 + E_p^2}$$

Con  $E_r$  es el error de rectificación (7,5 m para 1938 y 1,5 m para 2010, 2014 y 2017),  $E_d$  es el error de digitalización (3 m en 2010 y 2014, 6 m en 2017) y  $E_p$  es el error de tamaño de píxel (0,5 m para 1938 y 0,3 m para 2010, 2014 y 2017). Considerando el error de digitalización en 2017 se duplica dado que las imágenes de 2017 carecen de control terrestre y se utilizaron puntos de referencia comunes en las fotos de 2009. No se incluyeron las incertidumbres de posición relacionadas con la variabilidad estacional y de las mareas dado que el proxy de la línea costera correspondía a la línea de vegetación estable en la cima del acantilado (Boak y Turner, 2005).

Al evaluar los márgenes de errores encontradas con las imágenes satelitales, la incertidumbre total es de 1.9 m/año, lo que traduce que los valores entre -1.9 m/año hasta 1.9 m/año son los valores que tienen un margen de error.

### 3. GENERALIDADES

#### 3.1. Localización

El departamento de Córdoba se encuentra ubicado en noroccidente de Colombia, entre las coordenadas 09°26'16" y 07°22'05" de latitud norte y 74°47'43" y 76°30'01" de longitud oeste. Está limitado al norte con el Mar Caribe y el departamento de Sucre; al este con los departamentos de Sucre, Bolívar y Antioquia; al sur con el departamento de Antioquia y al oeste con el departamento de Antioquia y el mar Caribe.

Como se observa en la figura 5, el área de estudio se encuentra ubicada en la franja litoral de los municipios de Los Córdoba, Puesto Escondido y Moñitos, desde la localidad de Puerto Rey, al sur, hasta La Rada, en el norte, con una extensión de 67,25 km.

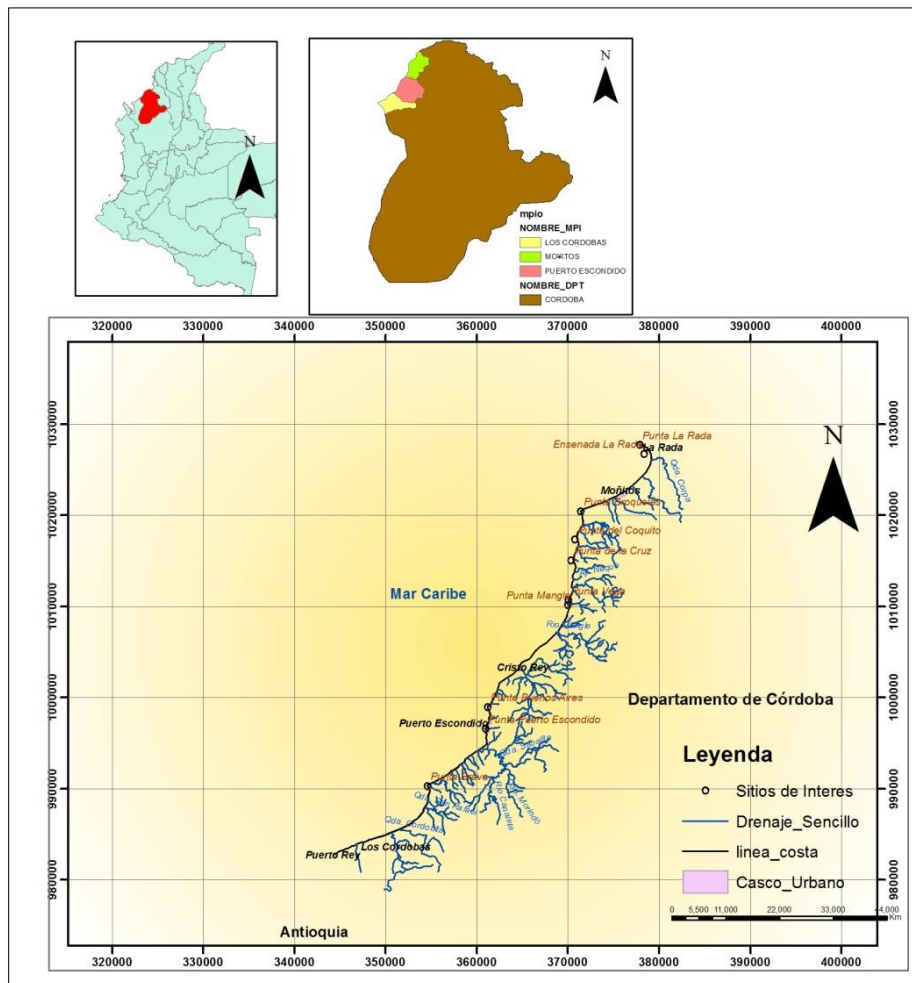


Figura 5. Localización de la zona de estudio.

### **3.2. Fisiografía**

En el departamento de Córdoba se diferencian dos zonas principales: la zona montañosa, ubicada en la parte suroriental del departamento, limitada por las estribaciones de la cordillera occidental; y la zona plana, que representa alrededor de un 60% del departamento, donde se ubica la zona de estudio del proyecto, conformada por una planicie costera. En términos generales la zona de estudio presenta vegetación de playa, en las áreas costeras, vegetación cenagosa y de manglar en llanuras de inundación y algunas zonas más alejadas con rastros de vegetación de bloques húmedos tropicales (GEOTEC, 2003).

La hidrografía del departamento de Córdoba es rica y variada. Sin embargo, en la zona de estudio, entre los tres municipios comprendidos, se reconocen arroyos, quebradas y cañadas de pequeñas longitudes, y solo los ríos Canalete y Mangle presentan mayor extensión y aporte de sedimentos a las planicies inundables de la costa cordobés.

### **2.3. Clima**

El clima del departamento de Córdoba en la parte septentrional o costera, presenta precipitaciones no mayores a 800 mm/a y una temperatura no inferior a 32°C.

Los vientos que se presentan en esta zona muestran una tendencia predominante de máximos en el mes de febrero con velocidad máxima registrada de 5.93 m/s., y mínimo entre los meses de octubre y noviembre, registrando velocidades de 0.84 m/s (INVEMAR, 2017).

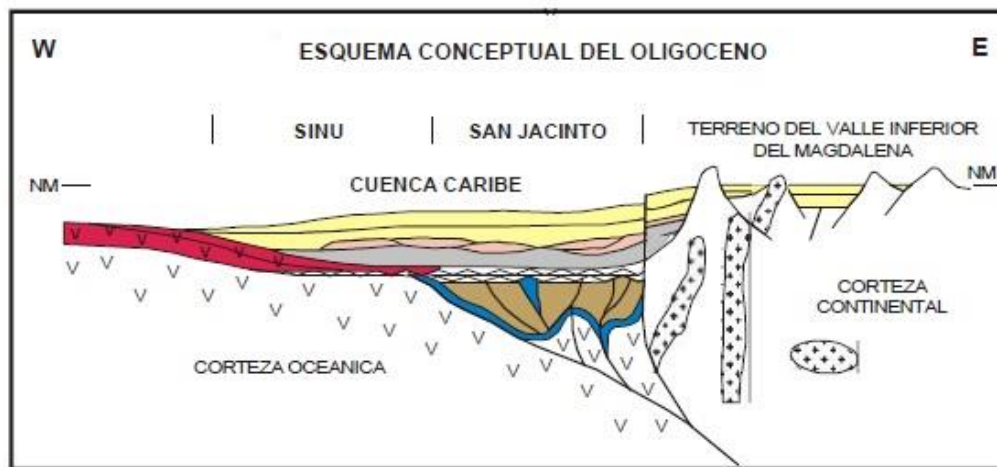
## 4. GEOLOGÍA

### 4.1. Geología Regional

Para entender el margo geológico regional de la zona de estudio, inicialmente, se debe hacer referencia a la evolución geotectónica de Suramérica noroccidental y su estrecha relación de el origen de la Placa Caribe (GEOTEC, 2003).

Aproximadamente a finales del Mesozoico se configura una margen continental pasiva que dio origen al desarrollo de una cuenca oceánica proto-Caribe. Durante el Cretácico tardío hasta el Neógeno, la Placa Pacífica comienza un movimiento continuo hacia el noroeste dando como resultado el emplazamiento de la Cordillera Occidental y el basamento de la Cuenca Caribe (terrenos Sinú - San Jacinto), (GEOTEC, 2003).

La Cuenca Caribe colombiana, de edad cenozoica, está compuesta por dos estructuras plegadas adyacentes: 1- El Cinturón Plegado del San Jacinto, de edad Paleógena, que aflora en su mayoría, costa adentro, y su porción norte bajo en mar. 2- Cinturón Plegado del Sinú, de edad Neógena, posiblemente emplazado a lo largo de la margen oeste del Cinturón San Jacinto, aflora costa adentro, conformando así la actual plataforma costera (Figura 6).



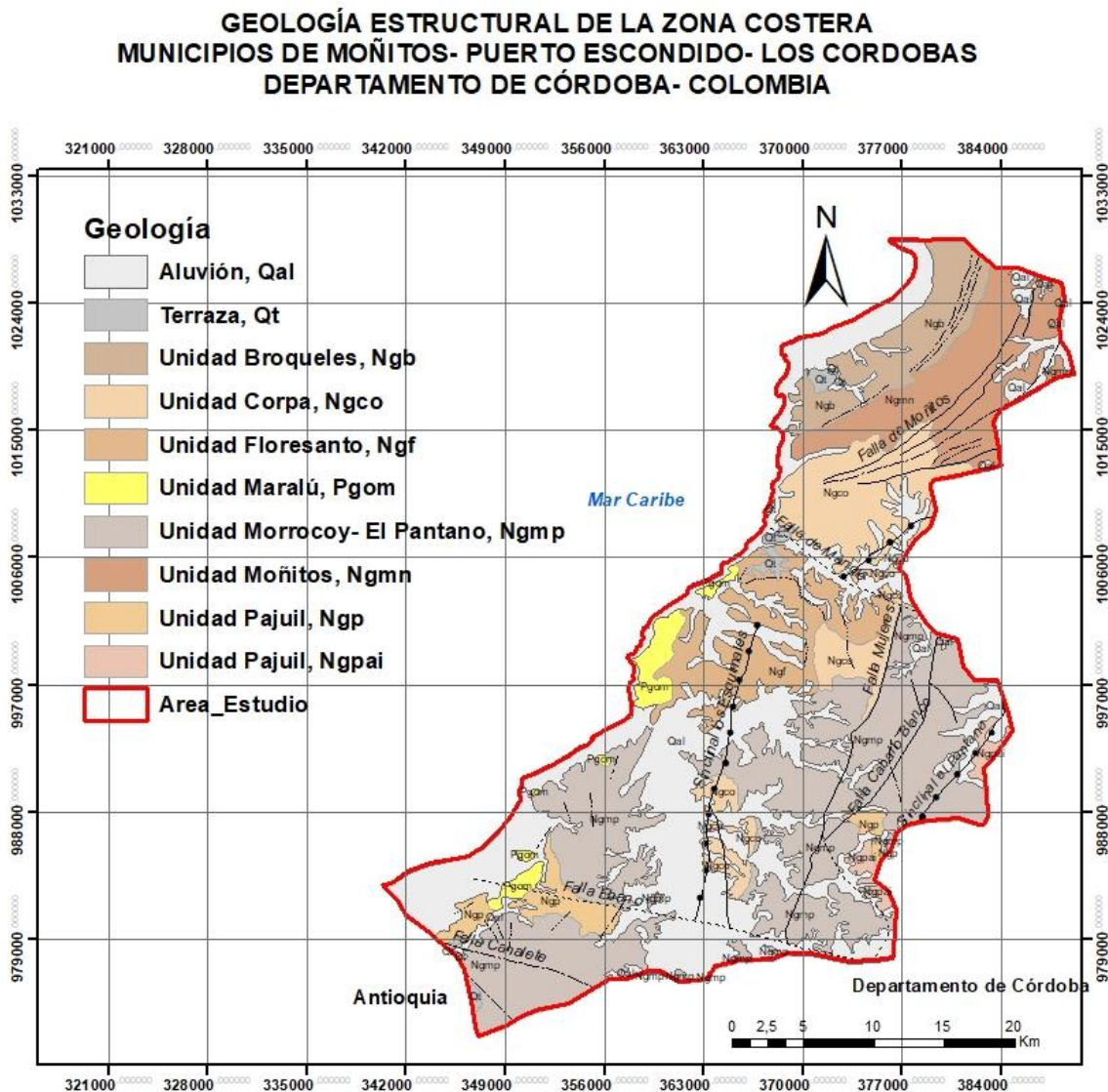
**Figura 6.** Modelo esquemático de la Cuenca Caribe colombiana. Tomado de, (GEOTEC, 2003)

En estos dos cinturones plegados, se desarrollan amplios sinclinales, en relación con los mayores cabalgamientos, que representan cuencas longitudinales de hundimiento (*piggy back*) (GEOTEC, 2003).

## 4.2. Litología

El problema de identificación de las unidades litoestratigráficas (**Figura 7**) se acentúa en zonas en donde la pobre exposición, el fallamiento, el plegamiento o las estructuras dómicas, interpretadas principalmente como diapíricas hacen difícil correlacionar litotipos diferentes y, aparentemente, sincrónicos en áreas contiguas (GEOTEC, 2003).

La zona de estudio entre los municipios Los Córdoba, Puerto Escondido y Moñitos, en el departamento de Córdoba, están caracterizados por tener influencia marina y fluvial. En la zona se presentan unidades sedimentarias que tienen edades del Cenozoico, entre el Oligoceno y el Holoceno, distribuidas y caracterizadas de la siguiente manera (GEOTEC, 2003).



**Figura 7.** Geología de la zona de estudio. Modificado de, (GEOTEC., 2014). Planchas 50 y 60. Ver texto para detalles sobre las unidades geológicas.

- *Unidad Corpas (Ngco)*: en la zona de estudio, se encuentra el Miembro Superior de esta unidad denominado Loma del Muerto, ubicada al sur del municipio de Moñitos y en forma de parche en el municipio de Puerto Escondido (GEOTEC., 2014)

Constituida por areniscas conglomeráticas de color amarillo oscuro que desarrollan superficies acanaladas y con zonas donde se presenta bioturbación. Esta unidad tiene un espesor estimado de 100 metros y fue depositada en el Plioceno tardío. Su ambiente de depositación es difícil de diagnosticar debido a falta de información, pero se podría identificar que tiene influencia de algunas corrientes fluviales (GEOTEC., 2014).

