



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**CARACTERIZACIÓN MORFODINÁMICA EN
ÉPOCA SECA DE LAS SECCIONES SUBMAREAL
Y SUBAÉREA, DE LA PLAYA LA MARTINA
(TURBO, ANTIOQUIA).**

Autor(es)

Daniela Cifuentes Torres

Javier Alexander Campo Julio

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Turbo, Colombia

2021



Caracterización morfodinámica en época seca de las secciones submareal y subaérea, de la playa
La Martina. (Turbo, Antioquia)

Daniela Cifuentes Torres
Javier Alexander Campo Julio

Informe de trabajo de grado
como requisito para optar al título de:
Ingenieros Oceanográficos.

Asesores (a)

Alba Cecilia Bustamante Caro
MSc. Geomorfología-suelos

Carlos Eduardo Gutiérrez Mosquera
Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.
Turbo, Colombia
2021.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A mi madre Maritza Epifania Julio Gonzales, por todo el apoyo y esfuerzo brindado durante toda la carrera.

A Kendo, Puca, Nasha, Sombra y Lua por su compañía incondicional en todos los momentos.

Javier A. Campo Julio

Dedico este logro a Dios por permitirme culminar esta etapa y a mis padres, en especial a mi madre Diana Patricia Torres Tamayo, por ser mi motor y mi ancla en este camino, por motivarme a seguir y no desfallecer a pesar de las circunstancias, gracias mami por creer en mí siempre y estar a mi lado.

Esto es por ti y para ti, ¡lo logramos!

Daniela Cifuentes Torres

AGRADECIMIENTOS.

A nuestros asesores de trabajo de grado, los profesores Alba Cecilia Bustamante y Carlos Eduardo Gutiérrez, por el acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

Al Centro Ecoturístico Simona del Mar, por apoyarnos y brindarnos la confianza para el desarrollo de los estudios plasmados en este documento.

A nuestros compañeros, por el apoyo en campo durante el monitoreo y en especial a el ingeniero Ferney Orejuela por su disposición y tiempo en asesorías para el procesamiento de datos.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Playas	16
3.1.1. Oleaje	17
3.1.2. Zona de Asomeramiento.....	18
3.1.3. Zona de Rompiente.....	18
3.1.4. Rotura del Oleaje:.....	20
3.2. Sedimento.....	21
3.3. Transporte de sedimento.	22
3.3.1. Transporte eólico litoral.....	23
3.3.2. Transporte Hidráulico	23
3.3.2.1. Transporte transversal.	23
3.3.2.2. Transporte longitudinal:	24
3.4. Perfil de playa.....	24
3.4.1. Perfil disipativo	26
3.4.2. Perfil reflejante	27
3.5. Perfil de equilibrio	28
3.6. Vientos	29
3.7. Corrientes	29
3.8. Mareas	31
4. METODOLOGÍA	32
4.1. ZONA DE ESTUDIO.....	32
4.2. MÉTODOS.....	33
4.2.1. Perfiles de playa.....	33
4.2.2. Medición de Corrientes.....	35
4.2.3. Variación de la línea de costa en época seca.....	36

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	39
5.1. Parámetros Dinámicos.	39
5.2. Variación de la Línea de Costa (Erosión- Acreción) mediante Ortofotos.	44
5.3. Perfiles de Playa	48
6. CONCLUSIONES	54
7. RECOMENDACIONES	56
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
9. ANEXOS.....	63



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características de las olas (Modificado de MASMAR portal náutico)	18
Figura 2. Características de las olas en la zona de rompiente	19
Figura 3. Esquema de la cercanía del borde costero en la zona de rompiente	19
Figura 4. Esquema de clasificación de sedimentos Udden-Wentworth y Krumbein (ϕ)..	22
Figura 5. Transporte de sedimentos, aporte (flechas negras) y sumidero de sedimentos (flechas blancas).	24
Figura 6. Zonación y elementos del perfil de playa.....	26
Figura 7. Perfil disipativo.....	27
Figura 8. Perfil Reflejante.	27
Figura 9. esquema de formación de corrientes de resaca.	30
Figura 10. Esquema de corriente paralela a la costa y deriva litoral.	30
Figura 11. Distribución de las fases de marea.	31
Figura 12. Área de estudio	32
Figura 13. Ubicación de puntos de muestreo (mojones) y puntos de medición de corriente con derivadores	33
Figura 14. Distribución de los perfiles topo-batimétricos.....	35
Figura 15. Ubicación puntos de control, Zona de estudio.....	37
Figura 16. Ubicación transectos y subzonas para la variación de la línea de costa en época seca.....	38
Figura 17. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de enero del 2020.....	40
Figura 18. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de febrero del 2020	41
Figura 19. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de marzo del 2020.....	42
Figura 20. Comparación de dirección y trayectoria de corrientes superficiales obtenidas a partir del derivador en enero, febrero y marzo	43
Figura 21. Variación de la línea de costa entre el mes de diciembre del 2019 y enero de 2020.....	45
Figura 22. Variación de la línea de costa entre el mes de enero y febrero de 2020.	46
Figura 23 . Variación de la línea de costa entre el mes de febrero y marzo de 2020.	47
Figura 24. Comparación general de la variación de la línea de costa en la época seca mes a mes entre los meses de: diciembre - enero; enero – febrero y febrero – marzo	48

Figura 25. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Norte..... 50

Figura 26. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Simona..... 51

Figura 27. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Sur..... 53



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Rompientes.	20
Tabla 2. Esquema de los principales tipos de playa.....	21
Tabla 3. Azimut y coordenadas geográficas de cada mojón.	34
Tabla 4. Información y nomenclatura de las corrientes superficiales de los meses de enero, febrero y marzo.....	44
Tabla 5. Cálculo promedio de las pendientes de playa para cada perfil.	49

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Planes de vuelos sentido sur-norte correspondientes a los meses de diciembre del 2019 y enero, febrero y marzo del año 2020	63
Anexo 2. Información de los valores netos de erosión y acreción en la zona de estudio para los meses de diciembre del 2019, enero, febrero y marzo del 2020.	65

LISTA DE ACRÓNIMOS

ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

SIG: Sistema de Información Geográfica

CNE: Corrientes Norte Enero

CNSIME: Corrientes Norte Simona del Mar Enero

CSE: Corrientes Sur Enero

CNF: Corrientes Norte Febrero

CNSIMF: Corrientes Norte Simona del Mar Febrero

CSF: Corrientes Sur Febrero

CNM: Corrientes Norte Marzo

CNSIMM: Corrientes Norte Simona del Mar Marzo

CSM: Corrientes Sur Marzo

SZ#: Sub Zona (número de la zona)



RESUMEN

Se hizo una caracterización morfodinámica de la playa la Martina; (Turbo. Antioquia), entre el Rio Cope y Punta Caimán, mediante 4 campañas de monitoreo que abarcaron la época seca (diciembre del 2019 a marzo del 2020).

El monitoreo incluyó perfiles de playa mediante topo-batimetría (8 perfiles), estimación de la velocidad y dirección de las corrientes mediante derivadores (parte norte, central y sur) y variación de la línea de costa mediante fotografías aéreas con vuelos de dron (vuelos mensuales de enero a marzo).

Los análisis de los resultados evidenciaron:

- Cambios morfológicos en las zonas subaérea y submareal de la playa que se pueden asociar al llamado perfil de invierno para las playas de zona templada;
- Patrones de circulación de corrientes superficiales en la zona norte y Simona que presentaron direcciones variables a lo largo de la época, a diferencia de la zona sur donde las direcciones de las corrientes fueron similares a la dirección del viento (norte – sur).
- Aumento gradual del retroceso de línea de costa entre los meses de diciembre y febrero, siendo mayor el retroceso en las zonas norte y sur, al contrario del mes de marzo, donde predominó la progradación de la línea de costa en todo el transecto de playa.

Palabras claves: Época seca, línea de costa, erosión, acreción, corrientes.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia posee fronteras marinas con el Océano Pacífico y con el mar Caribe, siendo el cuarto país de Suramérica con mayor superficie costera (Otero, *et al.*, 2002). La costa pacífica colombiana con una longitud cercana a los 1300 kilómetros y forma parte de la ecoregión marina del Pacífico Tropical Oriental (Spalding *et al.*, 2007; Steer *et al.*, 1997). La costa caribe colombiana tiene una longitud aproximada de 1600 kilómetros forma parte de la ecoregión marina del Atlántico Tropical con las subregiones “Caribe sur” y “Caribe Suroccidental”, limitando al occidente con Panamá y al este con Venezuela (B. Posada & Rozo, 2014; Spalding *et al.*, 2007).

Al sur de la costa caribe colombiana se encuentra el litoral Antioqueño, con una longitud promedio de 567 Km, tiene 500 km en el Golfo de Urabá y 67 km en costa abierta (Correa & Vernet, 2004). Presenta clima tropical semi húmedo con dos periodos climáticos: una época seca (verano) fuertemente ligada a la incidencia de los vientos Alisios provenientes del NE, de finales de diciembre a principios de abril y una época húmeda (invierno) de mayo a noviembre con precipitaciones promedio en algunos sectores de 300 mm/año (Paniagua, 2013; Posada P & Henao, 2008; Thomas *et al.*, 2007)

Los procesos oceanográficos del litoral antioqueño están asociados principalmente a mareas y oleaje, con mareas semi diurnas mixtas con variaciones entre 0.9 m y 0.5 m y un promedio de oscilaciones de oleaje entre 0.3 m y 0.6 m. (Paniagua, 2013; Thomas *et al.*, 2007)

En las últimas 6 décadas, el litoral Caribe y la franja litoral Antioqueña han tenido fuertes eventos erosivos y han sido objeto de varias investigaciones que abordan los procesos de erosión y acreción costera (Aristizabal *et al.*, 1990; Bedoya *et al.*, 2006; Caicedo *et al.*, 2017; Correa & Vernet, 2004; Doria & Orrego, 2012; Franco & Gomez, 1996; Gonzáles &

Guarín, 2003; Gonzales, 1992; Mazorra, 2004; Paniagua, 2013; Posada, 2002; Posada P & Henao, 2008).

Para los procesos erosivos se registran retrocesos en la línea de costa de 50 a 100 metros en los últimos 40 años, siendo mayor el retroceso en los tramos comprendidos entre, Zapata, Damaquiel, Necoclí, Arboletes y la zona norte de Arboletes con valores entre 7 m y 40 m por año. Los valores más bajos se obtuvieron entre las playas La Martina y cercanía a Punta Caimán con valores entre los 0.6 m y 4.5 m por año (Paniagua, 2013; Thomas *et al.*, 2007).

La franja de playa conocida como “La Martina” ubicada al norte del casco urbano del municipio de Turbo, es importante en la región por ser una de las pocas playas cercanas al eje bananero y por su potencial turístico, pero la línea de costa ha tenido retrocesos significativos por procesos erosivos. Dado que el turismo es la principal fuente de ingresos de los residentes del sector, estos han construido espolones con troncos de madera sin los estudios técnicos adecuados para tratar de proteger la playa, alterando la dinámica de los sedimentos y aumentando el retroceso de la costa y pérdida de playa hacia el sector sur de la franja de playa.

De acuerdo con lo anterior, este trabajo pretende analizar la variación de la línea de costa y clasificar morfológica y dinámicamente de esta playa durante la época seca, para el sector de playa entre el Río Cope y Punta Caimán.

Por medio de la información obtenida mediante perfiles de playa, estimación de corrientes superficiales y seguimiento con fotografías aéreas, se pretende comenzar una base de datos que permita a futuro monitorear la morfodinámica de la playa y para poder proponer obras de protección adecuadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Clasificar morfológica y dinámicamente la playa La Martina en época seca.

2.2. Objetivos específicos

- Establecer una metodología para el monitoreo de los parámetros morfológicos y dinámicos de la playa La Martina.
- Determinar el transporte de sedimentos y las velocidades de corrientes superficiales mediante el uso de derivadores.
- Analizar la variación de la línea de costa en época seca mediante restitución aerofotogramétrica.
- Determinar las zonas de erosión y/o acreción de la playa en época seca a partir del análisis de perfiles de playa.

3. MARCO TEÓRICO

En la zona costera ocurre un conjunto complejo de interacciones y procesos físicos, químicos, y antrópicos. Se puede decir que la costa es, probablemente, el ambiente más diverso y dinámico que se encuentra sobre la faz de la tierra (C.I.O.H, 2020), se define como una zona de transición entre el continente y el medio marino, caracterizada por presentar una morfología variable asociada a la distribución de sedimentos y a la ocurrencia de una serie de procesos relacionados con el oleaje, el viento, las mareas, las corrientes litorales y la influencia del continente (Merlotto & Bértola, 2009; Sorensen & McCreary., 1990).

La línea de costa es la zona de confluencia entre el mar y la tierra seca, varía ampliamente como consecuencia de la erosión (retroceso) o acreción (avance), cambios en el nivel del mar y levantamientos o subsidencia del terreno. (Navarrete-Ramirez, 2014; Posada P & Henao, 2008).

La erosión es un proceso de remoción de sedimentos con respecto al aporte, en un área y en un período determinado, reflejándose en el retroceso de la línea de costa y la pérdida de playa (Kokot, 2004; Navarrete-Ramirez, 2014; Posada P & Henao, 2008).

Se debe diferenciar entre los cambios en la playa producidos por la erosión costera y los cambios cíclicos de la playa, debidos a la acción del oleaje en las épocas húmeda y seca; estos últimos, son configuraciones de estabilidad de la playa en respuesta a eventos de mayor y menor energía que tienen una recurrencia temporal, ya sea mes a mes o año a año, en las zonas templadas estas configuraciones de la playa se conocen como perfil de invierno y perfil de verano, para la situación de las playas del Caribe Colombiano, situadas en la franja tropical, donde no hay estaciones, estas configuraciones se presentan debido a la variación de energía del oleaje, de las corrientes y del viento, asociadas a los cambios entre las épocas seca y húmeda.