*Unidad Broqueles (Ngb)*: está ubicada geográficamente en el municipio de Moñitos, por el cauce del Río Broqueles y quebrada El Limón. Esta unidad, depositada del Plioceno temprano al tardío con un espesor promedio de 1.100 metros, es de litología limolítica de color gris azulado, de aspecto macizo a blocoso, con intercalaciones de areniscas a calizas terrígenas fosilíferas, con láminas de arenitas friables de grano fino, bien seleccionadas con baja porosidad y permeabilidad. Exhibe concreciones ferruginosas, calcáreas y capas lenticulares con guijos de chert y fragmentos fósiles. El ambiente depositacional denota características de mares someros y aireados que permitieron el desarrollo de organismos como pelecípodos y gasterópodos, con fluctuaciones de energía manifestados en depósitos de tormenta (GEOTEC., 2014).

*Unidad Pantano - Morrocoy (Ngmp)*: Se encuentra localizada en el flanco oriental del Sinclinal el Pantano, al suroeste del municipio de Puerto Escondido, depositada en el Mioceno tardío- Plioceno temprano, con un espesor aproximado de 400 a 1.700 metros. Consta capas gruesas a muy gruesas de areniscas líticas friables, localmente calcáreas, con intercalaciones de Limolita, lodolitas y Arcillolitas, donde se presentan abundantes hojas y troncos muy bien conservados y algunas con láminas de shales carbonoso o gasterópodos, con concreciones ferruginosas calcáreas (GEOTEC., 2014).

Esta unidad caracteriza una secuencia de facies mixtas, siliciclásticas y bioclásticas, depositadas inicialmente en un ambiente marino de poca profundidad, con tributarios que periódicamente depositaban sedimentos allí, pero con baja energía, para generar así condiciones para que se propagara la vida, con periódicos retrocesos del mar dando lugar a zonas cenagosas o de *lagoons* (GEOTEC., 2014).

*Unidad Moñitos (Ngmn)*: Se encuentra ubicada en el municipio de Moñitos, principalmente al costado oriente de la falla del Perpetuo socorro, depositada en el

Mioceno Medio -Mioceno Superior, con un espesor estimado de 700 a 1.200 metros. Es un miembro sedimentario caracterizado por una serie predominantemente lutítica, con intercalaciones de areniscas y limolitas micromicáceas, con pequeños cristales de yeso y concreciones ferruginosas. En las superficies de estratificación se presenta restos de plantas y troncos. Sus características depositacionales sugieren un ambiente de baja energía, en aguas relativamente tranquilas más allá de la costa donde desembocaban algunos tributarios (GEOTEC., 2014).

*Unidad Pajuil:* esta unidad se divide en dos subunidades: 1 - Cerro Verdinal (*Ngpai*); constituida por areniscas calcáreas interestratificado con lutitas y limolitas, con presencia de nódulos calcáreos y abundantes restos de plantas. Tiene un espesor que va desde los 1.800 a los 3.000 metros. 2- *Loma Verde (Ngpas)*: constituida por una secuencia predominantemente lutítica, con capas delgadas de limolitas calcáreas, presenta concreciones de micrita. Tiene un espesor aproximado de 2.000 metros, depositada en el Mioceno Superior, en un ambiente de plataforma subsidente, con aportes continuos de un continente próximo, donde se desarrollaron manglares de gran extensión (GEOTEC., 2014).

- *Unidad Floresanto (Ngf):* está localizada en la zona costera del municipio de Puerto Escondido, con una edad de depositación de Mioceno Superior y un espesor aproximado de 1.800 metros. Consiste en una serie de capas delgadas a gruesas de lutitas de color pardo amarillenta, con presencia de concreciones calcáreas y restos de plantas en superficie (GEOTEC., 2014).
- *Unidad Maralú (Pgom):* se presentan, en su gran mayoría, paralelos a la línea de costa, en zonas con rasgos dómicos depositadas en el Oligoceno. Se caracterizan por su litología predominantemente de margas blancas, muy meteorizadas con abundantes foraminíferos. Localmente intercaladas con capas de areniscas líticas de grano muy fino. Según sus características, esta unidad fue depositada en un medio marino tranquilo y relativamente somero (GEOTEC., 2014).

### **4.3. Geología Estructural**

Debido a que la zona de estudio se encuentra en la cuenca del Caribe, la conforma un sistema de fallas con dominante estructural de rumbo y cabalgamiento (Figura 8). Las fallas de rumbo tienen una orientación preferencial que varía aproximadamente de EW a SE- NW. Entre estas fallas están tres grandes fallas que son: Falla Mangle, que va desde la desembocadura del río Mangle, atravesando el área de estudio con una dirección SW hacia el norte, y EW hacia el sur, de donde se desprenden otras fallas

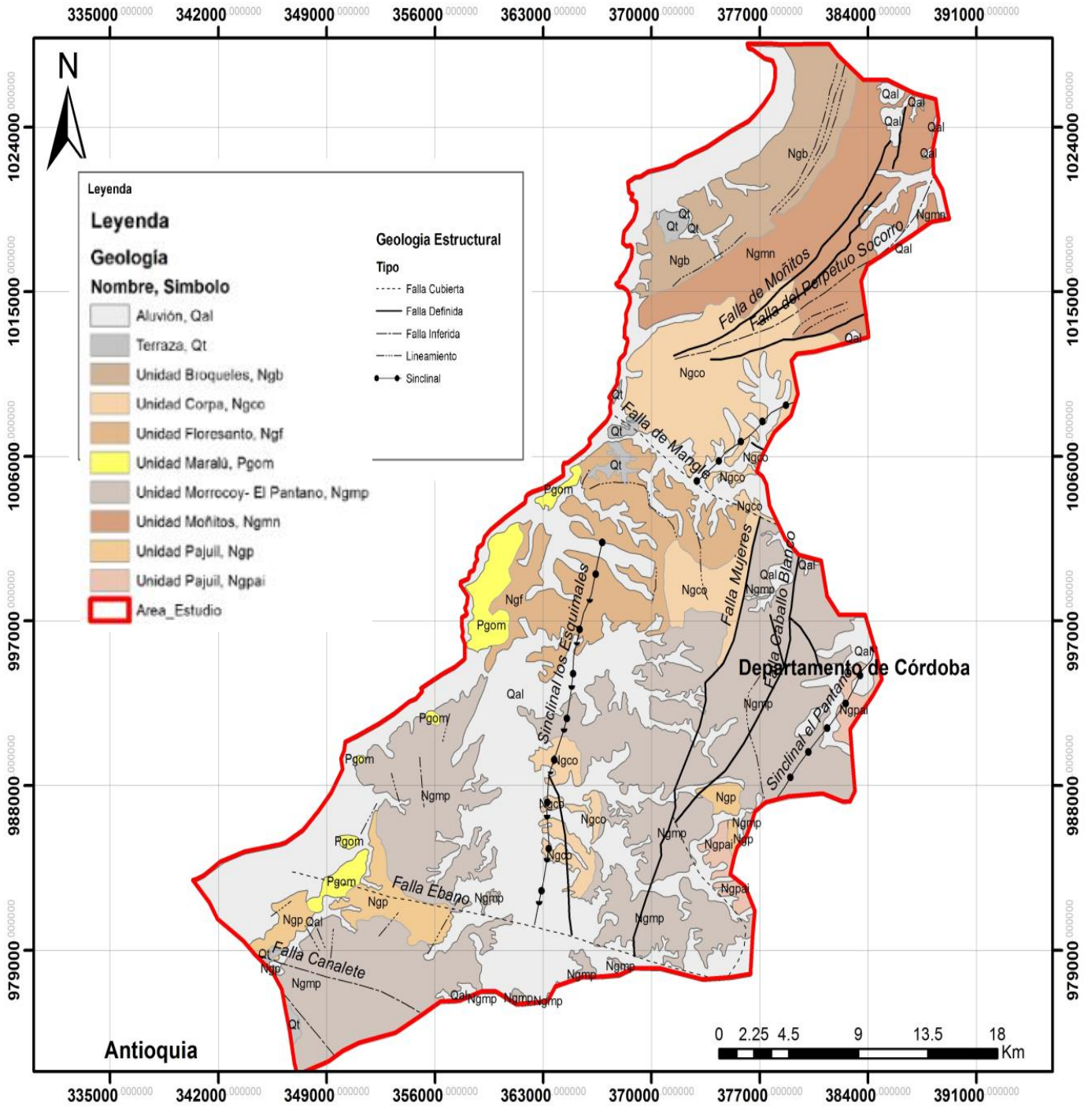
como La Tragedia a la altura del corregimiento de Villa Ester; falla Canalete y la falla El Ébano, que se encuentra en la parte sur de la zona de estudio, en el municipio de Los Córdoba, paralelas entre sí y con dirección EW hacia el norte, y al sur con SW (GEOTEC, 2003).

Las fallas de cabalgamiento de la zona son las dominantes con direcciones subverticales SN- NE y cambios hacia el sur de SW. Entre las más importantes están: Falla Moñitos, que va desde la vereda de El Cedro, municipio de Moñitos, con dirección NW, la falla Perpetuo Socorro, completamente paralela a la anterior, siguiendo el mismo patrones de orientación, y hacia el sur de la zona de estudio las fallas Mujeres y Caballo Blanco, con una orientación preferencial SN a NE hacia la parte norte de las fallas (GEOTEC, 2003).

Es importante resaltar la aparición de grandes e importantes estructuras sinclinales en esta zona, definidos y entre las diferentes fallas del área, como el Sinclinal El Limón en la parte norte y hacia el sur de manera casi paralela los Sinclinales de Los Esquimales y El Pantano en el municipio de Puerto Escondido (GEOTEC, 2003).

Las estructuras dómicas representativas de la Cuenca Colombiana se encuentran estrechamente asociadas con las fallas cartografiadas donde los lodos, saturados de agua y gases, aprovechan los planos de falla para ascender y provocar derrames extensos a lo largo de las mismas fallas donde aparece, o a través de los cráteres de pequeña longitud, de forma pasiva (GEOTEC, 2003).

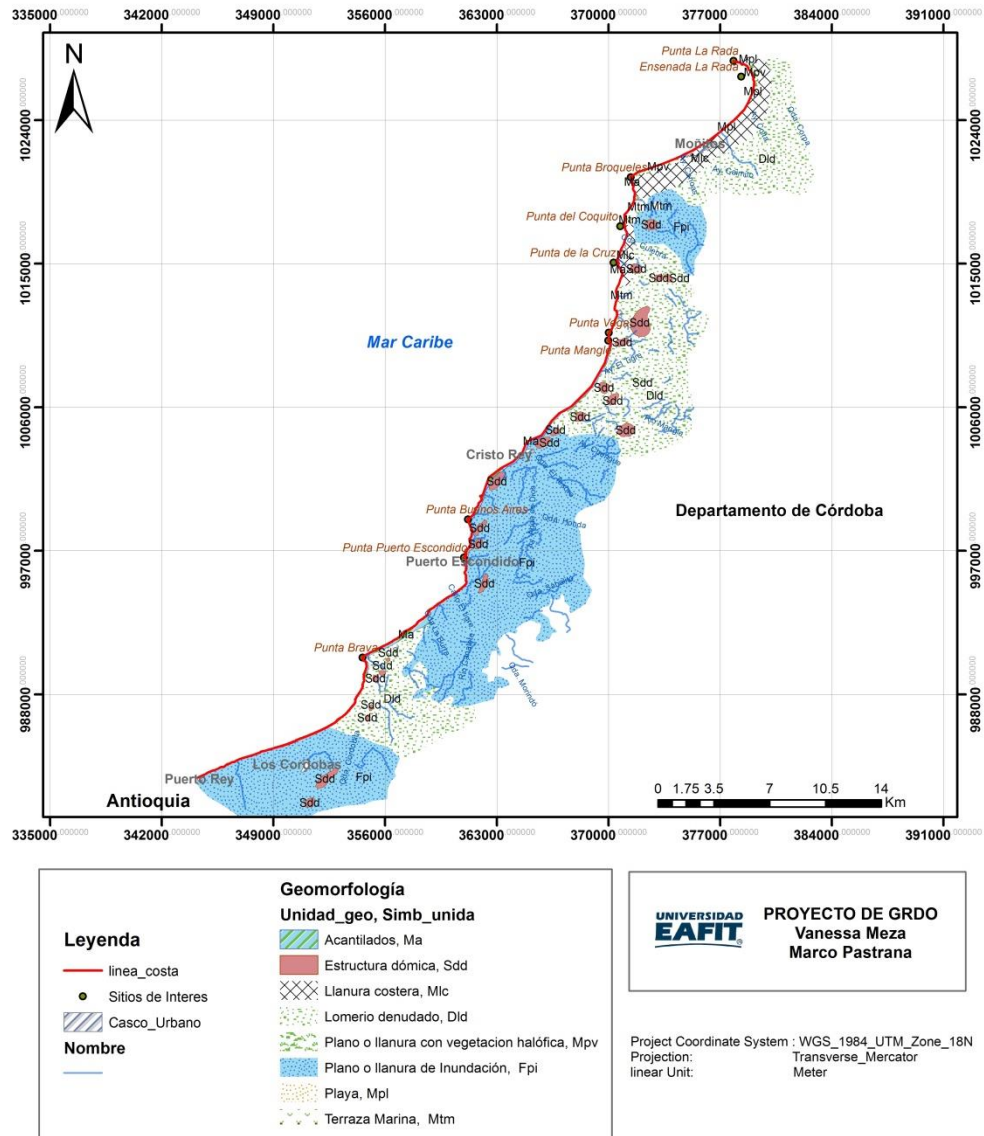
A lo largo de las fallas de cabalgamiento, los domos podrían ser culminaciones estructurales en el bloque y frente cabalgante, que contienen material más antiguo y resistente que ascendió a lo largo del plano de la falla. Aunque la mayoría de las estructuras dómicas se forman sobre el bloque yacente de las fallas de cabalgamiento, también pueden romper a través de algunas crestas de estructuras y enmascarar gran parte de la porción fallada. El lodo "lubricante" de estas geformas parece tener origen en algunas lodolitas del Mioceno y secciones más antiguas, (como, por ejemplo, las lutitas de Maralú - El Floral), razón por la cual en muchos lugares, se dificulta su identificación en una secuencia estratigráfica normal. (GEOTEC, 2003)



**Figura 8.** Geología estructural general de la zona de estudio. Tomado y modificado de las Planchas 50 y 60 (GEOTEC., 2014).

## 5. GEOMORFOLOGÍA

Dentro de la zona de estudio entre los municipios de Moñitos, Puerto Escondido y Los Córdoba se observan geformas homogéneas (Figura 9), que según el Servicio Geológico Colombiano (2015) se caracterizan de la siguiente manera:



**Figura 9.** Geomorfología de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia (fotointerpretación)

## 5.1. Ambiente Marino

Incluye las geoformas construidas como resultado de la interacción de los procesos marinos de oleaje y la acción de las mareas sobre los elementos continentales tales como la estructura y la litología local, al igual que los aportes fluviales deltaicos y las formaciones arrecifales. Entre las geoformas marinas se encuentran:

- *Acantilados (Ma)*: Superficie muy corta a corta, subvertical (pendiente  $>40^\circ$ ), de origen relacionado a partir de procesos de erosión marina y movimientos en masa en materiales de litología variada. Estas geoformas se encuentran asociados al 85% del área de estudio en todo el borde de la línea de costa, lo que conlleva a la presencia de playas cortas de bolsillo.

*Planos o llanuras con vegetación Halófitas- Pantanos (Mpv)*: 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 lodos, arenas muy finas y abundante materia orgánica, condiciones propicias para el crecimiento de vegetación pionera como manglar y otras especies halófitas. Estos sectores exhiben inundaciones periódicas por oleajes extremos, mareas, la combinación de ambos o por desborde de ríos o lagunas costeras. Estas formas se encuentran primordialmente en el municipio de Moñitos en zonas donde no hay acantilados, áreas más planas e inundables, donde la vegetación está en contacto con el mar.

- *Playas (Mpl)*: En términos amplios consisten en sedimentos depositados por el oleaje; o como una acumulación de arena marina que es transportada a la costa por el oleaje y las corrientes. En el lugar de interés se encuentran en la parte norte, con extensiones cortas a nulas, asociados a pantanos de manglares.
- *Terrazas Marinas (Mtm)*: son superficies elevadas horizontales a subhorizontales que sufren un desnivel respecto al nivel del mar. El origen de este desnivel puede ser tectónico o por cambios en el nivel del mar. Estas terrazas son pocas en la zona de estudio, y se encuentran localizadas en el área de Moñitos.
- *Llanuras Costeras (Mlc)*: son áreas subplanas o llanuras de inundación, con amplitud considerable, que en el área de estudio presentan una morfología colinada, con vegetación de clima seco tropical, y son poco incididas por drenajes de poca longitud y extensión.

## 5.2. Ambiente Estructural

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades. En la zona de estudio se presenta solo un tipo originado en este ambiente y son los *Domos Diapíricos (Sdd)*; que corresponden a estructuras de forma redondeada de morfología alomada, con laderas cortas y muy disectadas, con presencia de ventosas por donde fluye el lodo. En la costa cordobés se pueden localizar algunos diapiros activos con salida de lodos superficial (GEOTEC., 2014).

## 5.3. Ambiente Fluvial

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. En la zona de estudio solo se encuentra una sola de estas geoformas y es el *Plano o Llanura de Inundación (Fpi)*: que es una superficie de morfología plana y baja, eventualmente inundable, localizada bordeando los cauces fluviales, como superficies amplias y no tan profundas, en este caso, se pueden localizar en toda la zona de estudio, siendo la más grande la localizada a los alrededores del Rio Mangle (GEOTEC., 2014).

## 5.4. Ambiente Denudacional

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos (GEOTEC., 2014).

La geoforma denudacional presente en la zona de estudio es las *Lomas Denudadas (Dld)*, definidas como prominencias topográficas con alturas inferiores a los 200 metros sobre el nivel del mar, con una morfología alomada y elongada, con laderas relativamente cortas que han pasado por procesos de meteorización y erosión, ubicadas en toda la parte este de la zona de estudio (GEOTEC., 2014).

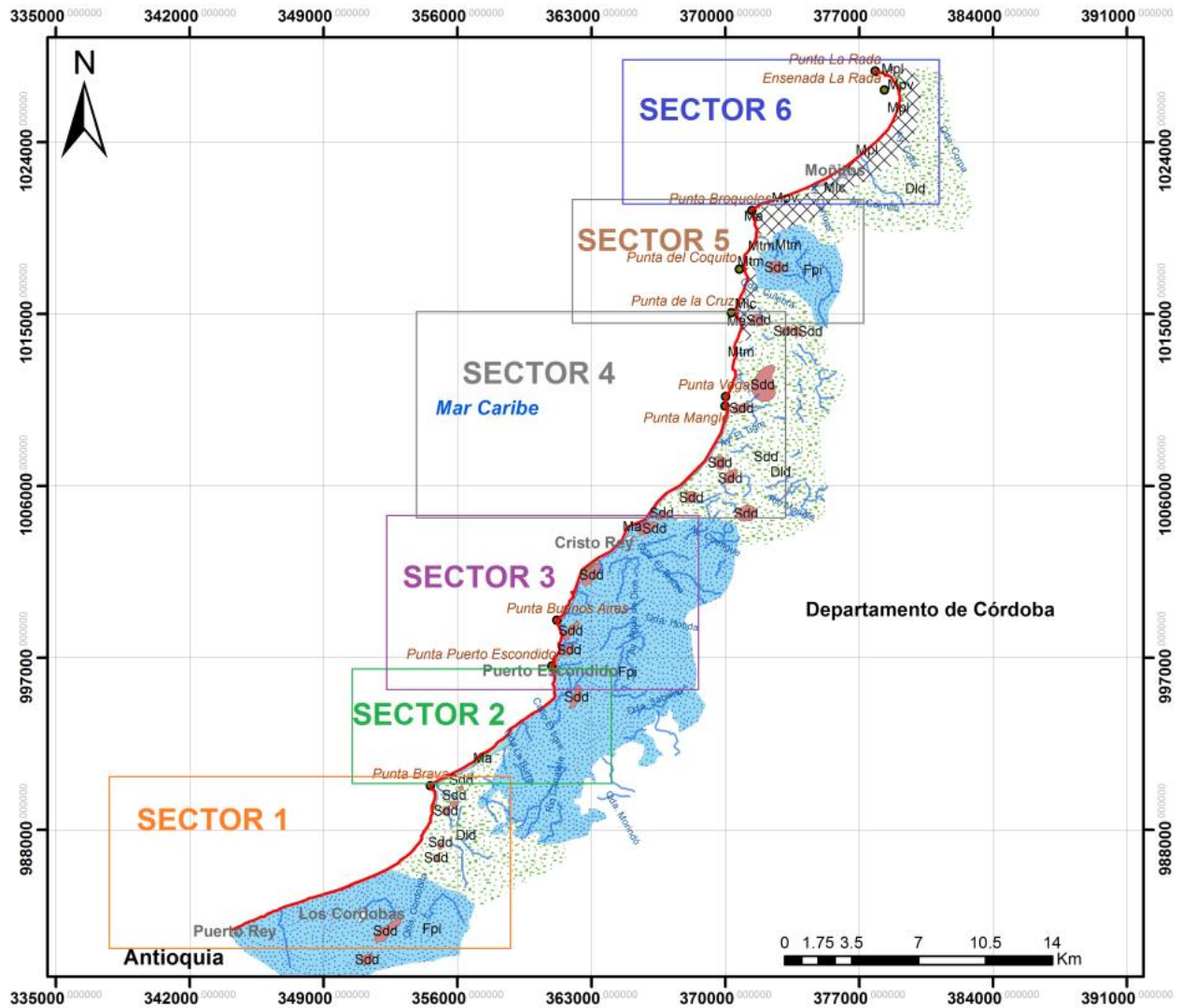
## 6. ACTUALIZACIÓN DE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA DEL TRAMO PUNTA REY- LA RADA

El tramo comprendido en la zona de estudio tiene una extensión estimada de 67 kilómetros, comprendida en entre Punta Rey y Punta la Rada. Para abarcar de manera eficiente la zona y visualizar mejor los datos se dividió el área en seis sectores (Figura 10), teniendo en cuenta los tramos sugeridos por Correa y otros. (2004).

Para el análisis de los datos estadísticos, se utilizaron los datos obtenidos de End Point Rate (EPR), siguiendo la clasificación cualitativa de la Tabla 1. Posteriormente se graficaron los datos de manera cuantitativa, presentados como Distancia (km) versus tasa de cambio EPR, adicionando en el mismo gráfico los datos obtenidos de Lineal Regression Rate (LRR).

**Tabla 1.** Clasificación cualitativa de los tramos de línea de costa con respecto a los valores EPR

CLASE	RANGO EPR (m/año)	CLASIFICACIÓN DEL TRAMO
1	<-15	Erosión muy alta
2	-15 a -5	Erosión alta
3	-5 a -2	Erosión moderada
4	-2 a 2	Estable
5	2 a 5	Acreción moderada
6	5 a 15	Acreción alta
7	>15	Acreción muy alta



**Figura 10.** Ubicación de los sectores definidos para el estudio de la actualización posicional de la línea de costa del área de estudio.

## 6.1 . Sector 1

### Punta Rey - Punta Brava

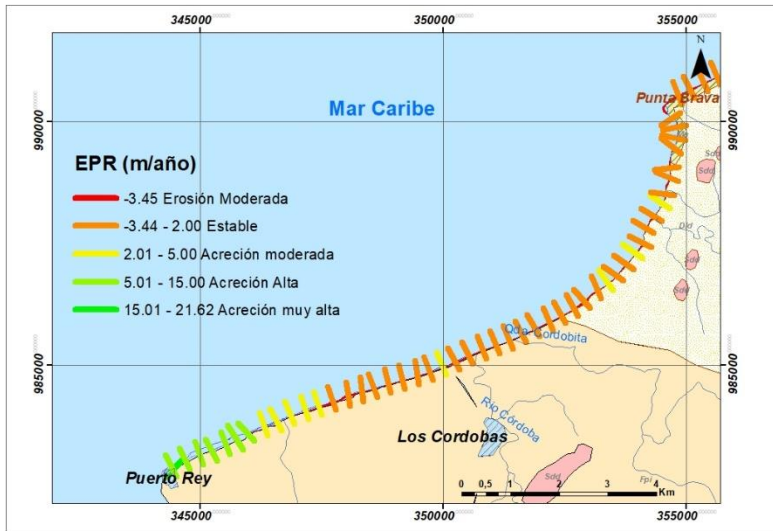
El primer sector del área de estudio comprende una amplia bahía en espiral, con una longitud estimada de 14.7 km y una orientación general de SOO- NEE.(**Figura 11**) Según Correa et al. (2007) esta orientación define que el sector esté sujeto en épocas de verano a la incidencia de oleaje con corrientes litorales que generan impactos sobre las rocas. En esta zona, la franja litoral está expuesta a procesos dinámicos que afecta el balance debido a la alta tasa de deforestación, dedicadas a la ganadería y agricultura.

La línea de costa en este sector está caracterizada por escarpes y acantilados activos, en las áreas aledañas a Punta Brava con rocas expuestas intensamente fracturadas y meteorizadas, lo que genera frecuentes movimientos de masa y flujos de lodo asociados a la escorrentía del área (Correa, y otros, 2007). Y en la parte suroeste del sector se encuentra presencia de playas más amplias, asociadas a amplias llanuras de inundación fluvial.

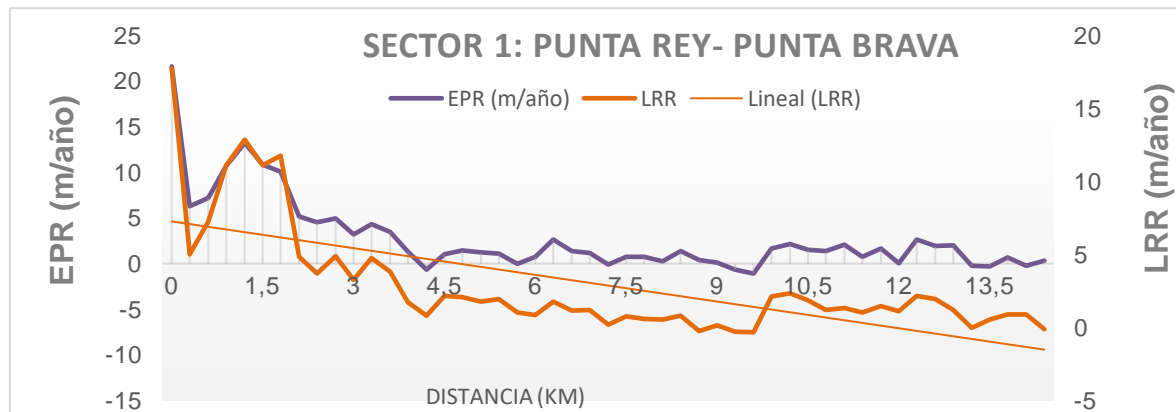
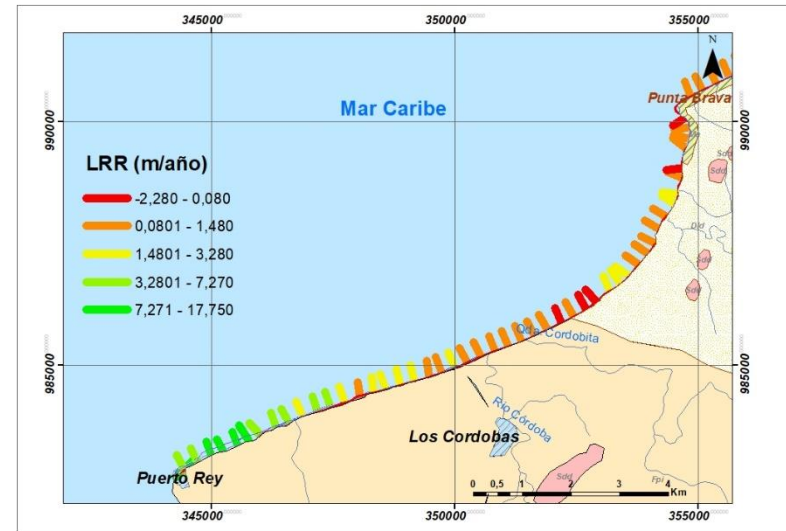
La evolución que ha tenido la línea de costa se presenta en la **Figura 11**, donde los transectos de color amarillo y naranja de los datos EPR y LRR sugieren erosión predominante moderada a estable en los últimos 16 años, con una pérdida de terreno de hasta 3,44 m/ año en la mayoría del sector y altas tasas de retroceso en la zona de Punta Rey.