Para las zonas templadas el perfil de invierno de la playa, se caracteriza por presentar una franja de menor amplitud de zona seca como consecuencia del intenso oleaje y del

incremento del nivel del mar debido a las tormentas, este aumento de la energía del oleaje favorece la erosión de la parte más alta de la playa depositando sedimentos en la zona submareal, El perfil de verano se asocia a la época de verano cuando las condiciones hidrodinámicas de la playa han cambiado: las corrientes disminuyen intensidad y el oleaje tienen menor energía, los sedimentos son transportados de nuevo a la parte subárea con una ganancia de área en la playa (Ibarra Marinas & Belmonte Serrato, 2017; Zujar, 2000).

A la acumulación de sedimentos por acción de las olas, corrientes y el viento, se le conoce como acreción se da principalmente en costas bajas y resulta en desarrollo y crecimiento de playas y otras formas de acumulación costera (Carter, 1998; Eurosion., 2004).

Cuando se estudia la línea de costa es importante aclarar algunos términos, como: playa, perfil de playa, perfil de equilibrio, sedimento, transporte de sedimento, vientos, corrientes y mareas, a continuación, se aclaran estos conceptos.

3.1. Playas

Se entienden como la acumulación de sedimento no consolidado (arena, grava o canto rodado), limitadas hacia el continente por la línea de alcance máximo del oleaje y hacia el mar hasta una profundidad donde cesa la resuspensión de arenas. (G.I.O.C, 2000)

Los procesos que condicionan la forma y la dinámica de las playas tienen una estrecha relación con una amplia variedad de factores como el oleaje, la marea, los vientos y las corrientes, tamaño del sedimento y la disponibilidad del mismo, así como la forma de la playa (perfil topobatimétrico) tanto en la zona descubierta de agua como en la zona cubierta de agua (E. Bird, 2003; Short, 1999).

Para efectos de estudios las playas se clasifican, a partir de la distribución del sedimento, el nivel de energía, la dinámica de la zona de rompientes, las geoformas presentes y su interacción con la hidrodinámica como disipativas, reflectivas e intermedias (Benavente ,*et al.*, 2002; Bluck, 1967).

Antes de definir las características de las playas disipativas, reflectivas e intermedias se definen algunas de las características hidrodinámicas:

3.1.1. Oleaje

El oleaje es el resultado de la fricción del viento sobre la superficie del océano, lo que origina una transferencia de energía que se desplaza a lo largo de la interfase entre el océano y la atmósfera, El desarrollo de las olas se debe a tres factores:

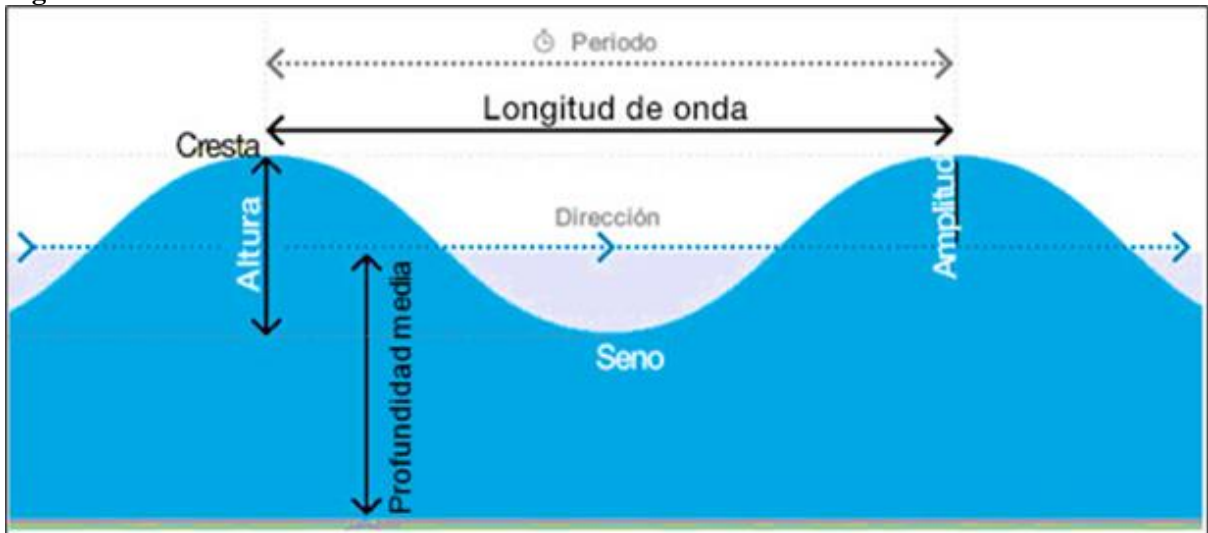
- (1) la velocidad del viento;
- (2) el tiempo durante el cual el viento ha soplado, y
- (3) el fetch, o distancia sobre la que ha soplado.

A medida que aumenta la cantidad de energía transferida desde el viento al agua, aumenta también la altura y la pendiente de las olas (Tarbuck ,*et al.*, 2005)

Las olas tienen unas características claramente definidas las cuales son (Figura 1):

- **Cresta:** es el punto más alto de la ola.
- **Valle o seno:** es su punto más bajo.
- **La altura de ola (H):** es la distancia vertical entre la cresta y el valle.
- **Amplitud (A):** es el desplazamiento del agua a partir de su estado de reposo, esta corresponde siempre a la mitad de la altura de la ola.
- **Longitud de onda (L):** es la distancia horizontal entre crestas o valles sucesivos.
- **El periodo de ola (T):** es el tiempo que tarda una ola entera en pasar una posición fija, es decir, es el tiempo que transcurre desde que una cresta pasa por un punto fijo hasta que la próxima cresta pasa por este mismo punto.
- **Peralte del oleaje o pendiente (H/L):** Relación existente entre la altura de ola y su longitud de ola correspondiente y es un indicador de la forma de la ola.

Figura 1. Características de las olas



Fuente: Modificado de Masmar, Portal Náutico; 2013)

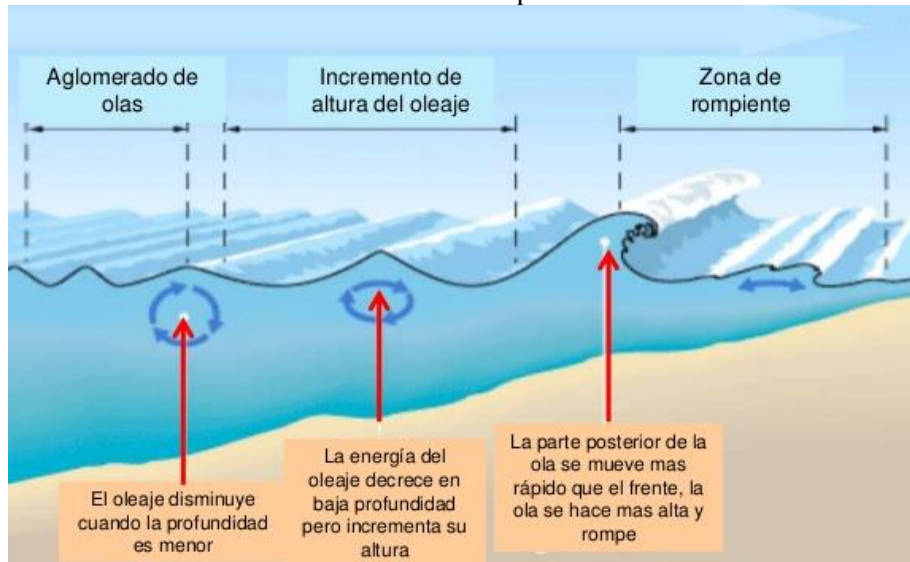
3.1.2. Zona de Asomeramiento.

Esta zona se caracteriza por presentar poca profundidad lo que genera una disminución en la velocidad de propagación de las olas, debido a la fricción con el fondo y un aumento en la altura de las mismas (Guerrero, 2017).

3.1.3. Zona de Rompiente

Cuando la ola está en zona de aguas profundas no se ve afectada por la profundidad, pero una vez se aproxima a la costa, el comportamiento de la ola cambia, debido a su interacción con el fondo, la parte inferior de la ola retrasa sus movimiento y la parte superior sigue avanzando hacia la costa, en este proceso la altura de la ola aumenta alcanzando una configuración inestable y cuando la ola es demasiado alta para mantenerse, el frente de la ola se desploma y rompe haciendo que el agua avance encima de la costa como se muestra en la Figura 2 (Tarbuck ,*et al.*, 2005).

Figura 2. Características de las olas en la zona de rompiente



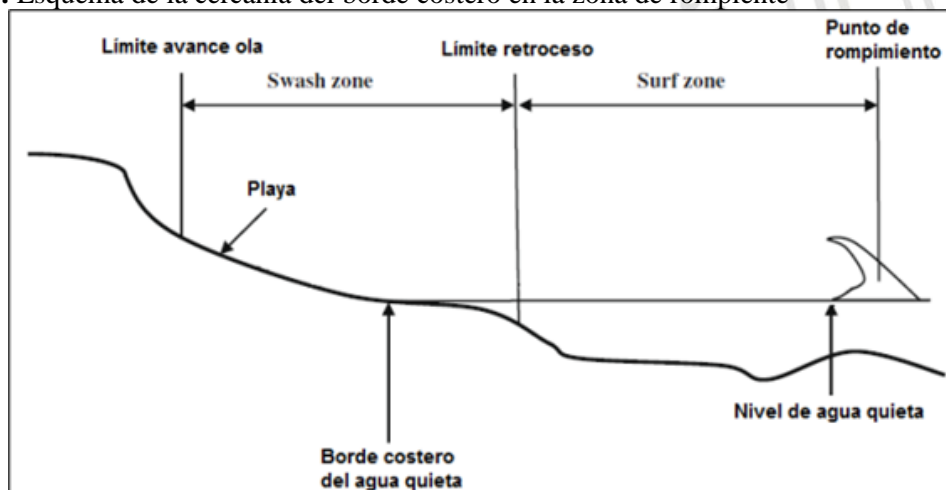
Fuente: (Cáceres, 2011)

Cuando la ola rompe se presenta los procesos de rompiente (surf) y batida (swash) (Figura 3)

Zona de rompiente (Surf zone): Es la zona intermedia que se extiende desde la zona de rompientes hasta la zona de lavado. En esta zona predomina la turbulencia después de que las olas rompen. Pueden existir corrientes longitudinales y transporte de sedimentos.

Zona de lavado (swash zone): Es la zona donde el frente de la playa es alternadamente cubierto y descubierto por el flujo de ascenso máximo del oleaje.

Figura 3. Esquema de la cercanía del borde costero en la zona de rompiente

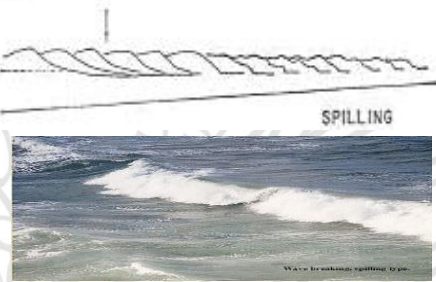
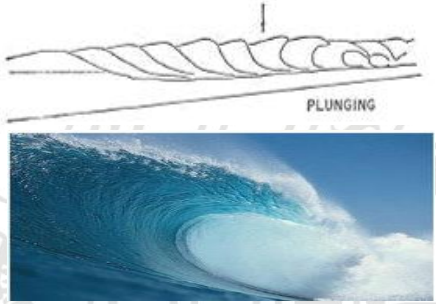
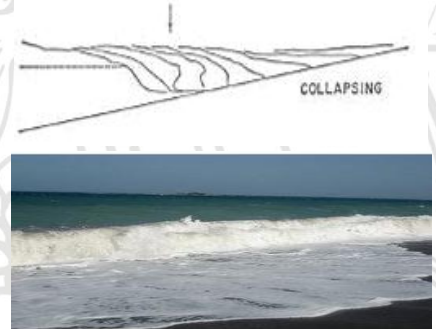
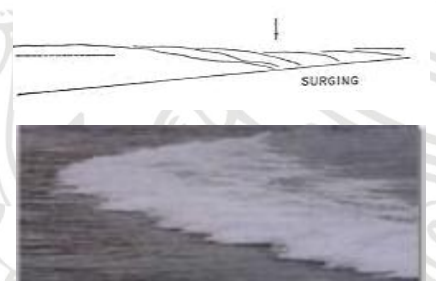


Fuente: (Bakhtyar, *et al.*, 2009)

3.1.4. Rotura del Oleaje:

Se distinguen cuatro tipos de rotura: spilling, plunging, collapsing y surging, (Tabla 1) dependiendo de la forma en que rompe la ola, y cada una de ellas puede asociarse a un tipo de playa y oleaje (HIDRONAV, 2014; Ibarra Marinas & Belmonte Serrato, 2017)

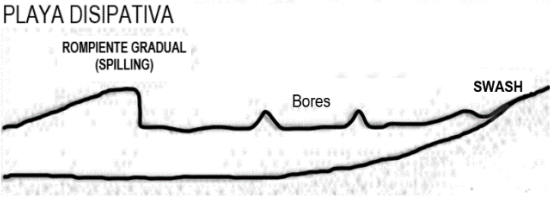
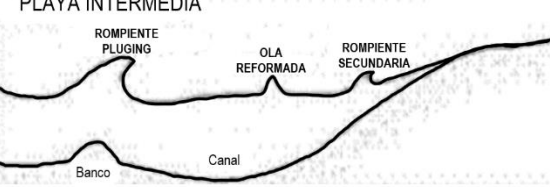
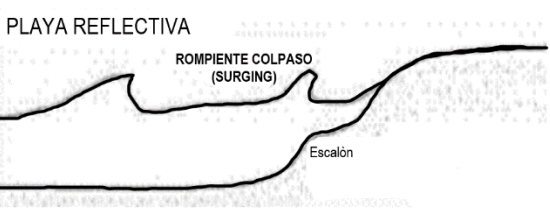
Tabla 1. Tipos de Rompientes.