En la **Figura 11C** se comprueba que los datos obtenidos en los transectos mostrados anteriormente mantienen un 80% del sector con una erosión moderada a estable; teniendo en cuenta los datos anómalos en el área de Puerto Rey, que indican ganancias de terreno de hasta 20 metros por año. Y en cuanto a los datos LRR se muestra una regresión lineal con tendencia a decaer a medida que se va avanzando en este primer sector, a excepción del área de desembocadura de la Qda. Cordobita, donde se presentan pérdidas de terreno de hasta 2 m/año.

### Valores EPR de Sector 1



### Valores LRR de Sector 1



**Figura 11 A.** Localización del sector 1: Punta Rey- Punta Brava en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** Valores LRR, según DSAS – software ArcGIS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del **Sector 1. Argc gis**

## **6.2. Sector 2**

### **Punta Brava - Playa Canalete**

Este sector comprende una longitud estimada de 8,1 kilómetros, con una dirección SE-NO, de morfología semirrecta, lo que implica que la línea de costa está expuesta a los oleajes provenientes del norte y el noreste, y fuertes corrientes litorales en la dirección sureste (Correa et al., 2007).

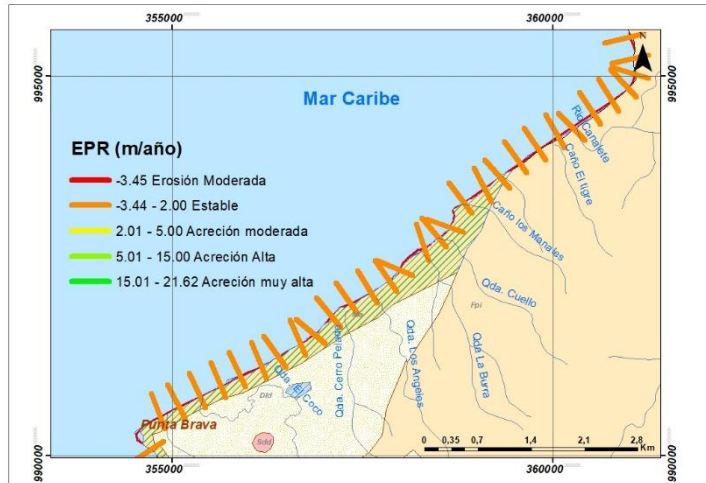
El sector Punta Brava - Playa Canalete está influenciado por el aporte de sedimentos del Río Canalete, que causa una morfología homogénea caracterizada por una amplia llanura de inundación fluvial y, hacia la comunidad de San Miguel, geoformas denudacionales ocasionadas por la erosión de formaciones preexistentes, con algunas estructuras dómicas hacia la zona más sur del área de estudio paralelas a la línea de costa.

Según Correa et al. (2007), la línea de costa en esta zona se caracteriza por tener un frente acantilado de alta inclinación, con alturas que van de los 3 hasta los 25 metros de altura principalmente en la zona de desembocaduras de los ríos. Esta observación sugiere que esta es una de las zonas donde se encuentra acantilados posiblemente asociada a fallas geológicas y a la poca compactación y resistencia de las rocas depositadas de la Unidad Morrococoy - Pantano.

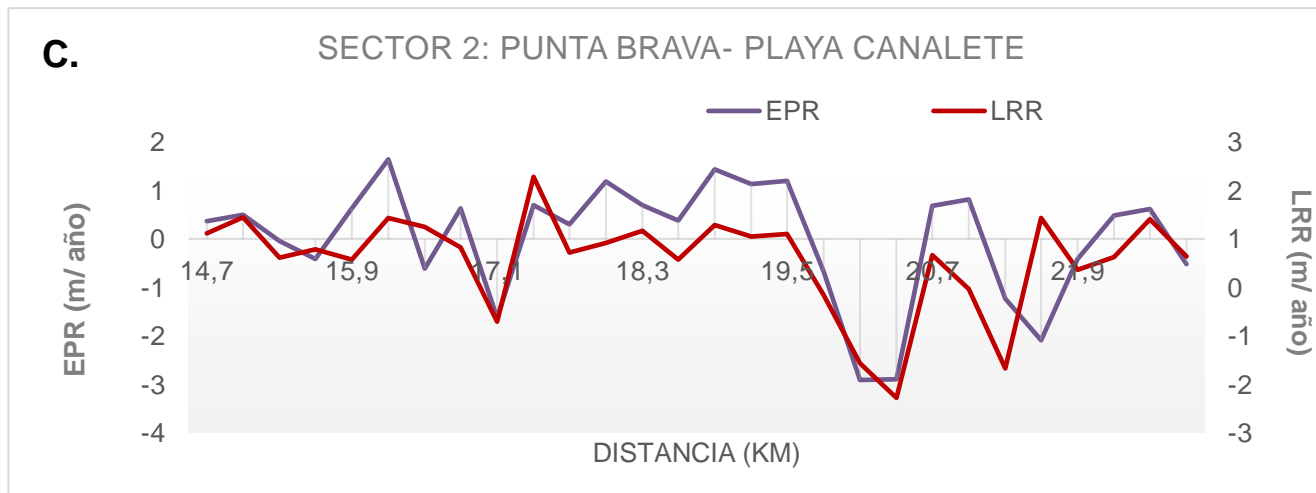
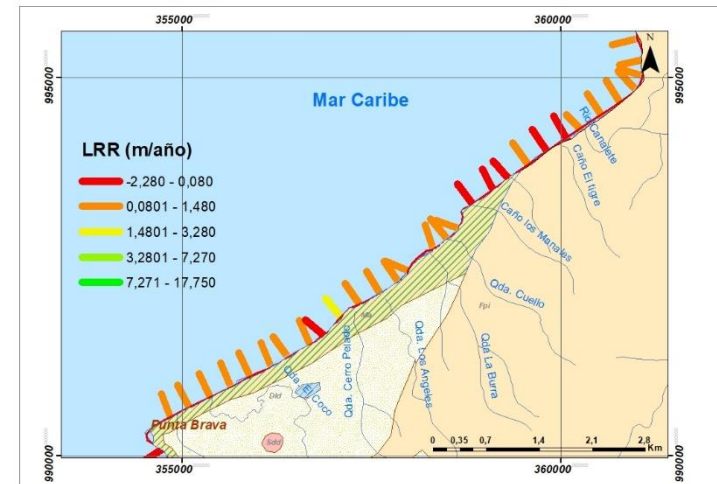
Como se observa en los últimos 16 años, los valores de EPR arrojados por el DSAS para este sector del área de estudio, se presenta una erosión moderada a alta en todo el tramo, con valores de pérdida de terreno de hasta 3 m/año, manteniendo así el carácter de línea de costa erosiva como en el primer sector, con mayor incidencia de zonas más erosivas asociadas principalmente donde se encuentra ubicados los acantilados.

En la Figura 12 se observa la caracterización cuantitativa del sector 2, y se puede observar a más detalle que acreción de terreno más amplia está a la altura de la localidad de San Miguel con ganancias de terreno de 2 m/año aproximadamente, y de igual manera a la altura de Punta Cuello, pero en este punto la ganancia de terreno se debe a la morfología de esta punta y al aporte de sedimentos realizado por el Caño los Manales y la Quebrada Cuello.

**Valores EPR de Sector 2**



**Valores LRR de Sector 2**



**Figura 12 A.** Localización del sector 2: Punta Brava- Playa Canalete en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** valores LRR, según DSAS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 2.

### 6.3. Sector 3:

#### Playa Canalete - Punta Santa Bárbara

El tramo comprendido en este sector tiene una longitud estimada de 12,9 kilómetros en su línea de costa, con dirección N-S entre Playa Canalete y el casco urbano de Puerto Escondido, y SE-NO hasta Cristo Rey, lo que causa la incidencia de oleajes provenientes del norte y en noreste sobre toda la costa del sector y que se produzcan corrientes litorales hacia el sur de éste (Correa et al., 2007)

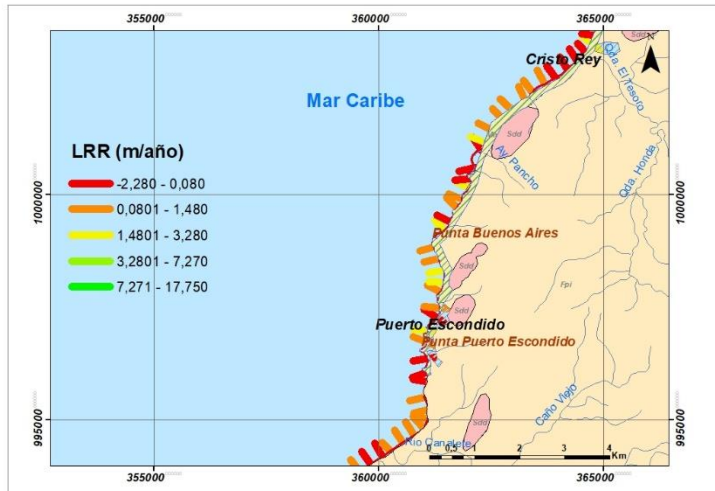
La morfología está dominada por una amplia llanura de inundación aterrazadas y con algunas prominencias alomadas limitando la línea de costa, es su mayor parte, por acantilados muy pronunciados en rocas de granulometría muy fina como las lutitas y areniscas líticas de la Unidad Floresanto que hacen parte de la zona, con alta influencia de sistemas de fallas a lo largo del tramo asociados a estructuras dómicas de longitudes considerables.

Las playas presentes en este sector son muy pocas, y están asociadas en su mayoría a la intervención antrópica correspondiente a estructuras costeras localizadas en Puerto Escondido, y en menor proporción en Cristo Rey donde también se influyen por aportes de sedimentos del Río Yuca.

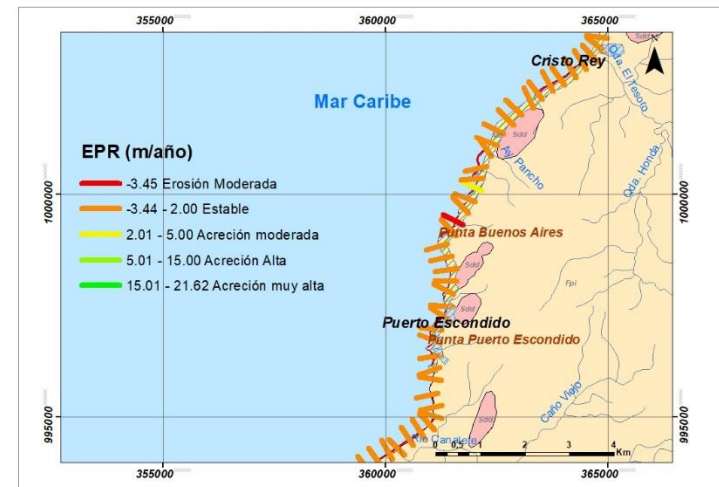
Con los valores EPR mostrados en la Figura 13, en el lapso analizado, muestra un comportamiento con erosión moderada en el 98% del sector, y en Punta Prieto se observa una alta erosión con valores mayores a los 3,45 m/año, siendo el accidente geomorfológico más sobresaliente en todo el sector.

Con la Figura 13 **C** se puede observar a más detalle los valores EPR y LRR obtenidos, donde se muestra valores de  $-3,45$  m/año de los 28,5 kilómetros de distancia en el sector 3, a la altura de Punta Prieto, y valores de erosión moderada en todo el tramo, y de ganancia o acreción de terreno 3 km después de 3 m/año.

**Valores LRR de Sector 3**

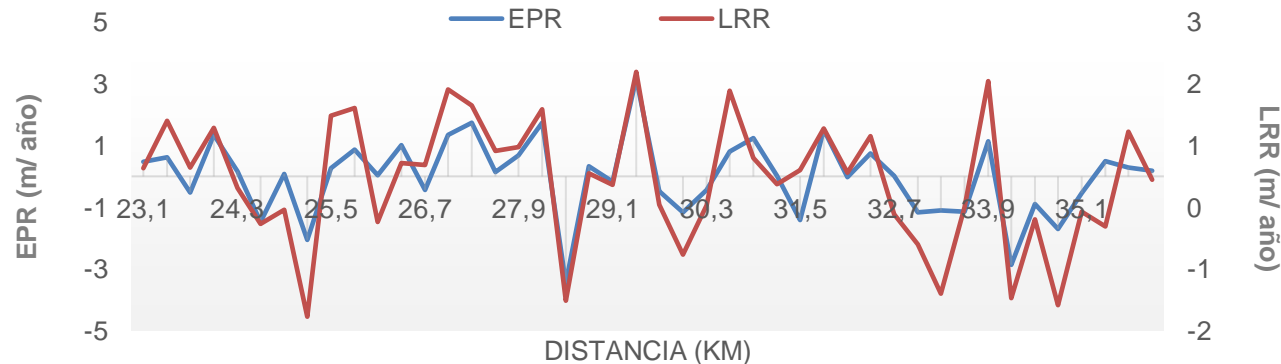


**Valores EPR de Sector 3**



**C.**

**SECTOR 3: PLAYA CANALETE- PUNTA SANTA BARBARA**



**Figura 13 A.** Localización del sector 3: Playa Canalete- Punta Santa Barbara en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** valores LRR, según DSAS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 3.

## **6.4 Sector 4:**

### **Punta Santa Bárbara - Punta La Cruz**

Este sector tiene una longitud estimada de 12 km, con una dirección SE-NO por lo que se encuentra influenciada por oleajes provenientes del norte y noroeste y fuertes corrientes litorales hacia la parte sur del tramo (Correa et al., 2007)

La zona costera corresponde a una serie de lomeríos denudados por acción de la erosión a rocas preexistentes, con terrazas marinas colinadas y amplias llanuras costeras, limitando la línea de costa por acantilados desde la localidad de Cristo Rey al sur, hasta El Cedro al norte del sector, bajo rocas blandas pertenecientes a la Unidad Corpas y sedimentos aluviales. Además, se observan estructuras dómicas a paralelas a la línea costera, condicionadas e influenciadas por presencia de fallas geológicas como la Falla Mangle, que tiene una dirección netamente perpendicular a la costa, que determinan zonas de gran inestabilidad.