Tipo de Rompiente	Descripción	
Rompiente en derrame o progresiva “spilling”:	Asociada a playas de baja pendiente y olas muy peraltadas, empiezan a producirse alejadas de la costa, las olas se van haciendo cada vez más agudas, provocando que la cresta sea inestable y empiece a romper produciendo gran cantidad de espuma y turbulencia.	 <p>The diagram illustrates a wave with a crest that is slightly curved and breaking forward. The photograph shows a real-world example of a spilling wave with white foam.</p>
Rompientes en voluta o en vuelco “plunging”:	Ocurre en playas relativamente inclinadas y con olas de peralte intermedio, la ola se va peraltado o hasta tener un frente vertical momento en el cual la cresta se curva hasta la base de la ola y rompe produciendo una liberación súbita de energía.	 <p>The diagram illustrates a wave with a crest that is curved and breaking over the top. The photograph shows a real-world example of a plunging wave with a curling crest.</p>
Rompiente en colapso “collapsing”:	Es un tipo de rotura intermedia entre spilling y plunging, la parte más cercana a tierra de la ola se peralta y rompe como un pequeño plunging dando una turbulencia que asciende por la pendiente de la playa.	 <p>The diagram illustrates a wave with a crest that is slightly curved and breaking forward. The photograph shows a real-world example of a collapsing wave with white foam.</p>
Rompiente ondulado “surging”:	Se produce con olas de bajo peralte en playas de alta pendiente. Presenta un frente y una cresta muy suaves que ascienden por la pendiente de la playa progresivamente hasta desaparecer prácticamente sin generar burbujas ni espuma. En general con este tipo de rompiente la zona de surf es muy estrecha.	 <p>The diagram illustrates a wave with a crest that is slightly curved and breaking forward. The photograph shows a real-world example of a surging wave with white foam.</p>

Fuentes: (González-Gorbeña, 2009)

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los 3 tipos de playas nombradas anteriormente con sus principales características (Vidal ,*et al.*, 1995; Wright ,*et al.*, 1979)

Tabla 2. Esquema de los principales tipos de playa.

Tipo de Playa	Características	
Playas Disipativas	<ul style="list-style-type: none"> ● Gran altura de ola ● Pendiente Suave ($< 2^\circ$) ● Arena Fina ($< 0,2 \text{ mm}$) ● Zona de rompiente amplia ● Rotura tipo derrame (Spilling $> 2 \text{ m}$) ● Presencia de Barras 	<p>PLAYA DISIPATIVA</p> 
Playas Intermedias	<ul style="list-style-type: none"> ● Altura de Ola media ● Arena fina o media ● Zona de surf horizontal ● Rotura tipo rompientes en voluta (plunging) ● Barras más acentuadas 	<p>PLAYA INTERMEDIA</p> 
Playas Reflectantes	<ul style="list-style-type: none"> ● Pequeña Altura de la ola ● Pendiente pronunciada ($> 4^\circ$) ● Arena Gruesa ($> 0,5 \text{ mm}$) ● Rotura tipo voluta, colapso u ondulada. (Surging $< 0,5 \text{ m}$). ● Presencia de Bermas bien desarrolladas. 	<p>PLAYA REFLECTIVA</p> 

Fuente: Modificado de (Short, 1999).

3.2. Sedimento

La mayoría de los sedimentos presentes en los océanos, provienen de la meteorización y erosión de las rocas y suelo en los continentes. Ya sea por la acción del viento, el agua y en zonas templadas por hielo. Bajo la influencia de factores físicos y químicos como la temperatura, la presión y reacciones químicas que tienen lugar en algunos ambientes. Estos sedimentos, se puede clasificar en 3 grandes grupos (Nuñez- Useche ,*et al.*, 2014):

1. **Litogénicos**, originados por la meteorización y la erosión de las rocas continentales
2. **Biogénicos**, formados a partir de los organismos esqueletos y materia orgánica.
3. **Hidrogénicos**, forman directamente por procesos químicos (precipitación y concentración), evaporación del agua de mar y concentración de las distintas sales producidas por la evaporación,

El sedimento, generalmente se clasifica en 4 grupos función del diámetro (d) de las partículas.

- Gravas, partículas con un diámetro mayor a 2 mm;
- Arenas con diámetro entre 0.062 y 2 mm;
- Limos con diámetros entre 0.004 y 0.062 mm;
- Arcillas con diámetros menores a 0.004 mm.

Esta clasificación se describe en la Figura 4, la cual fue diseñada por Udden-Wentworth y Krumbein (ϕ) actualmente es una de las más utilizadas para la clasificación de sedimento.

Figura 4. Esquema de clasificación de sedimentos Udden-Wentworth y Krumbein (ϕ)

Nombre	Rango de tamaños		$\Phi = -\text{Log}_2\left(\frac{1}{D}\right)$
	(mm) (D)	(μm)	
Cantos rodados grandes	256-128		-8
Cantos rodados pequeños	128-64		-7
Grava muy gruesa	64-32		-6
Grava gruesa	32-16		-5
Grava media	16-8		-4
Grava fina	8-4		-3
Grava muy fina	4-2		-2
Arena muy gruesa	2-1	2000-1000	-1
Arena gruesa	1-0,5	1000-500	0
Arena media	0,5-0,25	500-250	1
Arena fina	0,25-0,125	250-125	2
Arena muy fina	0,125-0,062	125-62	3
Limo grueso	0,062-0,031	62-31	4
Limo medio	0,031-0,016	31-16	5
Limo fino	0,016-0,008	16-8	6
Limo muy fino	0,008-0,004	8-4	7
Arcilla gruesa	0,004-0,002	4-2	8
Arcilla media	0,002-0,001	2-1	
Arcilla fina	0,001-0,0005	1-0,5	
Arcilla muy fina	0,0005-0,00024	0,5-0,24	

Fuente: Modificado de (Velásquez, 2013)

3.3. Transporte de sedimento.

Uno de los elementos principales en la dinámica costera es el transporte litoral de partículas sólidas (Figura 5), existen 2 clases de transporte litoral: Transporte eólico e hidráulico, este último se subdivide en dos transporte longitudinal y transporte transversal de sedimentos c.

3.3.1. Transporte eólico litoral.

El viento levanta y mueve los granos de arena de la superficie distribuyéndolos a lo largo del litoral, formando dunas a lo largo de la costa (SITES., 2020).

3.3.2. Transporte Hidráulico

Cuando el oleaje incide oblicuamente sobre la costa genera dos tipos de corrientes, una longitudinal paralela a la línea de costa y otra transversal perpendicular a la línea de costa.

3.3.2.1. Transporte transversal.

Se relaciona habitualmente con el concepto de "perfil de equilibrio", indicando que los clastos de un determinado tamaño tienden a moverse a través del perfil hasta una posición en la cual está en equilibrio con el oleaje y con los flujos que actúan en ese punto (Guillén, 2020). Este movimiento se da de dos formas:

3.3.2.1.1. Transporte de fondo:

Dean (1993) lo define como el movimiento de partículas por rodamiento, deslizamiento y saltos. puede darse en flujo uniforme y se caracteriza porque las partículas mantienen siempre un contacto con el lecho a través de los sucesivos contactos entre ellas

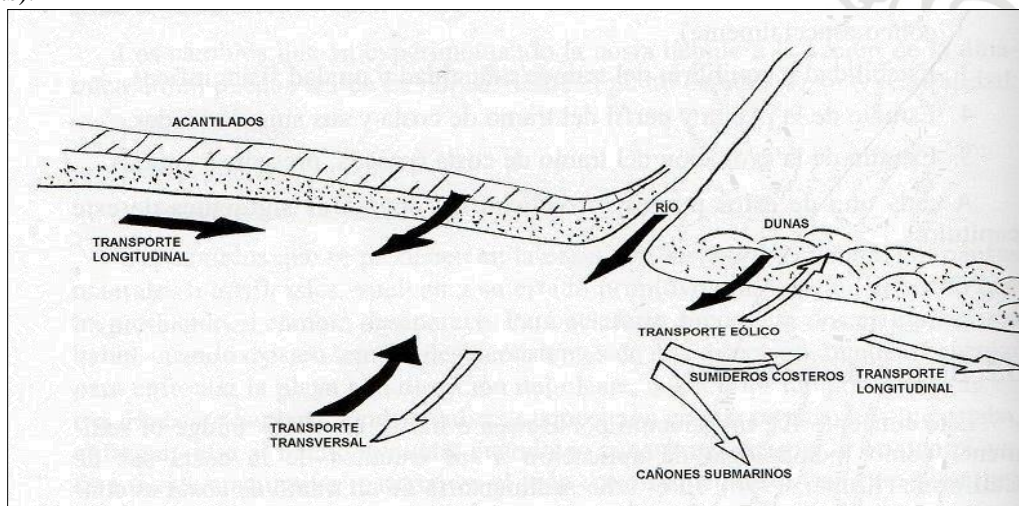
3.3.2.1.2. Transporte en suspensión:

Ocurre cuando los sedimentos están a una altura sobre el lecho en la que las fuerzas turbulentas superan su peso. Durante este modo de transporte la velocidad de las partículas es casi igual a la velocidad del fluido (corrientes litorales). Los sedimentos son movidos a lo largo del frente de playa generalmente los sedimentos en suspensión se describen en términos de concentración (masa de los sedimentos con respecto al volumen del fluido) (Velásquez, 2013).

3.3.2.2. Transporte longitudinal:

Puede darse en dos direcciones, dependiendo de la dirección del oleaje, se relaciona principalmente con los cambios en la energía del oleaje a lo largo de la playa, con la clasificación selectiva del sedimento durante el transporte y con el tipo de sedimento suministrado a la playa.

Figura 5. Transporte de sedimentos, aporte (flechas negras) y sumidero de sedimentos (flechas blancas).



Fuente: (De La Peña, 2007)

3.4. Perfil de playa.

Un perfil de playa (Beach profile) son transectos predefinidos en forma perpendicular a línea de costa y en dirección al mar. El transecto inicia ya sea en la parte más alta de la playa o de la duna, sin embargo, también puede iniciar en el límite de una construcción y terminar hasta el límite de playa sumergida o a un punto de ahogamiento (Beachpro, 2020), constituyen un instrumento que permite evaluar el estado y los cambios en las playas (Zetina, *et al.*, 2008). La forma de los perfiles varía constantemente como respuesta a los cambios del transporte de sedimentos y la dinámica marina.

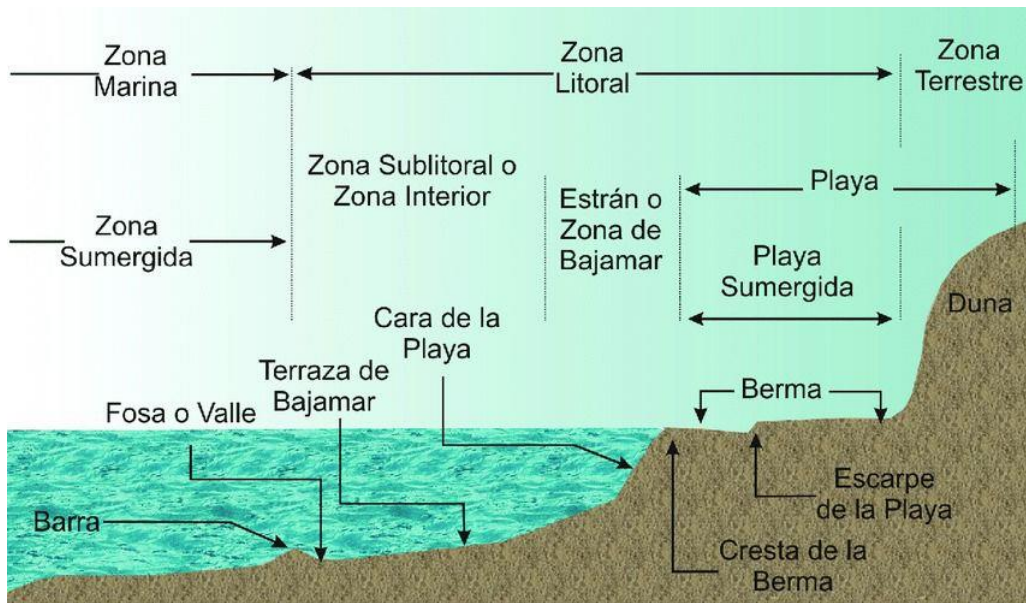
Este se divide en playa alta y playa baja. La primera es la parte superior que se sitúa en el lado continental de la línea litoral de marea alta, suele estar seca y las olas solo la afectan

durante los temporales, mientras que la segunda es la parte constantemente sumergida, queda expuesta cuando hay marea baja y sumergida cuando hay marea alta. (Tarbuck ,*et al.*, 2005)

Komar (1998), propuso la siguiente terminología para la descripción del perfil de playa (ver Figura 6).

- **Playa Seca (Backshore):** Se extiende hacia tierra desde la pendiente de la zona intermareal hasta el punto en donde se asienta la vegetación o existe un cambio fisiográfico (acantilado o campo de dunas).
- **Frente de Playa (Beachface):** zona del perfil que se encuentra por debajo de la primera berma, normalmente expuesta al lavado (swash) de las olas, es decir siempre está mojada.
- **Zona Intermareal (Foreshore):** La parte de la playa que se encuentra entre los límites de las mareas bajas y las altas. Puede coincidir con el frente de playa o bien contener algo de la porción plana del perfil de playa
- **Berma (Berm):** La sección levemente horizontal de la playa que va desde la playa seca hacia el frente de playa y se forma por el depósito de sedimentos transportados por las olas. Algunas playas presentan más de una berma separadas por un escarpe.
- **Zona Interior o costera (Inshore):** la zona del perfil de playa que se extiende hacia el mar desde la zona intermareal (foreshore) hacia la zona de rompiente.
- **Zona Exterior o costa afuera (Offshore):** zona del perfil que se extiende mar adentro desde la zona de rompiente, al límite de la plataforma continental.
- **Escarpe (Scarp):** Corte vertical del perfil de playa debido a la erosión de la berma producida por un temporal. Su altura tiene generalmente más de un metro.
- **Línea de Costa (Shoreline):** la línea de demarcación entre el agua y la playa expuesta.
- **Zona cerca a la costa (Nearshore):** es la zona ocupada por los sistemas de barras y surcos. Cuando no hay barras presentes, el nivel de base del oleaje se convierte en el límite inferior.

Figura 6. Zonación y elementos del perfil de playa.



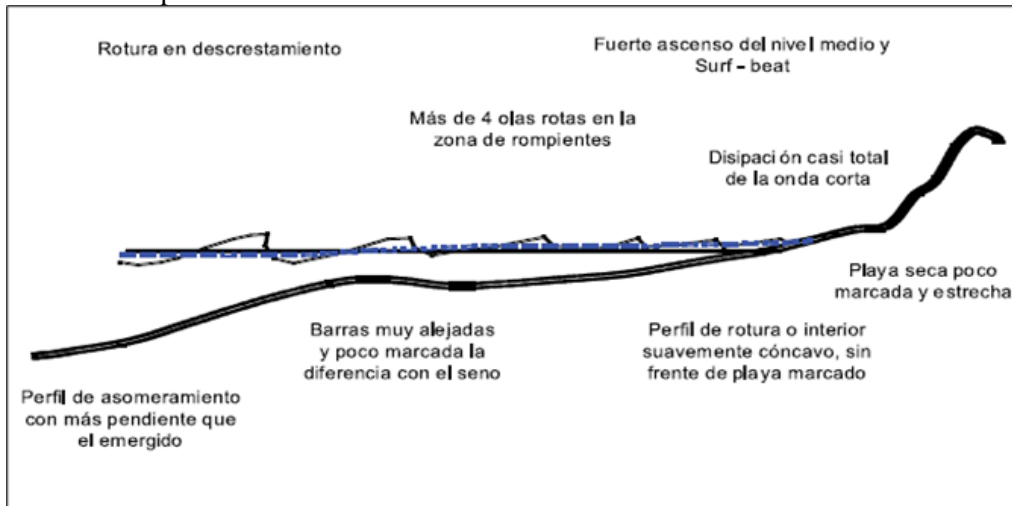
Fuente: (Silva & Mendoza, 2015)

Los cambios más notorios en el perfil son los que están asociados a los desplazamientos de las barras y el avance o retroceso de la berma, estos cambios morfológicos generan toda una tipología de formas de playas, pero existen dos formas posibles de perfil, en las se representa bastante aproximada la morfología de la playa. Estas dos formas del perfil se denominan perfil disipativo y perfil reflejante (A. . Bernabeu ,*et al.*, 2001; G.I.O.C, 2000).

3.4.1. Perfil disipativo

Característico de playas de arena fina o niveles de energía elevados, la zona de asomeramiento es mayor que la zona de rompiente, esta última es muy amplia con un talud ligeramente cóncavo, generalmente, la berma no es aparente y el perfil se inicia prácticamente en el pie de duna o en el acantilado, y el perfil de bajamar suele presentar una o varias barras longitudinales, con crestas y senos poco marcados, en la Figura 7 se muestra las características del perfil disipativo.

Figura 7. Perfil disipativo.

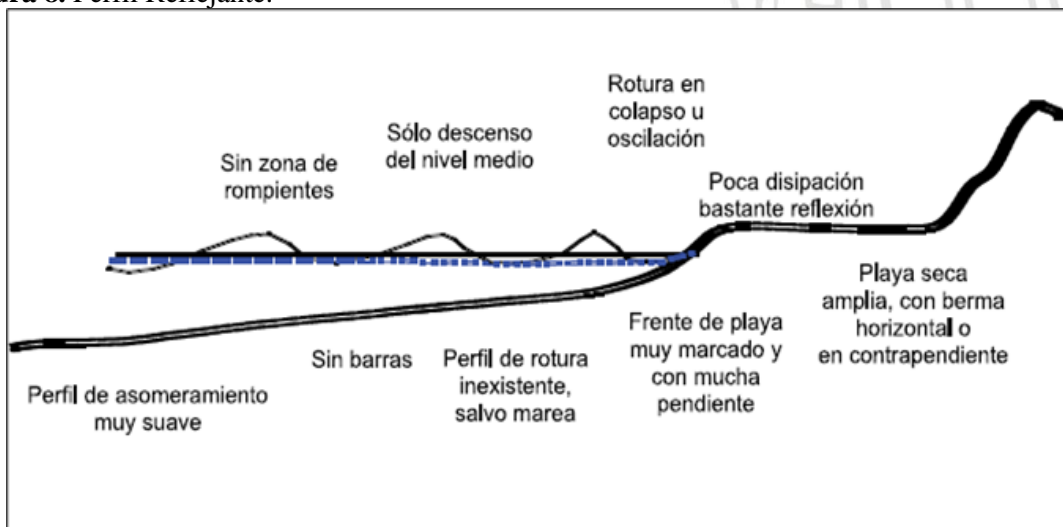


Fuente: (Ley, Gallego, & Vidal, 2007)

3.4.2. Perfil reflejante

Es característico de playas de arenas medias a gruesas, con niveles de energía bajos, el borde de la berma marca el inicio del frente de playa en el cual son frecuentes las acumulaciones en forma de media luna de arena (beach cusps) y normalmente suele existir un escalón en la parte inferior compuesto de material más grueso, la pendiente de este perfil baja considerablemente y conserva una forma cóncava. en la Figura 8 se muestra las características del perfil reflectivo.

Figura 8. Perfil Reflejante.



Fuente: (Ley, Gallego, & Vidal, 2007)

3.5. Perfil de equilibrio

Se define como la forma que alcanzará un perfil de playa expuesto a unas condiciones de oleaje constantes, fundamentalmente altura de ola y período, y con un determinado tamaño de grano. Este concepto asume que las playas responden a las características del oleaje y sedimentológicas ajustando su perfil a una forma que no varía con el tiempo, donde el transporte transversal de sedimento promediado en el tiempo es nulo. (A. Bernabeu ,*et al.*, 2001; A. Bernabeu ,*et al.*, 2002; Larson, 1991).

El concepto de perfil de equilibrio es una herramienta útil en el estudio de la morfodinámica de playas, presentando dos aplicaciones principales, una como herramienta de cuantificación-cualitativa y otra como modelo de predicción (A. Bernabeu ,*et al.*, 2001).

A nivel cualitativo, existen varias características generales del perfil de equilibrio que resume Dean (1997) como sigue:

- Tienden a ser cóncavos.
- La pendiente es más suave cuanto más fino es el sedimento de la playa.
- El frente de playa es aproximadamente plano.
- Olas más peraltadas dan lugar a pendientes más suaves con tendencia a la formación de barras.

El Modelo de predicción del perfil de equilibrio se propuso como una forma de entender y sintetizar el comportamiento del perfil de playa. (Dean, 1997) permitiendo analizar los efectos que los cambios en el tamaño de grano de una playa, las variaciones del nivel del mar o las actuaciones antrópicas tienen sobre la morfología de la playa y, en general, sobre el litoral con resultados que muestran una gran correlación con la pendiente y el tamaño de grano (Brunn, 1954).

Existen numerosas expresiones del perfil de equilibrio de playa, variando desde una relación lineal simple hasta complicadas relaciones empíricas (Bodge, 1992; Brunn, 1954; Dean, 1997; P. Komar & McDougal, 1994),

3.6. Vientos

El viento es el movimiento del aire desde un área de alta presión a un área de baja presión, este diferencial de presiones se debe a la diferencia de temperaturas en esos dos puntos, la diferencia de presiones a su vez produce una diferencia de densidades en el aire, por lo que el aire se mueve para compensar esas diferencias buscando el equilibrio originando el viento. En los trópicos se absorbe la mayor parte de la energía solar que posteriormente se transfiere a la atmósfera, configurándose en el motor que determina el desplazamiento del aire entre las latitudes ecuatoriales y polares mediante la circulación meridional (C.I.O.H, 2010).

3.7. Corrientes

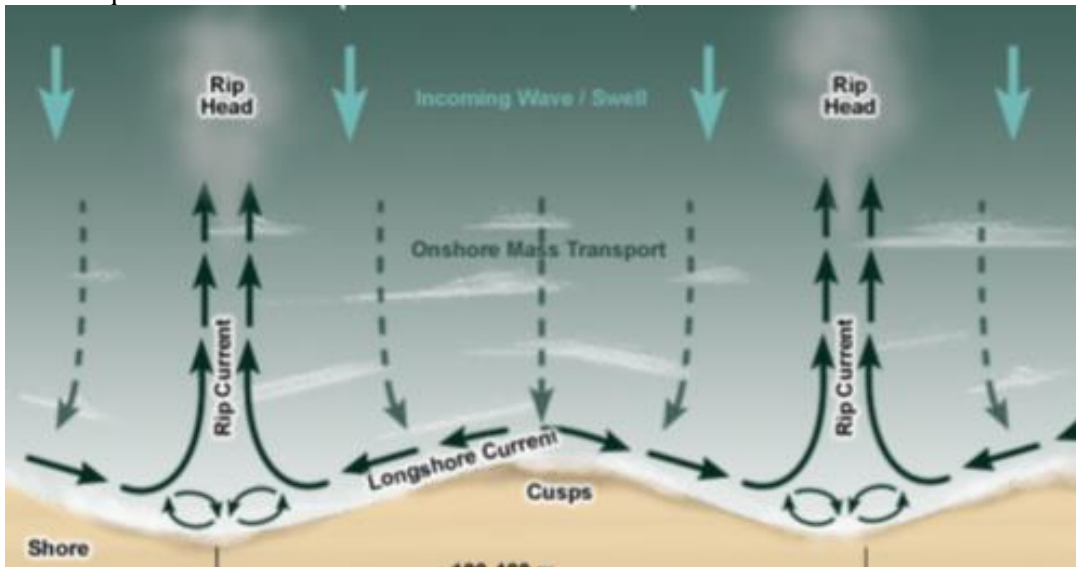
Las corrientes oceánicas son movimientos del agua en respuesta a los patrones de viento predominantes y las variaciones de densidad en los océanos, o como resultado de diferencias en la salinidad y temperatura del agua (C.I.O.H, 2020), Estas mueven los sedimentos en las zonas cercanas e intermareal a medida que la marea sube y baja. promoviendo la erosión o la acumulación, contribuyendo indirectamente a la configuración de la morfología de la playa (Eric Bird, 2008).

Existen tres tipos de corrientes que transportan los sedimentos en el litoral y que se dan a lo largo de casi toda la longitud de la playa (Moral & Berenguer, 1980). Las corrientes costeras (inshore), costa afuera (offshore) y a lo largo de la costa (longshore).

Las corrientes costeras (inshore); desplazan el agua, desde la zona de rompientes a la orilla (Martinez, 1996)

Las corrientes costa afuera (offshore) o de resaca (rip currents), se generan con frecuencia cuando la dirección de la ola entrante es casi perpendicular a la costa como se muestra en la Figura 9. Estas corrientes se generan cuando el agua que ha sido llevada hacia la playa por el oleaje se devuelve como una contracorriente que se dirige mar adentro.

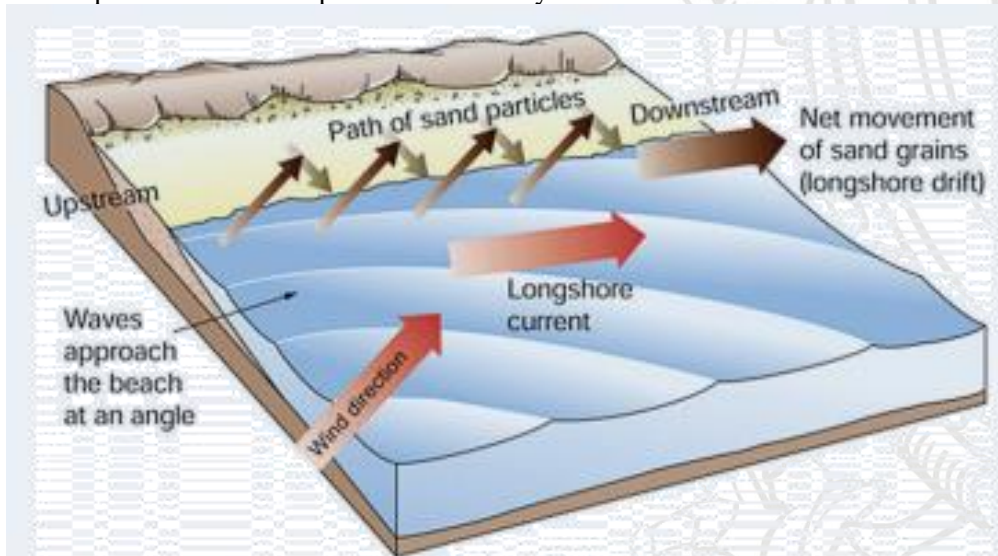
Figura 9. esquema de formación de corrientes de resaca.



Fuente: (METED, 2012)

Las corrientes de deriva (longshore currents) generan flujo turbulento, desplazando volúmenes de agua entre la zona de rompiente y la orilla. El flujo de agua es paralelo a la costa formado por el ingreso a la playa de olas en forma oblicua (Figura 10). Estas corrientes que distribuyen los sedimentos en la playa, se conocen como “deriva de playa” y pueden producir sedimentación en forma de flechas, tómbolos o espigas (Gómez et al, 2018).

Figura 10. Esquema de corriente paralela a la costa y deriva litoral.