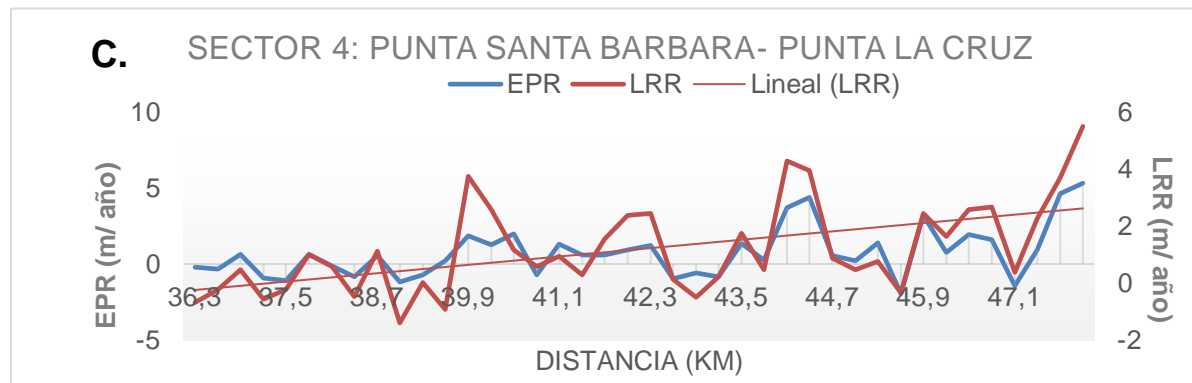
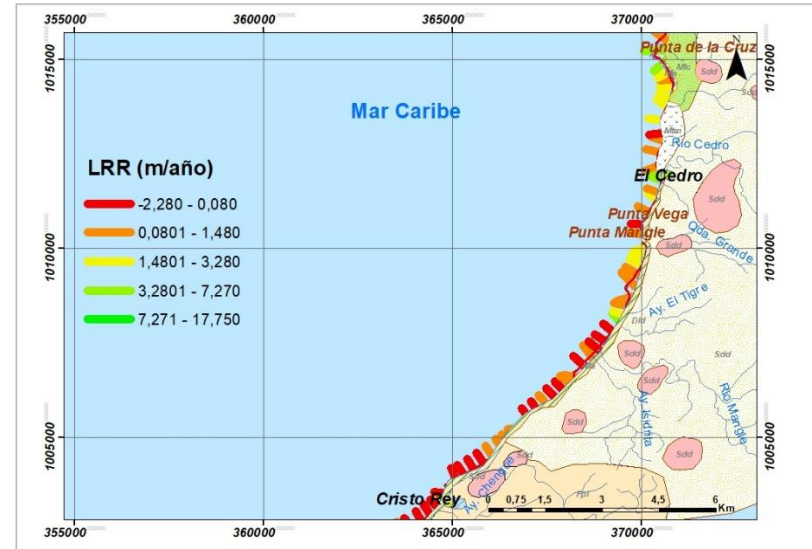
Los valores EPR obtenidos para este sector, se muestran en la Figura 14, donde se sigue observando la tendencia de una erosión moderada, con pérdidas de terreno debido a la erosión menores a los 2 m/año. Por su parte, los valores LRR muestra zonas críticas en la parte suroeste del sector.

En cuanto a una caracterización cuantitativa, se muestran los datos EPR en la Figura 14 C, donde a pesar de tener una tendencia de erosión moderada, con pérdidas de (-) 2 m/año, a mantenerse estable la línea de costa, se observa acreción hasta de 4 m/año hacia Punta la Cruz por la morfología de la ensenada presente al final de este sector, que aparenta no tener intervención antrópica, por lo que se puede considerar una estabilidad en esta zona del área de estudio.

### Valores EPR de Sector 4



### Valores LRR de Sector 4



**Figura 14 A**, Localización del sector 4: Punta Santa Barbara – Punta La Cruz en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** valores LRR, según DSAS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 4.

## **6.5 Sector 5: Punta la Cruz - Punta Broqueles**

Tiene una dirección predominante SE-NW, con una longitud aproximada de 5,4 km a lo largo de la línea de costa, conformado por dos bahías en espiral (Punta Broqueles y Coquitos). Los oleajes que inciden en este sector son provenientes del norte y noreste, generando corrientes y una zona de transporte de sedimentos arenoso hacia la parte sur (Correa et al., 2007)

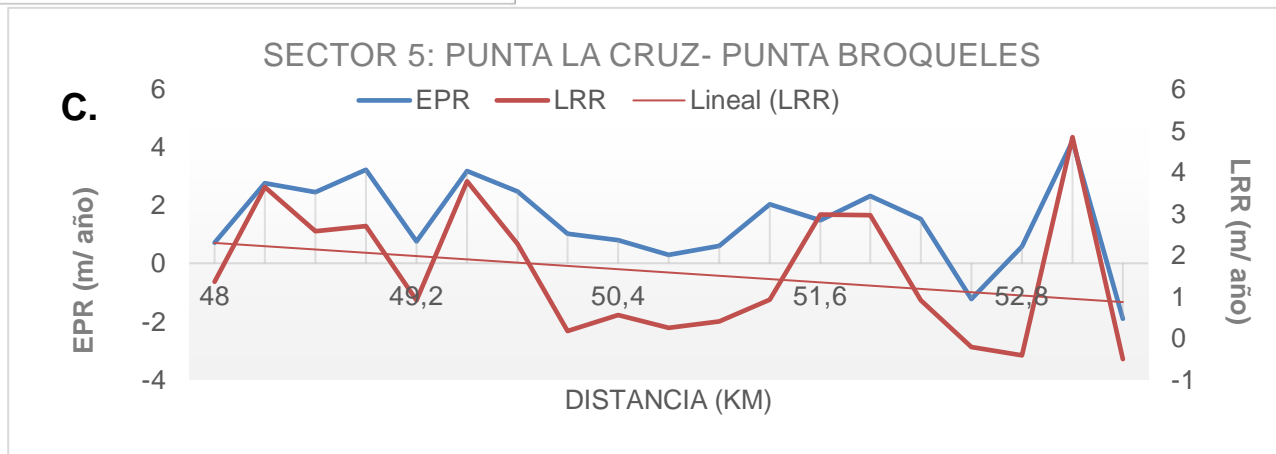
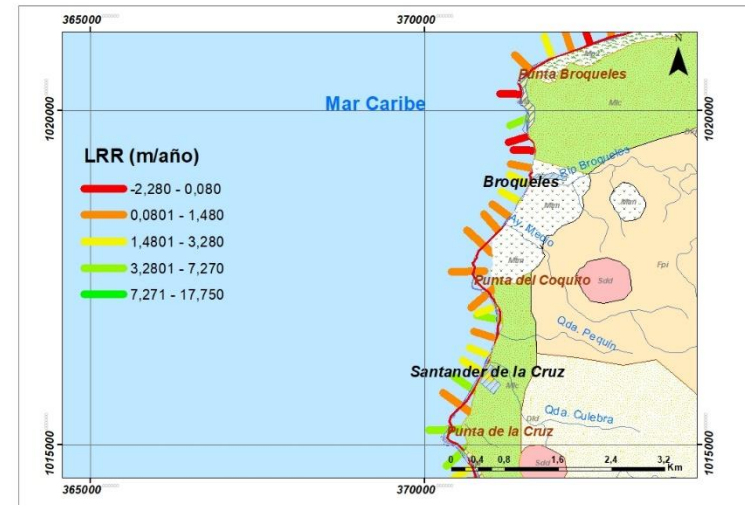
Este sector comprende llanuras con morfología colinada redondeadas, terrazas marinas hacia la desembocadura del Río Broqueles y Arroyo Medio, con acantilados y escarpes pronunciados hacia Punta Broqueles, y algunas estructuras dómicas en el área. Las dos puntas que constituyen este sector están compuestas por areniscas calcáreas pertenecientes a la Unidad Broqueles, con fallamiento y actividad diapíricas en sus alrededores.

Los valores de EPR obtenidos para este sector se muestran en la Figura 15 **C**, donde se observa que este sector tiene un carácter de erosión moderada con pérdidas de terreno de  $-2$  m/año y acreciones en zonas hasta de 2 m/año.

### Valores EPR de Sector 5



### Valores LRR de Sector 5



**Figura 15 A.** Localización del sector 5: Punta La Cruz- Punta Broqueles en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** valores LRR, según DSAS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 5.

## **6.6 Sector 6: Punta Broqueles - Punta La Rada**

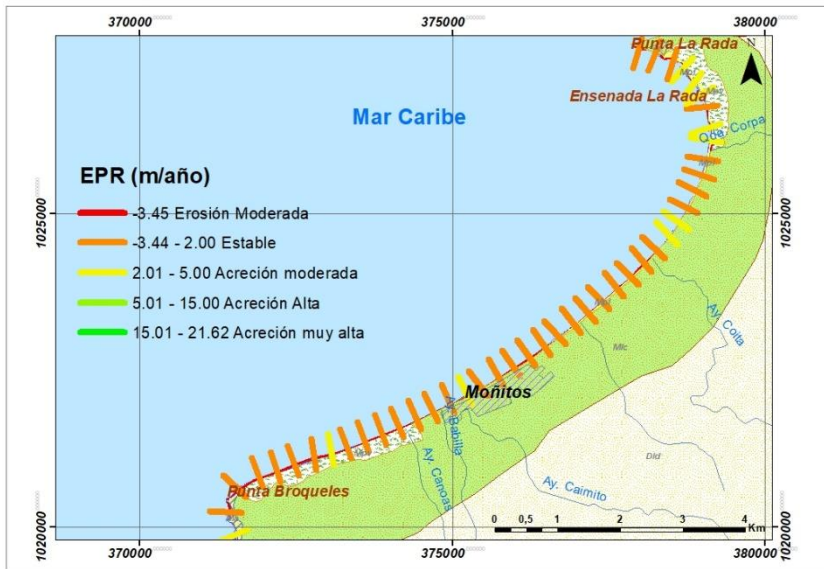
Este sector tiene una longitud aproximada de 12,3 km de longitud de línea de costa, orientado en dirección SE-NO. Vista en planta el contorno del litoral es una amplia bahía en espiral (Correa et al., 2007)

Corresponde a una secuencia de cordones litorales arenosos de relieve bajo ondulado, conformado por llanuras con vegetación de manglar, hacia La Rada, y playas de longitudes significativas, con drenaje poco denso, lo que implica que el aporte de sedimentos sea menor a los otros sectores y los acantilados en este tramo aparecen en menor proporción. Esta zona se ve dominada estructuralmente por la Falla Moñitos, y otros lineamientos y fallas de menor proporción, además de estructuras dómicas hacia Broqueles y La Rada que son de gran influencia en el desarrollo y estabilidad de la línea de costa.

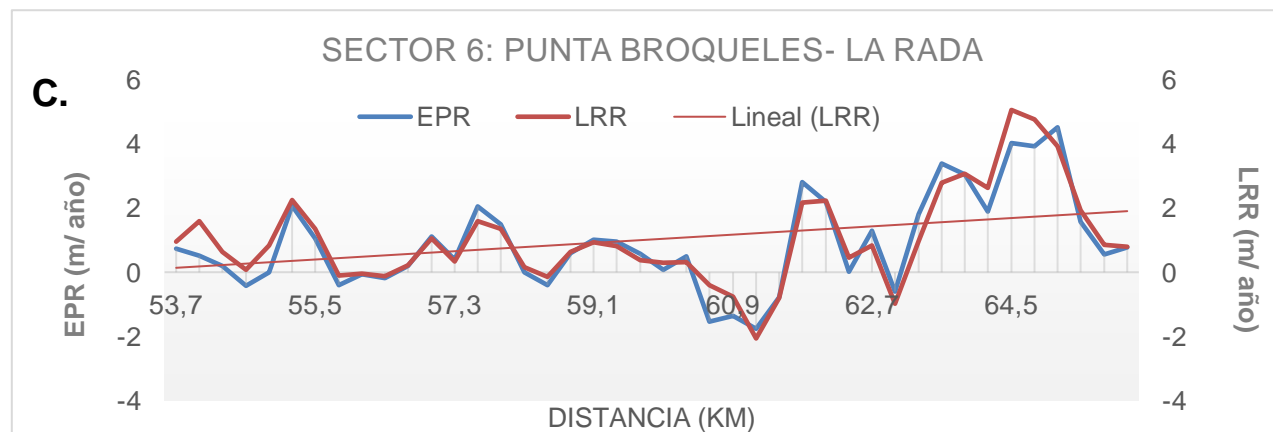
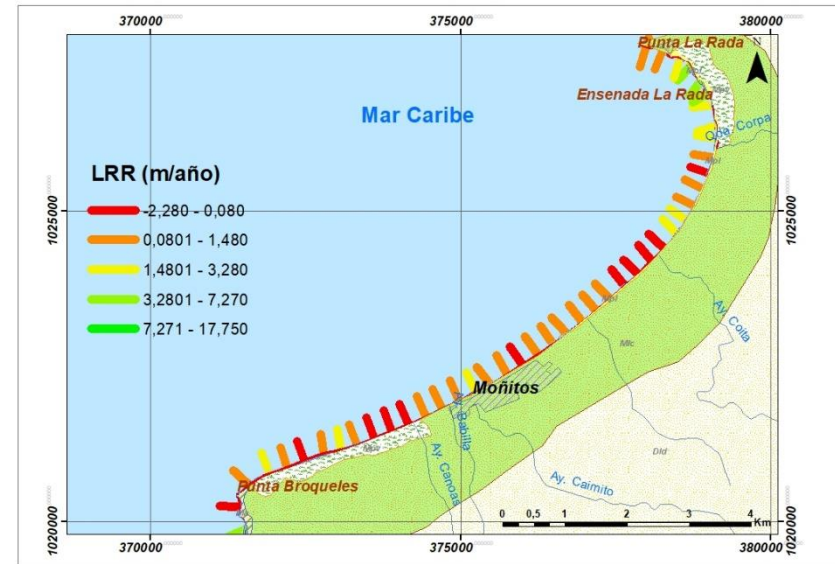
Los valores EPR obtenidos para este sector se muestran en la Figura 16 C, donde se observan variabilidades con erosión moderada a estable en estos últimos años, con pérdidas de hasta  $-2\text{m/año}$ . Se observan también valores muy desiguales en todo el sector, con pérdidas de hasta  $2\text{ m/año}$  y hacia el área urbana de Moñitos, ganancia hasta de  $5\text{ m/año}$  debido a diferentes intervenciones antrópicas.