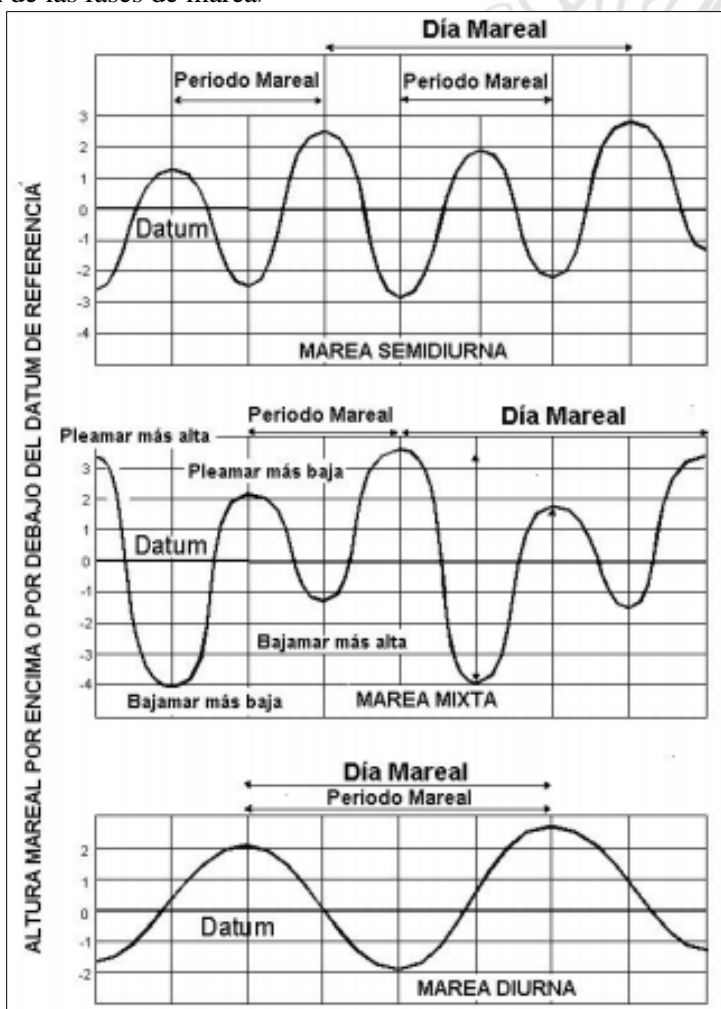
Fuente: (Secaira & Acevedo, 2017)

3.8. Mareas

Las aguas del mar siempre están en constante movimiento, principalmente por forzamientos atmosféricos y astronómicos. El forzamiento astronómico de las mareas produce una periodicidad en su ascenso y descenso, a la mayor altura se le conoce como pleamar y a la menor como bajamar, la diferencia entre ellas es la amplitud de marea.

Las mareas pueden ser diurna (una marea alta y una marea baja en 24 horas), semidiurna; (dos mareas altas y dos mareas bajas en 24 horas) y mixta que se caracteriza por una evidente desigualdad diurna en la elevación de los pleamares y bajamares entre ciclos sucesivos como se muestra en la Figura 11 (IDEAM, 2020).

Figura 11. Distribución de las fases de marea.



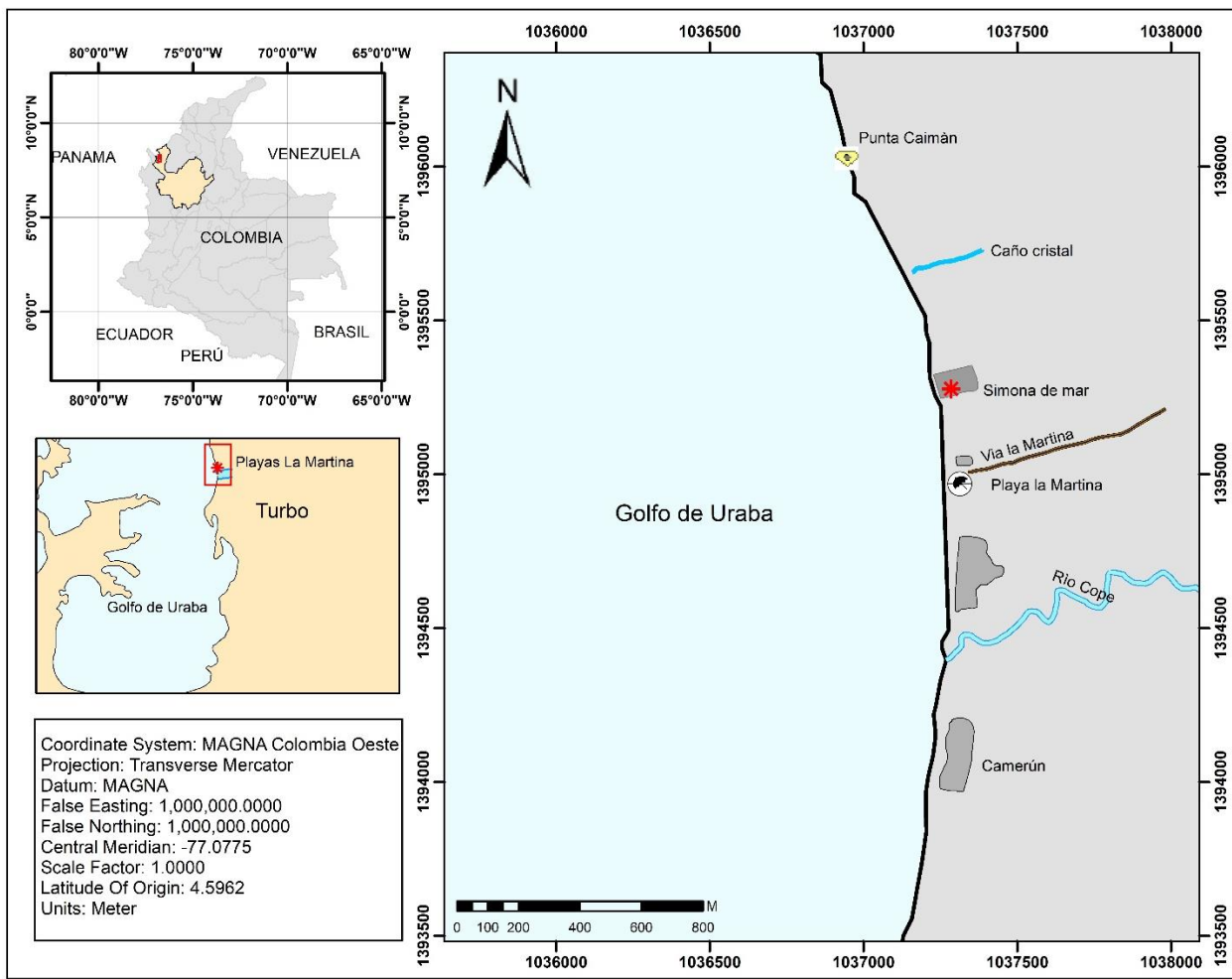
Fuente: (IDEAM, 2020)

4. METODOLOGÍA

4.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada a 13 km al norte del casco urbano del municipio de Turbo (Figura 12), cuenta aproximadamente con una extensión de 2 km, el sector es conocido como playa la Martina, está limitada al norte por Punta Caimán y al sur por el río Cope, además cuenta con una amplia variedad de establecimientos y restaurantes para el disfrute y goce de los visitantes y habitantes, sin embargo, en los últimos años, en esta zona se ha evidenciado significativos retrocesos en la línea de costa por fenómenos de erosión de hasta 25 metros, según lo mencionan algunos habitantes de esta comunidad.

Figura 12. Área de estudio



Fuente: Elaboración Propia.

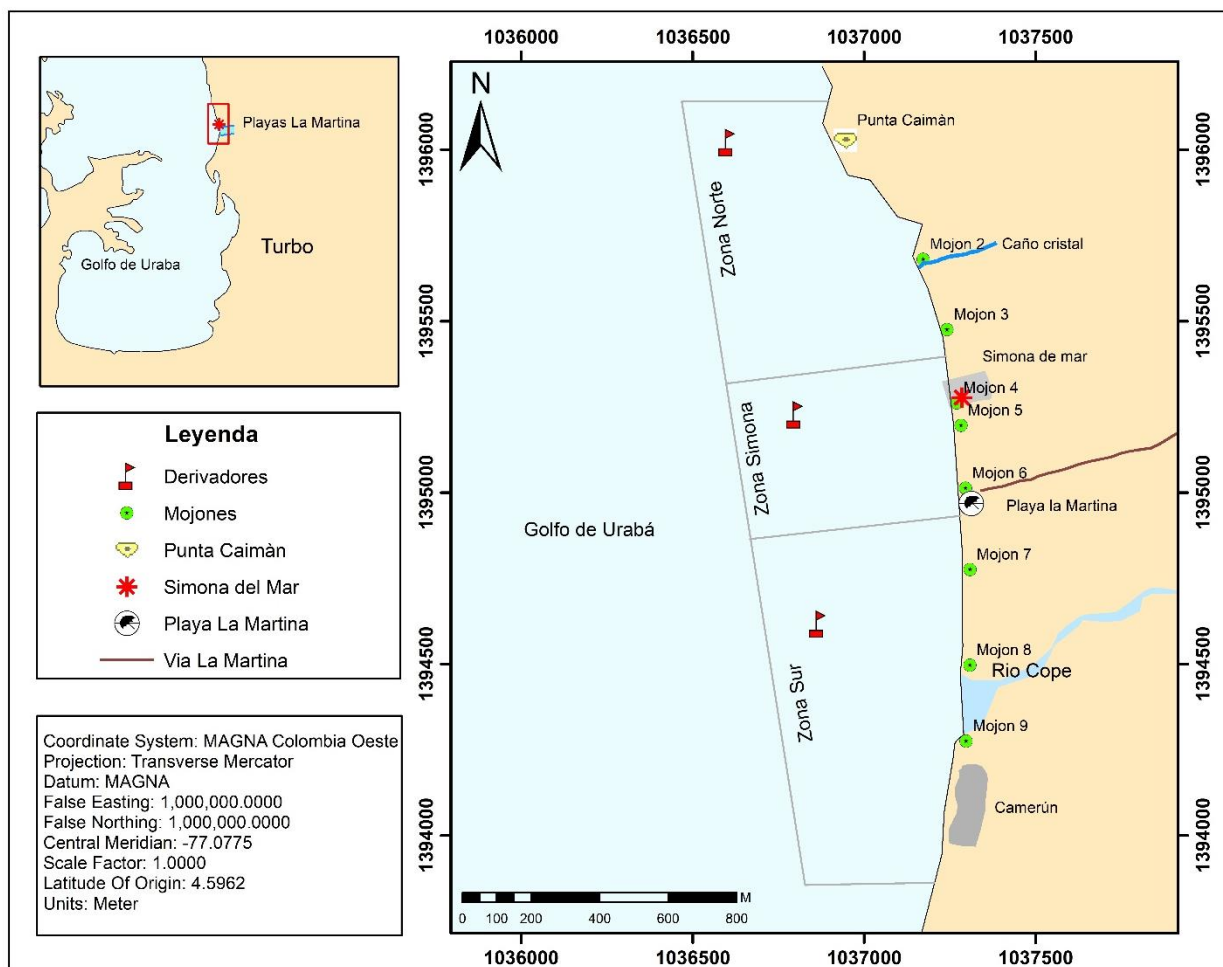
4.2. MÉTODOS

Para caracterizar las secciones submareal y subaérea de la playa y la dinámica durante la época seca, se realizaron monitoreos durante los meses de diciembre de 2019, enero, febrero y marzo de 2020, Cabe resaltar que para cada campaña se tuvo en cuenta las variables océano atmosféricas como viento, mareas y tiempo atmosférico.

4.2.1. Perfiles de playa.

En el levantamiento de los perfiles de playa, se utilizaron ocho puntos de control “Mojones” (Figura 13), previamente emplazados en estudios anteriores (Robledo, 2018 ; Ramirez, 2020)

Figura 13. Ubicación de puntos de muestreo (mojones) y puntos de medición de corriente con derivadores.



Fuente: Elaboración Propia

Se utilizó un GPS Garmin para localizar cada uno de los mojones de acuerdo con su posición geográfica como se muestran en la Tabla 3. Además, fue necesario utilizar brújulas Brunton para definir los acimuts ya preestablecidos.

Tabla 3. Azimut y coordenadas geográficas de cada mojón.

Mojón	Acimut	Latitud	Longitud
2	256	8,101065	-76,742109
3	266	8,17212	-76,73978
4	280	8,167641	-76,738979
5	253	8,116638	-76,4422218
6	270	8,16964	-76,73918
7	203	8,165839	-76,738948
8	295	8,16323	-76,73936
9	300	8,161449	-76,739625

Fuente: Elaboración Propia

Una vez localizados los mojones, se realizaron ocho perfiles topo-batimétricos en la playa. Para esto se utilizó una estación total Trimble M3 con jalón y prisma, los perfiles se iniciaron desde el mojón en perpendicular a la línea costa hasta el punto de ahogamiento como se muestra en la Figura 14. Además, en cada campaña se medía la altura del mojón con respecto al nivel del suelo.

Para el procesamiento de los perfiles fue necesario realizar corrección por marea y altura del mojón. para la marea se tomó como referencia las tablas publicadas por el IDEAM, las cuales muestran los valores picos (pleamares y bajamares) para cada fecha, por lo que fue necesario emplear el método de los Duodécimos, este permite estimar la altura de la marea en un instante de tiempo comprendido entre pleamar-bajar y en sentido contrario.

Este método se basa en el comportamiento sinusoidal que presenta la marea, por esta razón se debe dividir la duración de la marea en 6 periodos iguales (**ec. 1**) y la amplitud en 12 (**ec. 2**), la marea modificará su altura según la siguiente proporción 1,2,3 y 3,2,1.

En el 1° sexto de tiempo = un duodécimo de la amplitud

En el 2° sexto de tiempo = dos duodécimos de la amplitud

En el 3° sexto de tiempo = tres duodécimos de la amplitud

En el 4° sexto de tiempo = tres duodécimos de la amplitud

En el 5° sexto de tiempo = dos duodécimos de la amplitud

En el 6° sexto de tiempo = un duodécimo de la amplitud

$$\frac{1}{6} \text{ de la Duracion (ec.1)}$$

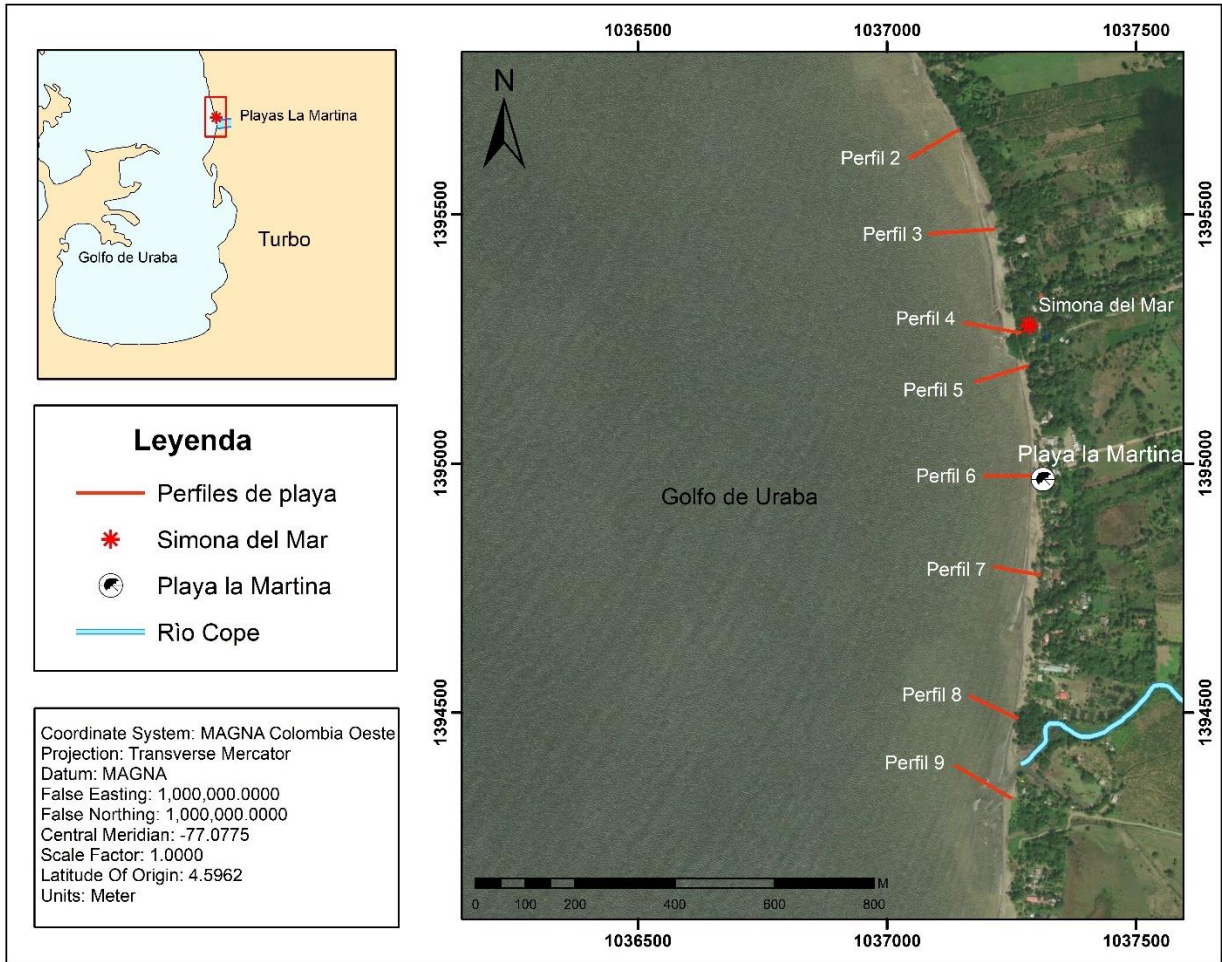
$$\frac{1}{12} \text{ de la amplitud (ec.2)}$$

Donde

Amplitud: es la diferencia entre la altura de la pleamar y la bajamar.

Duración: es el tiempo transcurrido entre la hora de la pleamar y la de la bajamar.

Figura 14. Distribución de los perfiles topo-batimétricos



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. Medición de Corrientes

Para la estimación de la velocidad y sentido de las corrientes, se realizaron mediciones durante los meses de enero, febrero y marzo con un derivador superficial y un GPS Garmin;

la trayectoria de las corrientes se midió en tres zonas denominadas zona norte, zona Simona y zona sur como se muestra en la Figura 13.

El derivador se programó para almacenar los datos de posicionamiento con una frecuencia de medición de 1 min y en la parte inferior se instaló una cometa (esta permite que el derivador pueda ser direccionado por las corrientes del lugar). El equipo se lanzó aproximadamente a 400 metros de la línea de costa, las mediciones en cada una de las tres zonas tuvieron una duración de 1 hora y 20 minutos. Los datos obtenidos por el GPS fueron descargados y posteriormente procesados y analizados empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para estimar las velocidades promedio de cada medición se realizó la conversión de coordenadas decimales a planas y se utilizó la ecuación la ecuación 3 (Casanova, 2010) para calcular las distancias entre dos puntos a partir de las coordenadas geográficas.

$$D_{1-2} = \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (N_2 - N_1)^2} \quad (ec. 3)$$

Donde:

$D_{P_1P_2}$ = Distancia horizontal entre ambos puntos.

N_i, E_i = Coordenadas Rectangulares del P_i

P_i = Puntos existentes $P_1 = (N_1, E_1)$ y $P_2 = (N_2, E_2)$

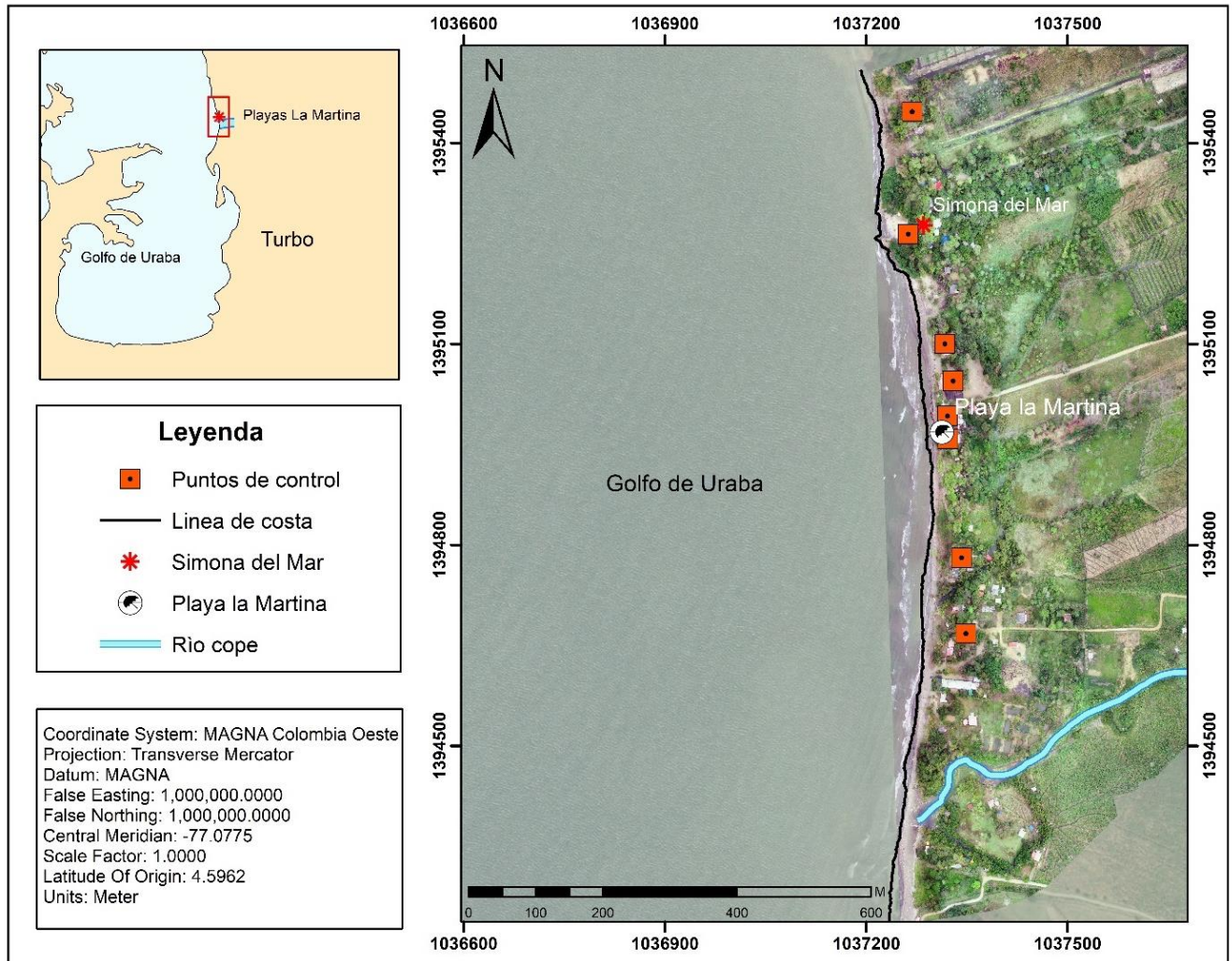
Con el fin de comprender los factores asociados a la velocidad y dirección de las corrientes se consultaron los valores de viento y marea para cada una de las fechas en las que se realizaron las mediciones. Los datos de viento fueron descargados de la base de datos de ERA5 tomados a una altura de 10 metros y los datos de marea fueron tomados de las cartas suministradas por el IDEAM (2020).

4.2.3. Variación de la línea de costa en época seca.

Para la estimación de la variación de la línea de costa se tomaron fotografías aéreas los meses de enero, febrero y marzo con un dron “DJI Inspire 1” a una altura de 60 metros. Los planes de vuelos con una duración de 2,5 h se realizaron desde Rio Cope hasta Punta Caimán (Anexo

1), se definieron 8 puntos de control en toda la zona de estudio como se muestra en la Figura 15, correspondiente a techos de edificaciones no móviles que permiten ortorectificar cada una de las imágenes aéreas y hacer un mejor análisis de la variación de las líneas de costa.

Figura 15. Ubicación puntos de control, Zona de estudio.



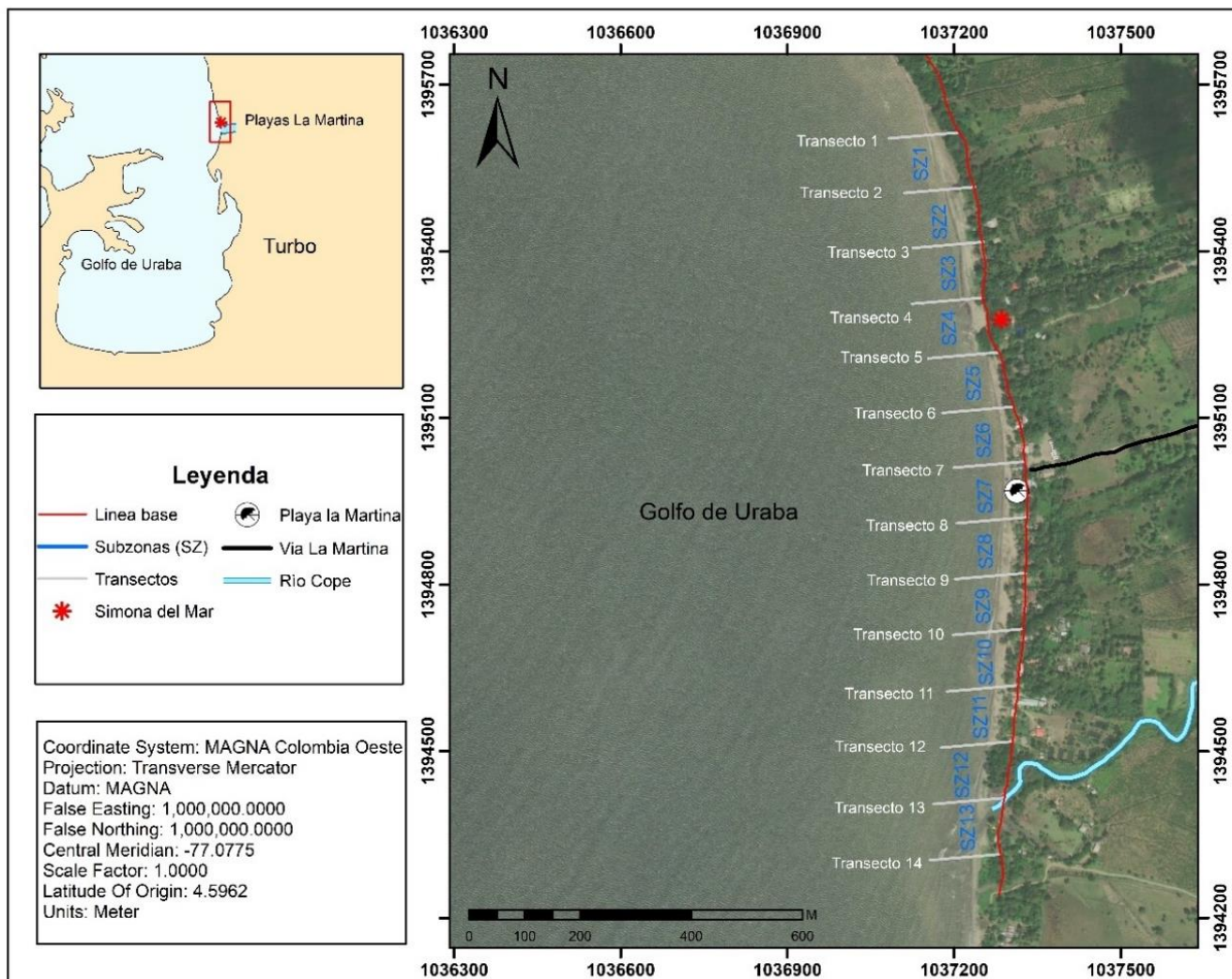
Fuente: Elaboración Propia.

Para determinar los valores promedios de erosión y acreción. Se utilizó un software, para definir la línea de costa en cada una de las ortofotos con una escala de 1:200 para reducir los posibles errores que puede inducir la presencia de biomasa (troncos de madera).

Posterior a esto, se estableció una línea de referencia para el trazado de los transectos, ubicada 30 m hacia continente desde la línea de costa correspondiente al mes de. En total se realizaron

14 transectos perpendiculares a la línea de costa con una separación de 100 metros con la configuración mostrada en la Figura 16, a partir de los cuales se definieron 13 subzonas para estimar el área de erosión / acreción. Finalmente, a través de SIG, se analizó la línea de costa mes a mes creando polígonos en las zonas de intersección entre las líneas de costa y los transectos como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Ubicación transectos y subzonas para la variación de la línea de costa en época seca.



Fuente: Elaboración Propia.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. Parámetros Dinámicos.