Los valores LRR obtenidos, indican una erosión moderada en términos generales, con algunas zonas de erosión más intensa ubicado principalmente en zonas limitadas en su línea de costa por acantilados.

### Valores EPR de Sector 6



### Valores LRR de Sector 6



**Figura 16 A.** Localización del sector 6: Punta Broqueles- Punta La Rada en el departamento de Córdoba mostrando valores estadísticos de EPR **B.** valores LRR, según DSAS **C.** Valores EPR y LRR vs. Distancia en Km entre tramos del Sector 6.

## 7. CONCLUSIONES

La zona de estudio comprendida por el tramo Punta Rey- Punta la Rada de la costa del departamento de Córdoba se caracteriza geológicamente por ser una zona de depositación de sedimentos marinos y aporte de sedimentos fluviales, de edades relativamente jóvenes que van del Plioceno al Holoceno. En la zona se encuentran estructuras dómicas paralelas a la línea de costa, dominadas por un sistema de fallas de rumbo y cabalgamiento que siguen patrones del sistema de fallas del Cinturón del Sinú.

Geomorfológicamente se caracteriza por tener amplias llanuras marinas y fluviales, con morfologías colinadas y alomadas, playas poco extensas en la zona norte de La Rada, Moñitos y Puerto Escondido y estructuras dómicas con Diapirismo de lodo activo. Sin embargo, se debe resaltar que el 90% de la línea de costa del tramo estudiado está limitada por acantilados originados por la acción abrasiva del oleaje sobre las rocas de baja resistencia que están inestables geológicamente a lo largo de la costa.

Las líneas de costa analizadas desde el 2004 hasta el 2020 de la zona de estudio, mediante el DSAS, arrojaron un comportamiento destructiva o erosiva en todo el tramo en general, observándose, mediante los valores del EPR, pérdidas de terreno mayores a 3 m/año en algunos sectores y acreción en otras zonas mayores a 5 m/año, debido principalmente a la construcción de infraestructura de protección. La susceptibilidad erosiva se asocia a la inestabilidad geológica de los acantilados, que ocasionan movimientos de masa por la poca resistencia de las rocas y procesos de abrasión ocasionado por el oleaje y corrientes marinas.

Además de los factores geológicos y procesos naturales que se observan en la dinámica de la costa cordobés, es importante recalcar que las intervenciones antrópicas son responsables del aumento de la erosión en la línea de costa. Los habitantes de la zona utilizan como actividades económicas la extracción de materiales de las playas y zonas cercanas a acantilados, lo que aumenta la inestabilidad de estos y causa desprendimientos y movimientos de masa. Asimismo, la deforestación en zonas urbanas y manglares y la sobreexplotación agrícola y ganadera generan un desequilibrio en las laderas de las geoformas, causando agrietamiento y hundimientos en el terreno.

## **8. RECOMENDACIONES**

La principal limitación de este proyecto corresponde a la falta de datos directos de campo, lo que implica incertidumbres relativamente altas y falta de evidencia fotográfica y geológica de la zona. Por esta razón se recomienda en futuros estudios la toma de datos en campo por medio de vehículos aéreos no tripulados con puntos de control en tierra.

La erosión litoral es un problema complejo que debe tomarse en cuenta para futuros planeamientos territoriales. Se deberían evaluar relocalizaciones de algunas localidades como La Rada y tomar medidas preventivas aguas arriba de los ríos que desembocan en esta zona. De esta manera, se evitaría el aumentar la sedimentación y aumento de depositación en los deltas que también influyen en la inestabilidad y desequilibrio de la dinámica costera.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Boak, Elizabeth y Turner, Ian. 2005.** *Shoreline definition and detection: a review.* Australia : s.n., 2005. págs. 688- 703.
- Castañeda, Danna. 2017.** *Análisis de la línea de Costa en el municipio de Buenaventura (Valle del Cauca- Colombia).* Bogotá : Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2017.
- Cinfuentes, Maria, Rosero, Leidy y Selvaraj, Jhon. 2017.** *Detección de cambios en la línea costera al norte del distrito de Buenaventura mediante el uso de sensores remotos.* Palmira- Valle del Cauca : Universidad Nacional, 2017.
- Correa, I., Acosta, S. y Bedoya, G. 2004.** *Análisis de las causas y monitoreo de la erosión litoral en el departamento de Córdoba.* Medellín : Universidad EAFIT, 2004.
- Correa, Ivan y Alcantara, J. 2005.** Historical and Recent Shore Erosion along the Colombian Caribbean Coast. Valencia, España : Journal of Coastal Research, 2005.
- Correa, Ivan, y otros. 2007.** *Erosión litoral entre Arboletes y Punta San Berdardo, Costa Caribe colombiana.* 2007. págs. 115- 129.
- Dávila, Jorge. 2011.** *Diccionario Geológico.* Perú : Art Grouting, 2011.
- Florez, Antonio. 2000.** *Morfodinamica del litoral Caribe y amenazas naturales.* Bogotá : Universidad Nacional, 2000.
- GEOTEC. 2003.** *Geología de los Cinturones Sinú- San Jacinto.* Bogotá : INGEOMINAS, 2003.
- GEOTEC. 2014.** *Geología de la plancha 50 Puerto Escondido.* Bogotá : SGC, 2014.
- . 2014.** *Geología de la Plancha 60 Canalete.* Bogotá : SGC, 2014.
- Gomez, J., J. Carvajal y J. Otero. 2012.** *Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del caribe colombiano.* Cartagena : Invemar, 2012.
- Guerrero, Margarita. 2017.** *Clasificación morfológica e hidrodinámica de las playas del caribe colombiano.* Barranquilla : Universidad del Norte, 2017.

**Himmelstoss, Emily, y otros. 2018.** Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. 2018, Vols. 2018-1179.

**INVEMAR. 2017.** *Regionalización oceanográfica, una visión dinámica del Caribe.* Santa Marta : INVEMAR, 2017.

**INVEMAR. 2005.** *Informe del estado de los ambientes marinos y costeros de Colombia.* Bogotá : INVEMAR, 2005.

**Kelletat, Dieter. 1995.** *Atlas of Coastal Geomorphology and zonality.* Florida, USA : CERF, 1995.

**Masselink, Gerhard y Hughes, Michael. 2003.** Introduction to Coastal processes and Geomorphology. Londres : Hodder Headline Group., 2003.

**Posada, Blanca y Henao, William. 2017.** *Diagnostico de la erosión costera.* Santa Marta : INVEMAR, 2017.

**Rangel, Nelson y Posada, Blanca. 2005.** *Geomorfología y procesos erosivos en la costa norte del departamento de Córdoba CARibe colombiano (Sector Paso Nuevo-Cristo Rey).* Santa Marta : Boletín Invest. Mar. Cos., 2005.

**Restrepo, Isabel, Ojeda, Germán y Correa, Ivan. 2007.** *Geomorfología d ela plataforma somera del departamento de Córdoba, costa Cairbe colombiana.* Medellín : Boletín de Ciencias de la Tierra, 2007.

**Ricaurte, Constanza. 2015.** *Erosión de las zonas costeras y alternativas de mitigación.* Puerto España : INVEMAR, 2015.

**Sebat, Mirna. 2018.** *Estimate the rate of shoreline change using the statical analysis technique (EPR).* Syria : Journal Business & IT, 2018.

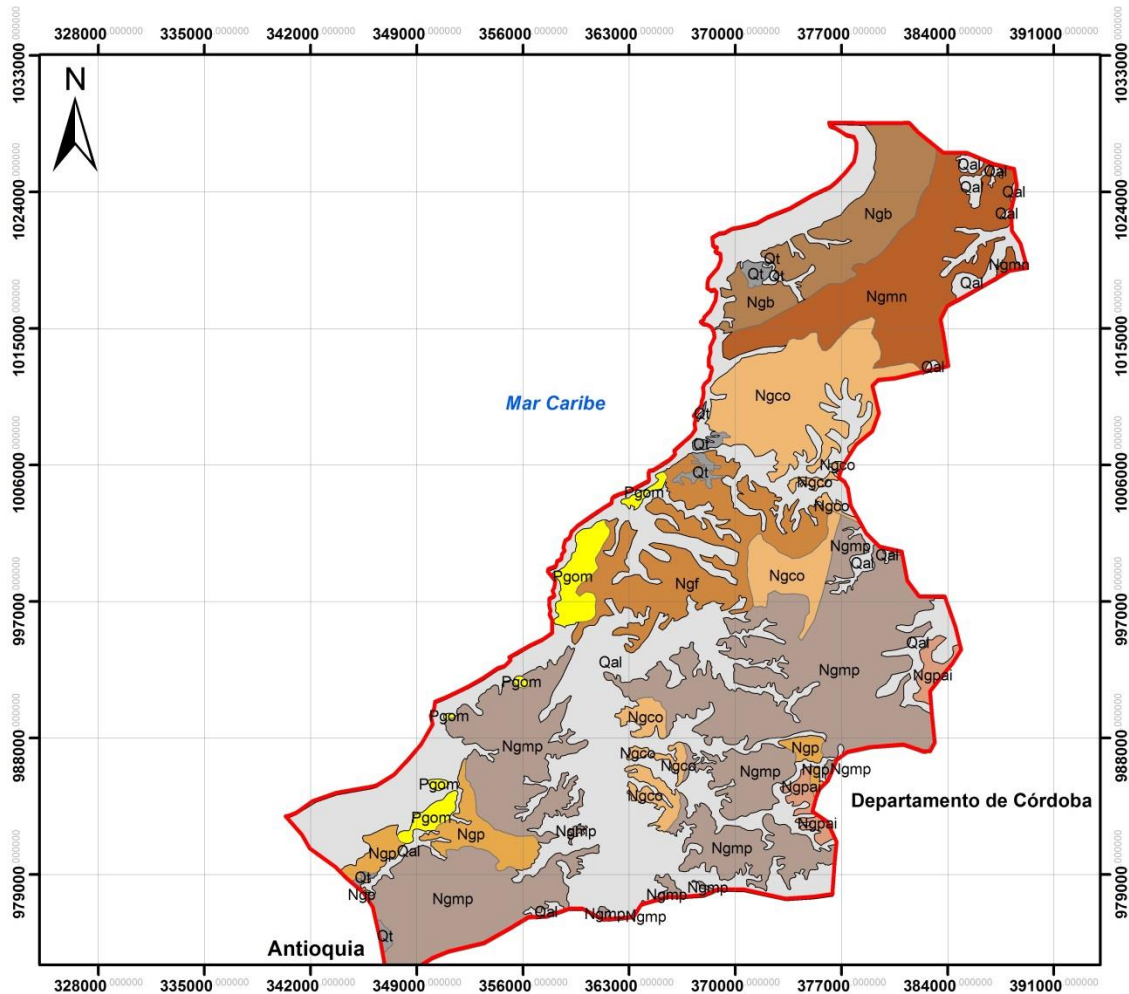
**SGC, Servicio Geologico Colombiano. 2015.** *Glosario de Terminos Geomorfológicos.* Bogotá : SGC, 2015.

**Silva, R., y otros. 2014.** Present and future challenges of coastal erosion in Latin America. Journal of Coastal Research. 2014.

**USGS. 2017.** The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—an Arcgis Extension for Calculating shoreline Change. USGS. [En línea] Julio de 2017. [https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/..](https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/)

## 10. ANEXOS

### GEOLOGÍA DE LA ZONA COSTERA MUNICIPIOS DE MOÑITOS- PUERTO ESCONDIDO- LOS CORDOBAS DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA- COLOMBIA



Leyenda	
	Área_Estudio
<b>Geología</b>	
<b>Nombre, Símbolo</b>	
	Aluvión, Qal
	Terraza, Qt
	Unidad Broqueles, Ngb
	Unidad Corpa, Ngco
	Unidad Floresanto, Ngf
	Unidad Marañú, Pgom
	Unidad Morrocoy- El Pantano, Ngmp
	Unidad Moñitos, Ngmn
	Unidad Pajuil, Ngp
	Unidad Pajuil, Ngpai

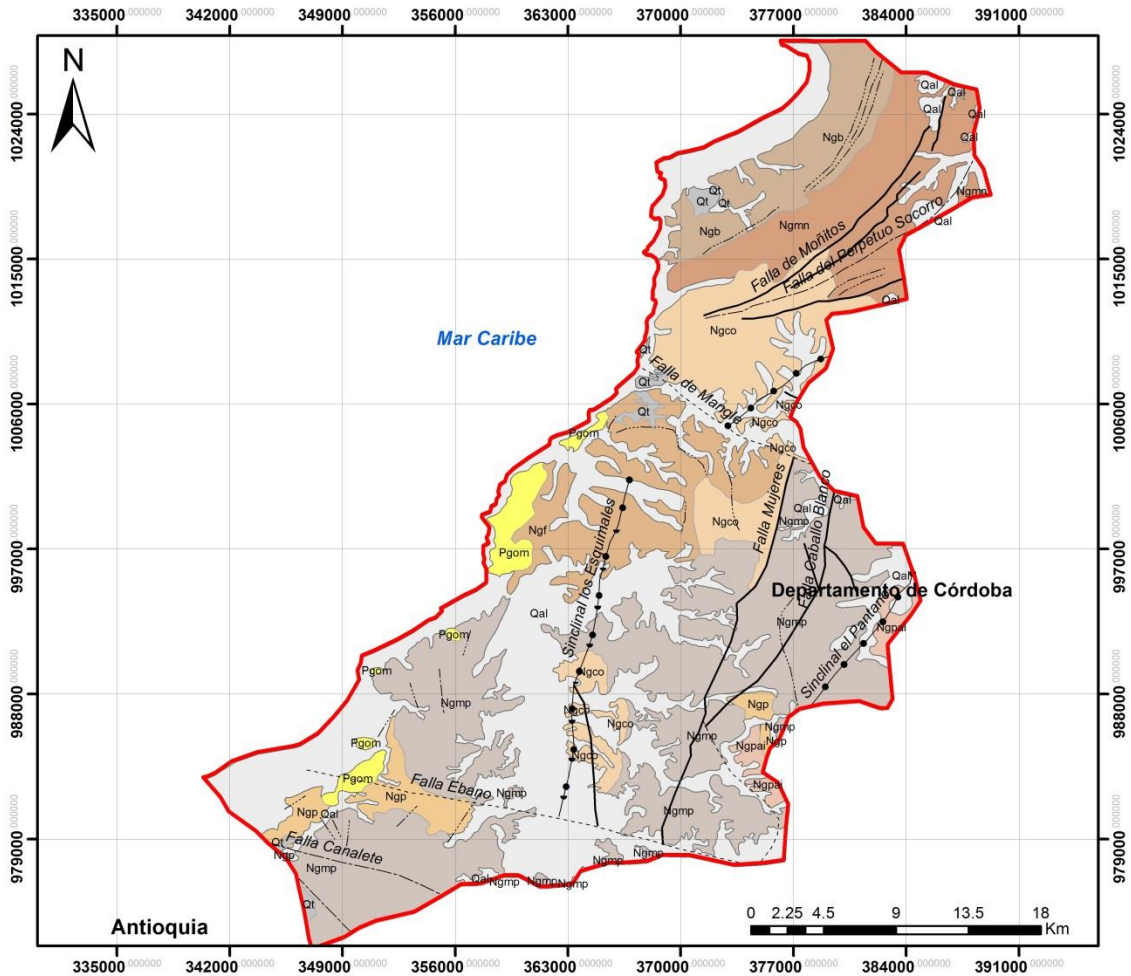


Project Coordinate System : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_18N  
 Projection: Transverse\_Mercator  
 linear Unit: Meter

**UNIVERSIDAD EAFIT**  
 PROYECTO DE GRDO  
 Vanessa Meza  
 Marco Pastrana

Anexo 1 Geología de la zona costera de los municipios de Moñitos- Puerto Escondido- Los Córdoba en el departamento de Córdoba- Colombia

**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LA ZONA COSTERA  
 MUNICIPIOS DE MOÑITOS- PUERTO ESCONDIDO- LOS CORDOBAS  
 DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA- COLOMBIA**



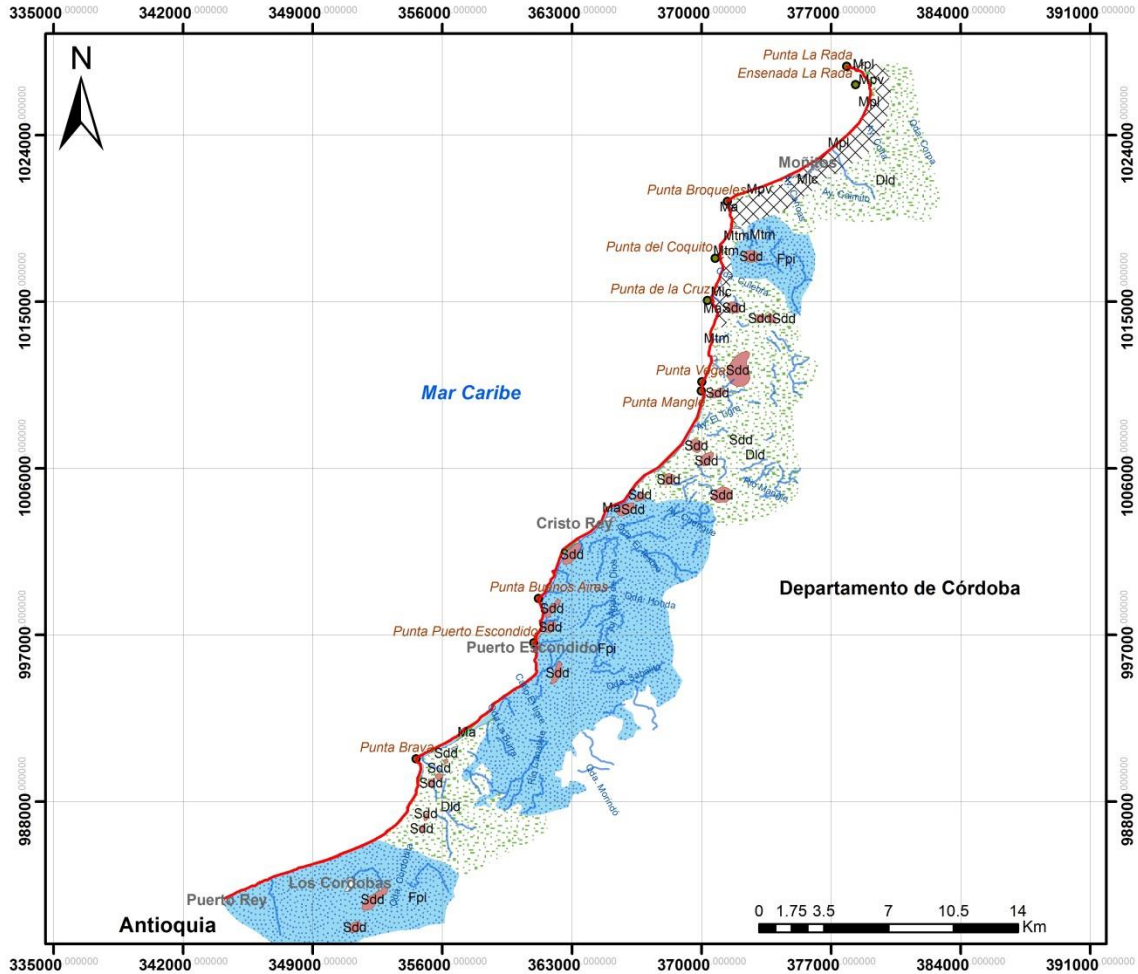
Leyenda	
<b>Geología</b>	
<b>Nombre, Símbolo</b>	<b>Geología Estructural</b>
Aluvión, Qal	----- Falla Cubierta
Terraza, Qt	———— Falla Definida
Unidad Broqueles, Ngb	----- Falla Inferida
Unidad Corpa, Ngco	..... Lineamiento
Unidad Floresanto, Ngf	●—● Sinclinal
Unidad Maralú, Pgom	
Unidad Morrocay- El Pantano, Ngmp	
Unidad Moñitos, Ngmn	
Unidad Pajuil, Ngp	
Unidad Pajuil, Ngpai	
Area_Estudio	

**UNIVERSIDAD EAFIT**  
**PROYECTO DE GRDO**  
 Vanessa Meza  
 Marco Pastrana

Project Coordinate System : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_18N  
 Projection: Transverse\_Mercator  
 linear Unit: Meter

Anexo 2 Geología Estructural de la zona costera de los municipios de Moñitos- Puerto Escondido- Los Córdoba en el departamento de Córdoba- Colombia

### GEMORFOLOGIA DE LA ZONA COSTERA PUNTA REY- PUNTA RADA DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA- COLOMBIA



Leyenda		Geomorfología	
		Unidad_geo, Simb_unida	
	linea_costa		Acantilados, Ma
	Sitios de Interes		Estructura dómica, Sdd
	Casco_Urbano		Llanura costera, Mlc
Nombre			Lomerio denudado, Dld
			Plano o llanura con vegetacion halófica, Mpv
			Plano o llanura de Inundación, Fpi
			Playa, Mpl
			Terraza Marina, Mtm

**UNIVERSIDAD EAFIT**  
 PROYECTO DE GRDO  
 Vanessa Meza  
 Marco Pastrana

Project Coordinate System : WGS\_1984\_UTM\_Zone\_18N  
 Projection: Transverse\_Mercator  
 linear Unit: Meter

Anexo 3 Geomorfología de la zona costera del tramo Punta Rey- Punta Rada en el departamento de Córdoba- Colombia



**TABLA DE RESULTADOS ESTADISTICOS OBTENIDOS POR EL DSAS**

TransectId	TCD	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS	LRR	LSE	Distancia (km)
1	0	21.62	0.928	329.62	329.62	13.88	17.75	52.17	0
2	300	6.29	0.928	95.95	95.95	2.13	5	21.87	0.3
3	600	7.18	0.928	121.42	109.41	8.04	7.27	15.21	0.6
4	900	10.69	0.928	165.47	163.03	9.68	11.09	16.02	0.9
5	1200	13.21	0.928	201.41	201.41	11.52	12.86	22.65	1.2
6	1500	10.84	0.928	166.37	165.19	11.23	11.1	16.24	1.5
7	1800	10.07	0.928	153.79	153.46	11.68	11.77	20.43	1.8
8	2100	5.13	0.928	80.26	78.21	3.98	4.83	11.1	2.1
9	2400	4.5	0.928	68.56	68.56	2.06	3.72	14.57	2.4
10	2700	4.93	0.928	75.19	75.19	4.66	4.88	6.57	2.7
11	3000	3.2	0.928	48.73	48.73	3.46	3.28	3.95	3
12	3300	4.32	0.928	65.83	65.83	5.6	4.74	7.81	3.3
13	3600	3.48	0.928	53.03	53.03	3.48	3.84	6.29	3.6
14	3900	1.33	0.928	22.26	20.21	2.24	1.72	4.14	3.9
15	4200	-0.66	0.928	57.82	-10	4.04	0.82	28.06	4.2
16	4500	1.04	0.928	44.98	15.89	4.29	2.15	16.35	4.5
17	4800	1.44	0.928	28.35	22.01	3.09	2.08	7.18	4.8
18	5100	1.26	0.928	25.04	19.23	2.49	1.78	5.81	5.1
19	5400	1.09	0.928	32.05	16.59	3.46	1.94	10.56	5.4
20	5700	-0.02	0.928	25.07	-0.34	1.32	1.03	9.44	5.7
21	6000	0.72	0.928	15.81	10.92	1.32	0.86	4.01	6
22	6300	2.65	0.928	40.46	40.46	1.04	1.79	8	6.3
23	6600	1.4	0.928	35.06	21.32	0.21	1.17	13.54	6.6
24	6900	1.13	0.928	28.74	17.15	2.06	1.2	8.24	6.9
25	7200	-0.08	0.928	15.31	-1.17	0.93	0.18	8.31	7.2
26	7500	0.75	0.928	17.36	11.47	1.11	0.74	7.04	7.5
27	7800	0.76	0.928	15.28	11.59	0.87	0.57	6.54	7.8
28	8100	0.27	0.928	9.13	4.11	1	0.54	3.3	8.1
29	8400	1.39	0.928	23.28	21.21	0.37	0.81	7.4	8.4
30	8700	0.39	0.928	17.8	5.87	0.35	-0.26	7.74	8.7
31	9000	0.08	0.928	5.64	1.2	0.07	0.16	2.02	9
32	9300	-0.66	0.928	12.18	-10.04	0.25	-0.29	4.75	9.3
33	9600	-1.09	0.928	25.48	-16.57	0.97	-0.33	10.16	9.6
34	9900	1.64	0.928	36.27	25.06	3.1	2.12	10.89	9.9
35	10200	2.16	0.928	37.1	32.94	2.16	2.35	7.77	10.2
36	10500	1.49	0.928	41.52	22.66	1.08	1.86	8.83	10.5
37	10800	1.39	0.928	40.48	21.16	0.09	1.21	16.45	10.8

ACTUALIZACION LÍNEA DE COSTA PUNTA REY - LA RADA  
V. Meza Palencia y M. A. Pastrana Pretelt, 2020

38	11100	2.1	0.928	31.97	31.97	0.94	1.31	6.82	11.1
39	11400	0.75	0.928	24.97	11.38	0.9	1.03	11.76	11.4
40	11700	1.68	0.928	25.62	25.62	1.59	1.45	5.32	11.7
41	12000	0.07	0.928	27.21	1.07	2.92	1.11	13.32	12
42	12300	2.64	0.928	40.25	40.25	2.36	2.15	7.63	12.3
43	12600	1.97	0.928	34.46	30.01	2.46	1.96	12.83	12.6
44	12900	2	0.928	37.85	30.52	0.14	1.22	12.52	12.9
45	13200	-0.26	0.928	10.5	-4.03	0.45	-0.04	3.83	13.2
46	13500	-0.28	0.928	37.74	-4.21	0.07	0.53	14.47	13.5
47	13800	0.64	0.928	43.01	9.73	-0.58	0.9	17.98	13.8
48	14100	-0.25	0.928	38.87	-3.78	-0.23	0.9	15.85	14.1
49	14400	0.31	0.928	32.2	4.7	0.87	-0.11	14.09	14.4
50	14700	0.36	0.928	27.39	5.49	2.61	1.12	11.6	14.7
51	15000	0.49	0.928	30.72	7.5	2.92	1.44	11.65	15
52	15300	-0.05	0.928	16.83	-0.71	1.8	0.61	8.41	15.3
53	15600	-0.42	0.928	35.68	-6.41	-0.38	0.79	14.93	15.6
54	15900	0.63	0.928	10.52	9.55	0.7	0.57	3.57	15.9
55	16200	1.64	0.928	25.34	24.97	1.8	1.43	7.47	16.2
56	16500	-0.61	0.928	43.93	-9.24	2.58	1.25	17.23	16.5
57	16800	0.63	0.928	10.61	9.55	0.72	0.82	2.3	16.8
58	17100	-1.63	0.928	27.31	-24.8	0.28	-0.71	10	17.1
59	17400	0.69	0.928	87.95	10.57	0.62	2.28	32.65	17.4
60	17700	0.3	0.928	15.25	4.56	1.49	0.72	6.01	17.7
61	18000	1.18	0.928	18.01	18.01	0.34	0.91	4.57	18
62	18300	0.7	0.928	36.31	10.73	1.95	1.16	14.13	18.3
63	18600	0.38	0.928	43.25	5.84	0.46	0.57	19.74	18.6
64	18900	1.44	0.928	39.71	21.97	1.73	1.29	17.75	18.9
65	19200	1.13	0.928	20.17	17.18	1.2	1.05	6.45	19.2
66	19500	1.19	0.928	18.19	18.19	1.32	1.1	4.22	19.5
67	19800	-0.66	0.928	19.6	-10.1	0.72	-0.16	7.04	19.8
68	20100	-2.91	0.928	44.38	-44.38	-2.37	-1.57	12.42	20.1
69	20400	-2.89	0.928	44.09	-44.09	-2.59	-2.28	8.74	20.4
70	20700	0.68	0.928	10.33	10.33	0.53	0.66	1.25	20.7
71	21000	0.81	0.928	19.86	12.34	0.7	-0.03	9.52	21
72	21300	-1.23	0.928	27.01	-18.69	-1.66	-1.67	6.83	21.3
73	21600	-2.09	0.928	92.81	-31.9	7.01	1.43	42.27	21.6
74	21900	-0.41	0.928	24.38	-6.18	1.67	0.36	9.97	21.9
75	22200	0.48	0.928	13.31	7.35	0.49	0.63	3.54	22.2
76	22500	0.61	0.928	30.17	9.35	0.87	1.4	8.72	22.5
77	22800	-0.52	0.928	57.24	-7.88	-0.87	0.64	22.27	22.8
78	23100	1.35	0.928	44.42	20.63	1.88	1.28	15.04	23.1