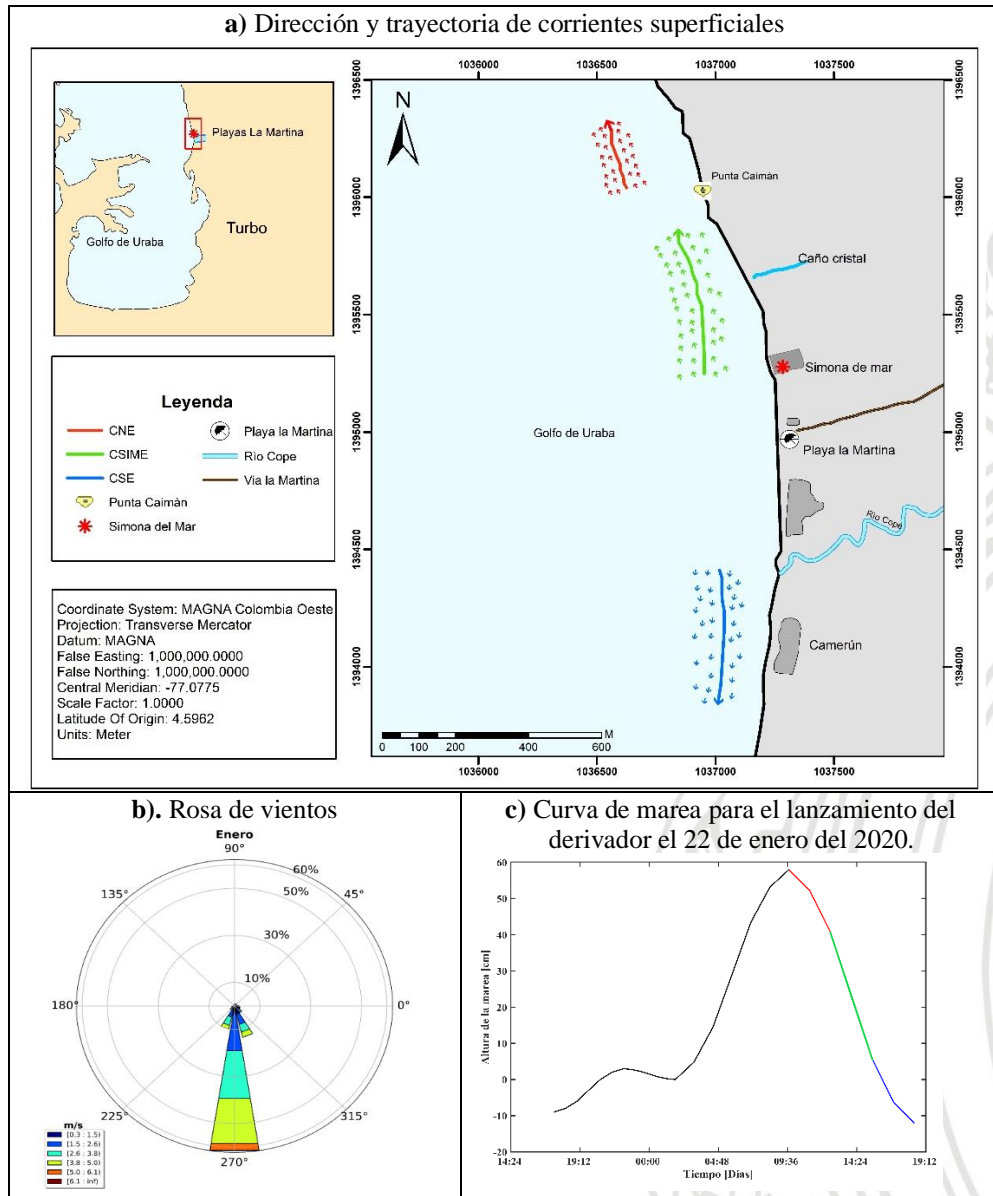
Con el fin de entender la hidrodinámica de la zona de estudio, se analizaron los datos de vientos tomados de ERA5 para los meses de enero, febrero y marzo de 2020. Donde se pudo observar una fuerte relación en las direcciones de los vientos dominantes en sentido norte-sur durante los tres periodos y velocidades de hasta 6.6 m/s como se ilustra en las imágenes (Figura 17b, Figura 18b, Figura 19b).

Por otro lado, en la Figura 17c, Figura 18c y Figura 19c, se representan los datos de marea obtenidos a partir del método de los Duodécimos para los meses mencionados anteriormente. En estas se resaltan los intervalos de tiempo en los cuales se realizaron cada uno de los lanzamientos. El color rojo corresponde al lanzamiento realizado en la zona Norte, el verde a la zona Simona y el azul a la zona Sur. Cabe resaltar que los datos correspondientes a los meses de enero y marzo se realizaron en ciclo vaciante de marea y el mes de febrero en ciclo llenante.

En la Figura 17, se presenta los datos de corrientes obtenidos en el mes de enero para cada una de las zonas de estudio (Norte, Simona, Sur) a las cuales se le asignaron las referencias CNE (corriente Norte enero), CSIME (corriente Simona enero) y CSE (corriente sur enero).

Se observa que tanto CNE como CSIME tienen la misma dirección (sur-norte) pero difieren en la magnitud de su velocidad. Siendo mayor en CSIME con 14.2 cm/s y 10.6 cm/s en CNE respectivamente. Por otro lado, La CSE presentó una velocidad promedio 12.27 cm/s y desplazamiento en sentido norte-sur. Cabe resaltar que los datos obtenidos para el mes de enero se tomaron durante el ciclo de marea vaciante. Esto podría explicar la diferencia marcada que presentó la zona Simona con relación a los demás periodos.

Figura 17. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de enero del 2020.

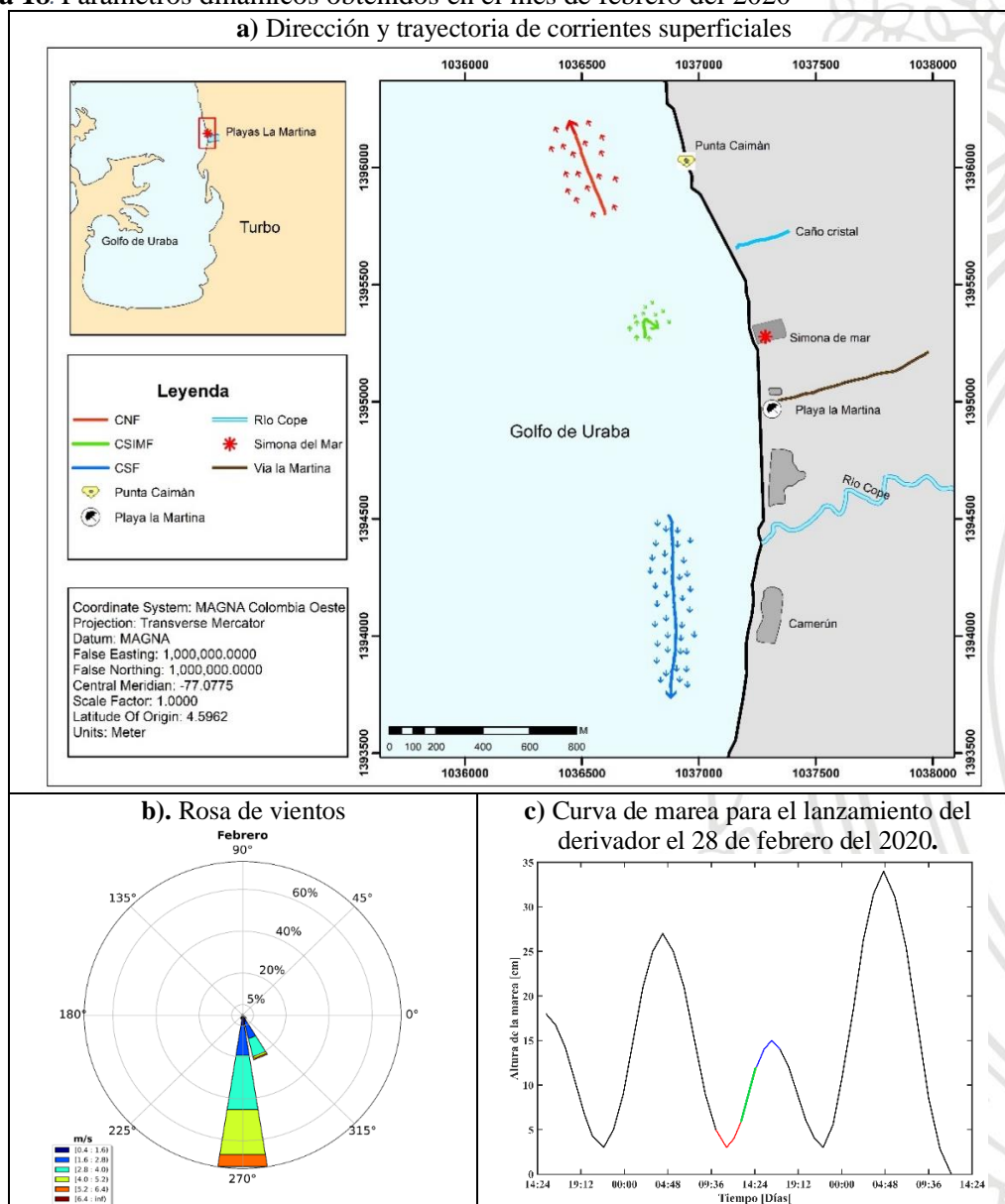


Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de febrero, las corrientes de viento tuvieron un comportamiento similar al mes de enero como se observa en la Figura 18, dominando mayormente los vientos procedentes del norte con valores de hasta 6.4 m/s. Con respecto a las corrientes, se observó que en la zona Simona la corriente (CSIMF) no tuvo avances significativos con respecto a las corrientes del Norte (CNF) y sur (CSF). Presentando velocidades promedio de 3.98 cm/s y movimientos variantes en dirección Norte y Sureste. Por otro lado, las corrientes CNF y CSF tuvieron un comportamiento divergente con respecto a la zona Simona, presentando mayores velocidades en el sur con valores de hasta 18.52 cm/s en dirección sur y en la zona norte con

velocidades de 14.14 cm/s en dirección norte (ver Tabla 4). Es importante resaltar que las mediciones realizadas en el mes de febrero fueron las únicas que se ejecutaron durante el ciclo llenante de la marea (Figura 18), sin embargo, no se observa variaciones en la dirección de las corrientes con respecto al mes inmediatamente anterior donde se realizaron mediciones en el ciclo vaciante (Figura 17).

Figura 18. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de febrero del 2020

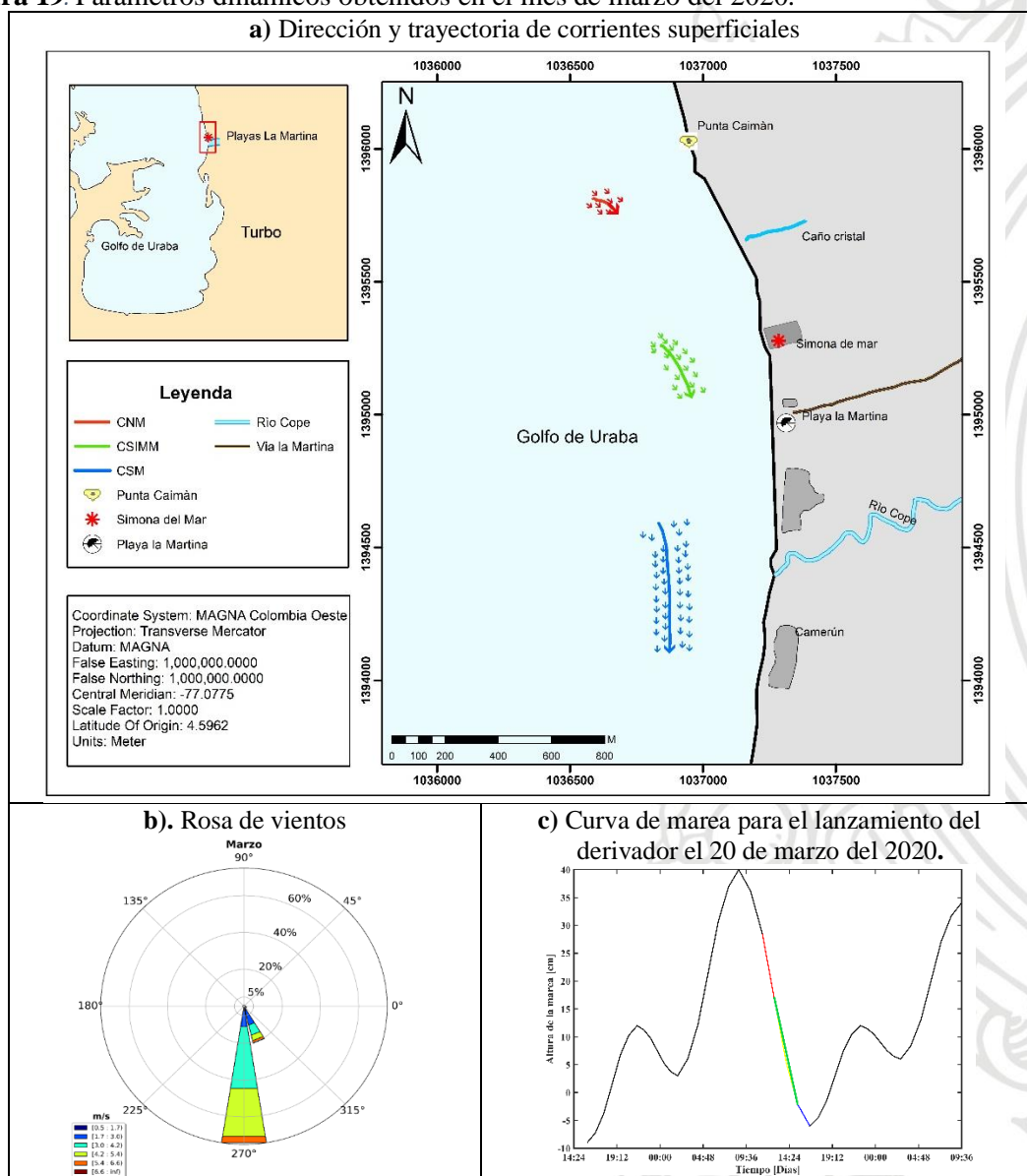


Fuente: Elaboración Propia

Para el mes de marzo, las corrientes presentaron una disminución en las en las velocidades medias correspondientes a las zonas norte y Simona. Siendo menor al norte con valor de 3.11

cm/s y 5.8 cm/s respectivamente. Como se puede observar en la Figura 19, tanto las corrientes norte (CNM) como las corrientes Simona (CSIMM) correspondientes al mes de marzo, presentaron direcciones similares en dirección sureste. Sin embargo, es evidente que, en la zona de Simona, las corrientes tendieron a inclinarse más hacia al sur. Las corrientes de la zona sur (CSM) mantuvieron una trayectoria marcada en sentido norte-sur durante todo el tiempo de muestreo. Cabe resaltar que, durante el mes de marzo los vientos dominantes provenían del norte con velocidades persistentes entre los 3 m/s y 5.4 m/s. Además, las mediciones se llevaron a cabo durante el ciclo vaciante de la marea.