ACTUALIZACION LÍNEA DE COSTA PUNTA REY - LA RADA  
V. Meza Palencia y M. A. Pastrana Pretelt, 2020

79	23400	0.17	0.928	27.29	2.56	-0.02	0.31	12.02	23.4
80	23700	-1.48	0.928	43.93	-22.52	0.96	-0.27	15.79	23.7
81	24000	0.07	0.928	8.64	1.06	0.21	-0.04	3.59	24
82	24300	-2.06	0.928	37.31	-31.38	-1.33	-1.77	11.01	24.3
83	24600	0.27	0.928	39.71	4.07	0.62	1.48	13.34	24.6
84	24900	0.87	0.928	65.95	13.25	0.04	1.61	22.42	24.9
85	25200	0.03	0.928	24.2	0.41	0.05	-0.24	10.45	25.2
86	25500	1	0.928	23.16	15.27	0.16	0.71	6.82	25.5
87	25800	-0.45	0.928	29.49	-6.88	2.06	0.68	11.61	25.8
88	26100	1.35	0.928	36.13	20.51	1.42	1.91	6.87	26.1
89	26400	1.74	0.928	26.83	26.49	2.06	1.65	7.85	26.4
90	26700	0.15	0.928	29.3	2.34	0.21	0.91	10.16	26.7
91	27000	0.68	0.928	30.99	10.31	0.81	0.97	14.55	27
92	27300	1.73	0.928	49.71	26.4	0.27	1.58	19.97	27.3
93	27600	-3.45	0.928	68.04	-52.56	1.72	-1.51	26	27.6
94	27900	0.32	0.928	28.67	4.89	1.81	0.55	14.31	27.9
95	28200	-0.18	0.928	38.34	-2.67	2.24	0.36	16.09	28.2
96	28500	3.16	0.928	60.34	48.21	0.14	2.19	20	28.5
97	28800	-0.49	0.928	16.79	-7.48	1.03	0.04	7.22	28.8
98	29100	-1.16	0.928	39.08	-17.62	-0.23	-0.77	14.26	29.1
99	29400	-0.43	0.928	33.93	-6.51	1.38	0.03	16.59	29.4
100	29700	0.8	0.928	56.55	12.13	3.06	1.88	17.05	29.7
101	30000	1.24	0.928	21.24	18.95	-0.18	0.8	7.52	30
102	30300	0.02	0.928	37.37	0.38	0.96	0.37	14.22	30.3
103	30600	-1.42	0.928	60.52	-21.61	-0.75	0.6	22.18	30.6
104	30900	1.5	0.928	23.49	22.86	0.81	1.27	4.88	30.9
105	31200	-0.02	0.928	18.58	-0.34	1.61	0.56	8.25	31.2
106	31500	0.74	0.928	26.03	11.34	0.53	1.15	8.56	31.5
107	31800	0.01	0.928	13.31	0.09	-0.51	-0.11	6.25	31.8
108	32100	-1.16	0.928	48.19	-17.75	1.73	-0.6	20.64	32.1
109	32400	-1.11	0.928	25.54	-16.98	-1.19	-1.4	6.97	32.4
110	32700	-1.15	0.928	37.56	-17.52	-0.94	0	14.88	32.7
111	33000	1.13	0.928	61.22	17.16	0.43	2.04	20.79	33
112	33300	-2.86	0.928	64.15	-43.57	1.67	-1.47	25.34	33.3
113	33600	-0.89	0.928	21.98	-13.57	0.96	-0.2	8.97	33.6
114	33900	-1.71	0.928	30.77	-26.09	-1.89	-1.58	10.33	33.9
115	34200	-0.54	0.928	28.05	-8.23	1.08	-0.07	13.28	34.2
116	34500	0.49	0.928	27.87	7.46	-1.32	-0.31	13.62	34.5
117	34800	0.28	0.928	40.76	4.22	0.19	1.22	16.39	34.8
118	35100	0.19	0.928	10.97	2.88	0.96	0.45	4.62	35.1
119	35400	0.4	0.928	24.57	6.15	0.25	0.9	8.74	35.4

ACTUALIZACION LÍNEA DE COSTA PUNTA REY - LA RADA  
V. Meza Palencia y M. A. Pastrana Pretelt, 2020

120	35700	-0.21	0.928	28.61	-3.25	-0.27	0.44	12.37	35.7
121	36000	0.69	0.928	33.54	10.49	-0.36	0.78	14.16	36
122	36300	-0.19	0.928	25.8	-2.87	-0.14	-0.68	8.8	36.3
123	36600	-0.35	0.928	5.3	-5.3	-0.18	-0.22	1.13	36.6
124	36900	0.65	0.928	9.88	9.88	0.11	0.47	2.71	36.9
125	37200	-0.92	0.928	21	-14.05	0.23	-0.57	7.57	37.2
126	37500	-1.1	0.928	21	-16.81	-0.46	-0.24	8.18	37.5
127	37800	0.64	0.928	31.84	9.81	1.53	1	9.9	37.8
128	38100	-0.12	0.928	27.34	-1.84	1.66	0.58	13.4	38.1
129	38400	-0.82	0.928	12.53	-12.53	-0.2	-0.47	3.5	38.4
130	38700	0.53	0.928	20.98	8.07	1.95	1.12	7.39	38.7
131	39000	-1.17	0.928	45	-17.82	-0.6	-1.4	13.14	39
132	39300	-0.71	0.928	39.35	-10.81	2.24	0.01	18.09	39.3
133	39600	0.23	0.928	32.07	3.54	-2.26	-0.93	11.7	39.6
134	39900	1.84	0.928	71.89	28.04	2.61	3.75	18.02	39.9
135	40200	1.26	0.928	86.05	19.21	0.4	2.57	29.53	40.2
136	40500	1.98	0.928	30.2	30.2	-0.35	1.17	10.78	40.5
137	40800	-0.7	0.928	54.07	-10.62	-0.93	0.58	21.96	40.8
138	41100	1.3	0.928	22.18	19.8	0.11	0.93	6.8	41.1
139	41400	0.61	0.928	9.24	9.24	0.55	0.29	4.05	41.4
140	41700	0.6	0.928	40.11	9.12	2.49	1.55	11.59	41.7
141	42000	0.91	0.928	66.04	13.87	0.9	2.38	21.42	42
142	42300	1.21	0.928	63.53	18.48	3.46	2.45	18.44	42.3
143	42600	-0.97	0.928	39.01	-14.8	1.15	0.13	13.92	42.6
144	42900	-0.58	0.928	11.74	-8.87	-0.62	-0.51	3.84	42.9
145	43200	-0.82	0.928	24.57	-12.44	1.15	0.22	10.32	43.2
146	43500	1.36	0.928	44.27	20.73	2.36	1.74	10.78	43.5
147	43800	0.27	0.928	28.59	4.09	1.03	0.46	12.16	43.8
148	44100	3.72	0.928	73.09	56.69	5.19	4.27	12.24	44.1
149	44400	4.39	0.928	67.43	66.85	4.66	3.94	16.34	44.4
150	44700	0.53	0.928	25.53	8.02	0.51	0.87	7.08	44.7
151	45000	0.23	0.928	16.08	3.52	1.33	0.47	8.32	45
152	45300	1.4	0.928	32.58	21.31	-0.58	0.76	10.61	45.3
153	45600	-1.95	0.928	31.67	-29.68	-1.74	-0.34	17.56	45.6
154	45900	3.18	0.928	48.53	48.53	1.38	2.44	10.17	45.9
155	46200	0.76	0.928	39.7	11.64	0.87	1.64	12.14	46.2
156	46500	1.92	0.928	33.51	29.2	2.61	2.57	7.04	46.5
157	46800	1.58	0.928	48.63	24.04	3.51	2.66	9.78	46.8
158	47100	-1.41	0.928	53.44	-21.56	-0.6	0.37	20.76	47.1
159	47400	0.92	0.928	52.32	14.04	1.23	2.27	15.29	47.4
160	47700	4.62	0.928	74.74	70.4	1.48	3.69	16.84	47.7

ACTUALIZACION LÍNEA DE COSTA PUNTA REY - LA RADA  
V. Meza Palencia y M. A. Pastrana Pretelt, 2020

161	48000	5.31	0.928	81.55	80.89	5.67	5.49	3.72	48
162	48300	0.7	0.928	23.79	10.74	1.95	1.35	6.32	48.3
163	48600	2.75	0.928	64.03	41.93	3.25	3.63	9.5	48.6
164	48900	2.45	0.928	37.35	37.35	2.46	2.57	2.03	48.9
165	49200	3.21	0.928	48.92	48.92	1.87	2.69	7.56	49.2
166	49500	0.75	0.928	15.76	11.47	1.07	0.9	4.08	49.5
167	49800	3.17	0.928	67.21	48.38	4.37	3.77	15.31	49.8
168	50100	2.47	0.928	69.78	37.68	2.73	2.26	22.14	50.1
169	50400	1.01	0.928	36.32	15.41	0.84	0.16	14.04	50.4
170	50700	0.8	0.928	23.14	12.13	0.94	0.55	8.95	50.7
171	51000	0.29	0.928	4.38	4.38	0.27	0.24	0.68	51
172	51300	0.59	0.928	9.79	9.07	-0.02	0.4	3.17	51.3
173	51600	2.02	0.928	30.73	30.73	1.23	0.92	10.1	51.6
174	51900	1.47	0.928	69.77	22.35	4.69	2.97	19.56	51.9
175	52200	2.32	0.928	54.23	35.35	3.7	2.96	7.94	52.2
176	52500	1.52	0.928	24.38	23.12	-0.23	0.91	8.49	52.5
177	52800	-1.24	0.928	38.78	-18.83	0.93	-0.22	15.59	52.8
178	53100	0.58	0.928	28.25	8.82	-2.15	-0.42	12.86	53.1
179	53400	4.21	0.928	113.44	64.23	6.34	4.84	24.92	53.4
180	53700	-1.91	0.928	34.96	-29.06	-1.73	-0.51	17.32	53.7
181	54000	0.73	0.928	18.43	11.16	1.08	0.95	6.57	54
182	54300	0.51	0.928	45.66	7.7	0.73	1.58	14.02	54.3
183	54600	0.2	0.928	20.15	3.08	1.19	0.63	6.4	54.6
184	54900	-0.43	0.928	22.88	-6.56	0.96	0.08	9.05	54.9
185	55200	0	0.928	26.14	0	2.46	0.84	13.06	55.2
186	55500	2.06	0.928	39.34	31.37	1.97	2.25	7.91	55.5
187	55800	1.06	0.928	19.61	16.12	1.07	1.35	3.69	55.8
188	56100	-0.41	0.928	6.32	-6.32	-0.38	-0.11	3.35	56.1
189	56400	-0.07	0.928	1.09	-1.09	0	-0.04	0.38	56.4
190	56700	-0.18	0.928	2.7	-2.7	0	-0.12	0.91	56.7
191	57000	0.19	0.928	4.41	2.87	0.18	0.22	1.11	57
192	57300	1.11	0.928	17.49	16.95	1.24	1.05	5.99	57.3
193	57600	0.39	0.928	5.89	5.89	0.4	0.34	1.41	57.6
194	57900	2.04	0.928	31.13	31.13	1.73	1.59	5.65	57.9
195	58200	1.49	0.928	23.9	22.69	1.59	1.36	5.53	58.2
196	58500	-0.01	0.928	7.38	-0.17	0.6	0.15	4.23	58.5
197	58800	-0.4	0.928	12.13	-6.03	0.49	-0.14	5.35	58.8
198	59100	0.59	0.928	11.38	9.02	0.75	0.64	4.36	59.1
199	59400	1.01	0.928	15.43	15.43	1.23	0.94	5.59	59.4
200	59700	0.95	0.928	14.85	14.48	1.03	0.81	5.79	59.7
201	60000	0.57	0.928	8.65	8.64	0	0.37	2.72	60

ACTUALIZACION LÍNEA DE COSTA PUNTA REY - LA RADA  
V. Meza Palencia y M. A. Pastrana Pretelt, 2020

202	60300	0.07	0.928	11.57	1.09	0.94	0.3	6.22	60.3
203	60600	0.5	0.928	8.15	7.63	0.49	0.31	4.32	60.6
204	60900	-1.53	0.928	30.4	-23.38	-1.11	-0.4	14.69	60.9
205	61200	-1.36	0.928	26.07	-20.74	-1.72	-0.77	11.18	61.2
206	61500	-1.76	0.928	29.78	-26.83	-1.88	-2.06	5.34	61.5
207	61800	-0.79	0.928	12.04	-12.04	-0.97	-0.8	3.51	61.8
208	62100	2.8	0.928	42.7	42.7	1.67	2.17	8.23	62.1
209	62400	2.18	0.928	56.12	33.26	0.93	2.22	14.02	62.4
210	62700	0.01	0.928	38.76	0.12	1.49	0.46	18.21	62.7
211	63000	1.29	0.928	39.36	19.7	2.06	0.84	17.82	63
212	63300	-0.61	0.928	71.05	-9.26	-4.41	-0.97	30.36	63.3
213	63600	1.8	0.928	47.25	27.46	-1.23	0.98	17.19	63.6
214	63900	3.38	0.928	53.83	51.46	3.06	2.78	14.37	63.9
215	64200	3.05	0.928	49.95	46.43	3.46	3.06	11.85	64.2
216	64500	1.89	0.928	55.76	28.8	1.97	2.63	10.88	64.5
217	64800	4.01	0.928	114.17	61.18	3.7	5.05	22.49	64.8
218	65100	3.93	0.928	87.36	59.88	3.73	4.76	21.66	65.1
219	65400	4.51	0.928	86.49	68.82	4.75	3.93	35	65.4
220	65700	1.57	0.928	41.31	23.99	1.03	1.93	11.03	65.7
221	66000	0.55	0.928	22.67	8.33	0.9	0.86	9.73	66
222	66300	0.78	0.928	33.64	11.86	0.12	0.8	13.19	66.3