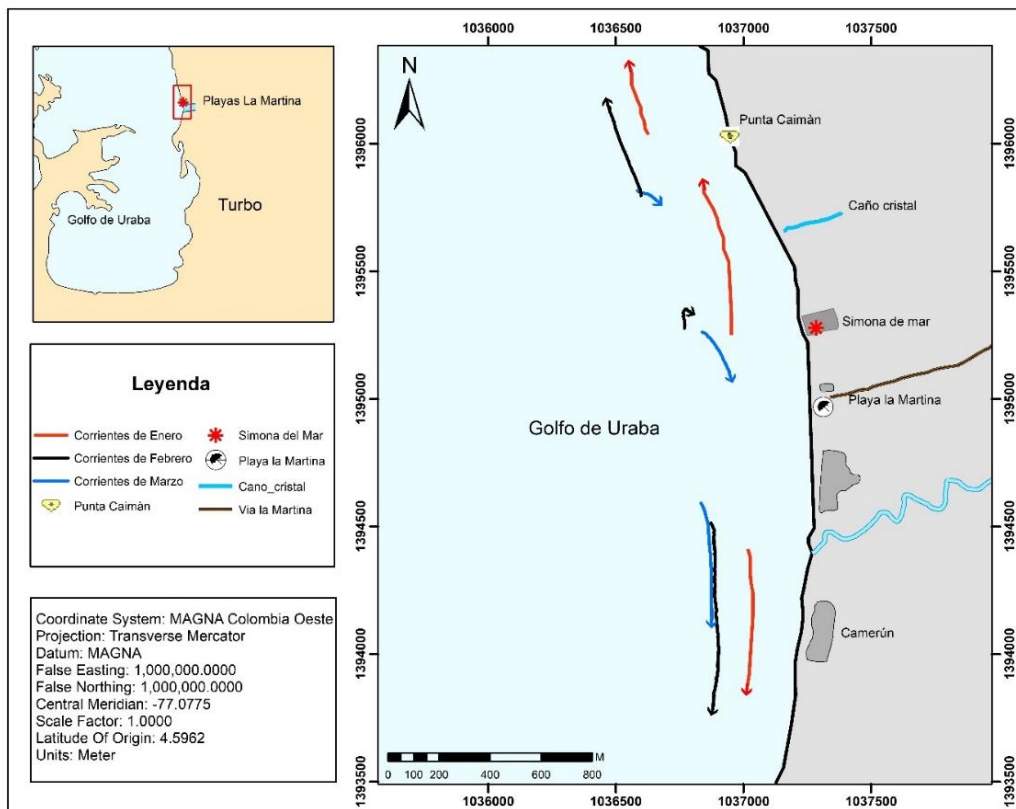
Figura 19. Parámetros dinámicos obtenidos en el mes de marzo del 2020.



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 20, se sintetizan los resultados obtenidos durante las campañas de enero, febrero y marzo en lo que refiere a las corrientes superficiales para el año 2020. Se puede observar que, en las tres campañas, las corrientes de la zona sur presentaron direcciones similares en sentido norte-sur y velocidades de corriente más altas con respecto a las otras dos zonas de estudio tal como se muestra en la Tabla 4. Por otro lado, en la zona Simona y Norte, las corrientes no presentan patrones de circulación constantes, pues estas, tuvieron variaciones en cada mes. Además, en la zona Simona se presenta divergencia de corrientes en sentido sur y norte.

Figura 20. Comparación de dirección y trayectoria de corrientes superficiales obtenidas a partir del derivador en enero, febrero y marzo.



Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta que, para los meses de estudio, los vientos dominantes provienen del norte, se puede decir que las corrientes superficiales de las playas La Martina no depende del viento, pues se evidenció que en estos meses las corrientes presentaron desplazamientos en dirección contraria a excepción del mes de marzo donde las corrientes en las tres zonas presentaron direcciones similares a las del viento. Además de esto, en los estudios

desarrollados por Ramirez (2020) y Robledo (2018) se presentaron patrones de circulación similares a los obtenidos en este estudio, por lo que se podría decir que estas variaciones se podrían asociar a la morfología propia de la zona. En la cual se presentan sedimentos de diferentes litologías con características diferentes como dureza y resistencia a procesos erosivos, que podrían modificar progresivamente la dirección de las corrientes.

Tabla 4. Información y nomenclatura de las corrientes superficiales de los meses de enero, febrero y marzo.

Mes	Zona	Referencia	Velocidad Promedio (m/s)	Velocidad Promedio (cm/s)
Enero	Norte	CNE	0,11	10,60
	Simona	CSIME	0,14	14,16
	Sur	CSE	0,12	12,27
Febrero	Norte	CNF	0,14	14,14
	Simona	CSIMF	0,04	3,98
	Sur	CSF	0,19	18,52
Marzo	Norte	CNM	0,03	3,11
	Simona	CSIMM	0,06	5,80
	Sur	CSM	0,12	11,51

Fuente: Elaboración Propia.

5.2. Variación de la Línea de Costa (Retroceso - Progradación) mediante Ortofotos.

Para determinar la variación espacial en área de la línea de costa, se realizaron tres vuelos correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo del año 2020 y uno, correspondiente al mes de diciembre de 2019; como se muestran en el Anexo 1.

Teniendo en cuenta que los planes de vuelos se realizaron en sentido sur-norte, para los meses de enero, febrero y marzo no se logró cubrir toda la zona de estudio debido principalmente, al tiempo atmosférico y las fuertes corrientes de viento que impedían el avance del dron.

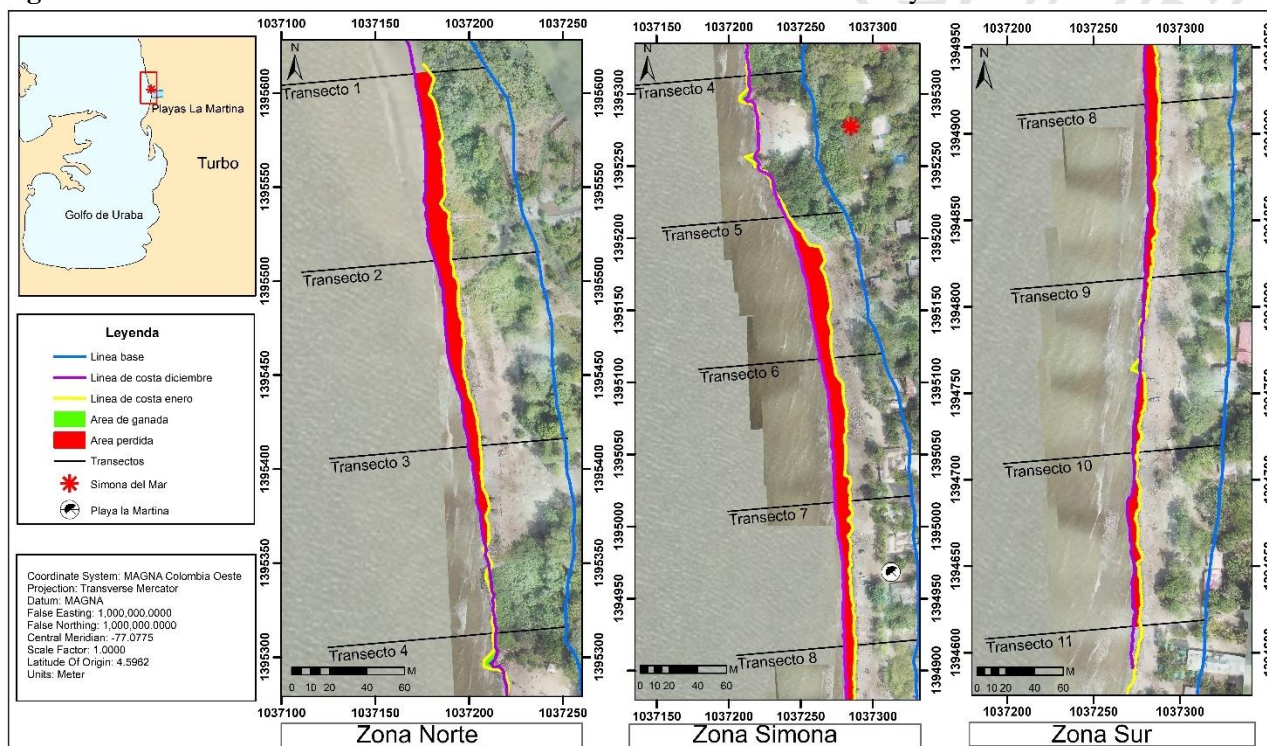
El análisis de estos datos se realizó de manera consecutiva utilizando las líneas de costa trazadas entre meses. Determinado los valores netos tanto de erosión como de acreción por zonas como se muestra en el Anexo 2.

Para el periodo comprendido entre diciembre y enero, se presentaron variaciones en la línea de costa de hasta $1100 m^2$, los valores más altos de se presentaron al sur de Simona del Mar y disminuyó en las zonas aledañas a las playas principales de La Martina como se puede ver de la Figura 21.

La zona que presento menor perdida de área en la playa fue la subzona 4 (SZ4) correspondiente al Centro Ecoturístico Simona del Mar con alrededor de $55 m^2$. Por otro lado, en la misma imagen se pueden observar pequeñas zonas de acreción en la zona contigua a Simona en dirección sur, debido a la presencia de grandes cantidades de madera que sirven como elementos de retención de sedimento.

Algo particular que se observó durante este periodo, es la construcción de pequeñas estructuras de madera por parte de la comunidad de playas La Martina, estas podrían haber generado pequeñas zonas de progradación en la subzona 9 (SZ9).

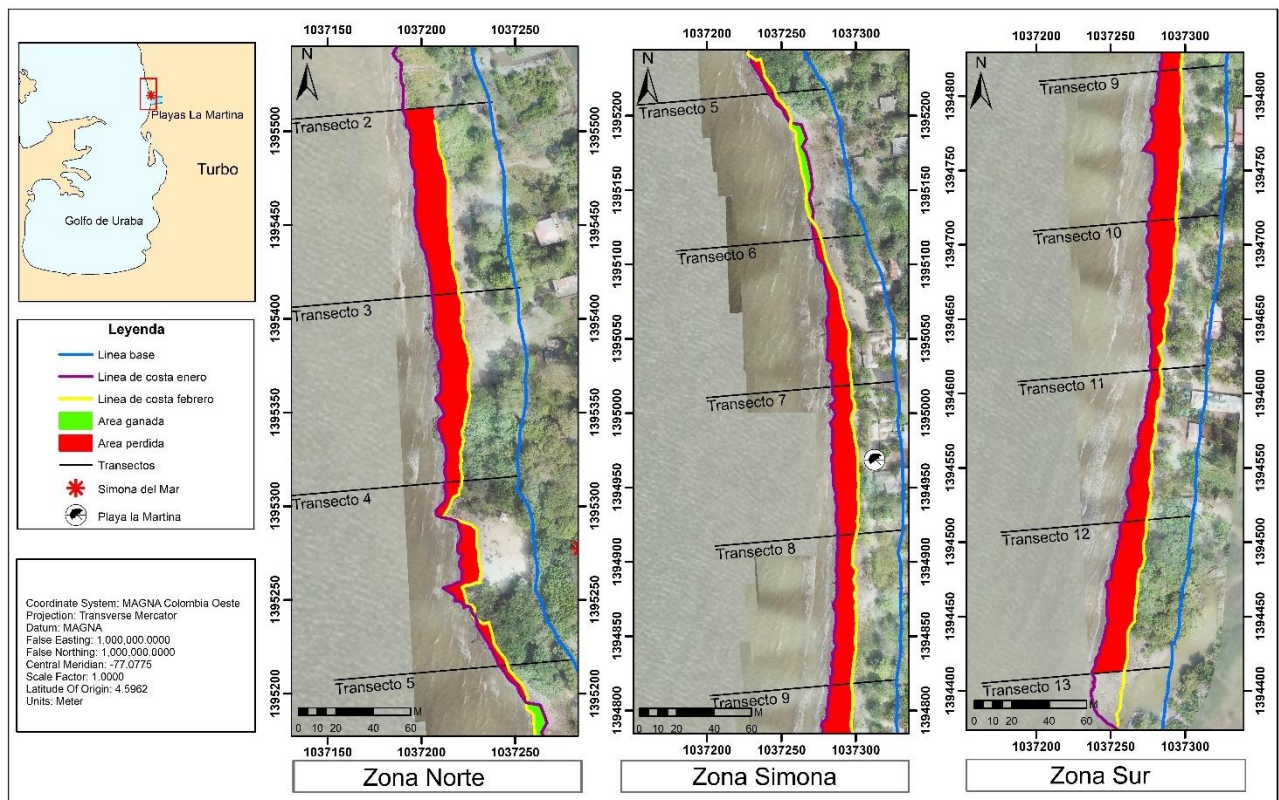
Figura 21. Variación de la línea de costa entre el mes de diciembre del 2019 y enero de 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Los mayores retrocesos (con área máxima de 1890 m²) se presentaron en el periodo comprendido entre enero y febrero, siendo mayor en las zonas norte y sur. A diferencia de las demás subzonas, la SZ5 fue la única que presentó acreción, con un valor significativo de 305 m² ganados de playa (ver Figura 22). Este periodo fue dominado por el retroceso de la línea de costa, debido posiblemente al aumento en la velocidad del viento y por consiguiente el aumento en la energía del oleaje incidente en la zona. Cabe resaltar, que para este periodo las estructuras de protección vistas en el periodo inmediatamente anterior fueron arrasadas por el fuerte oleaje.

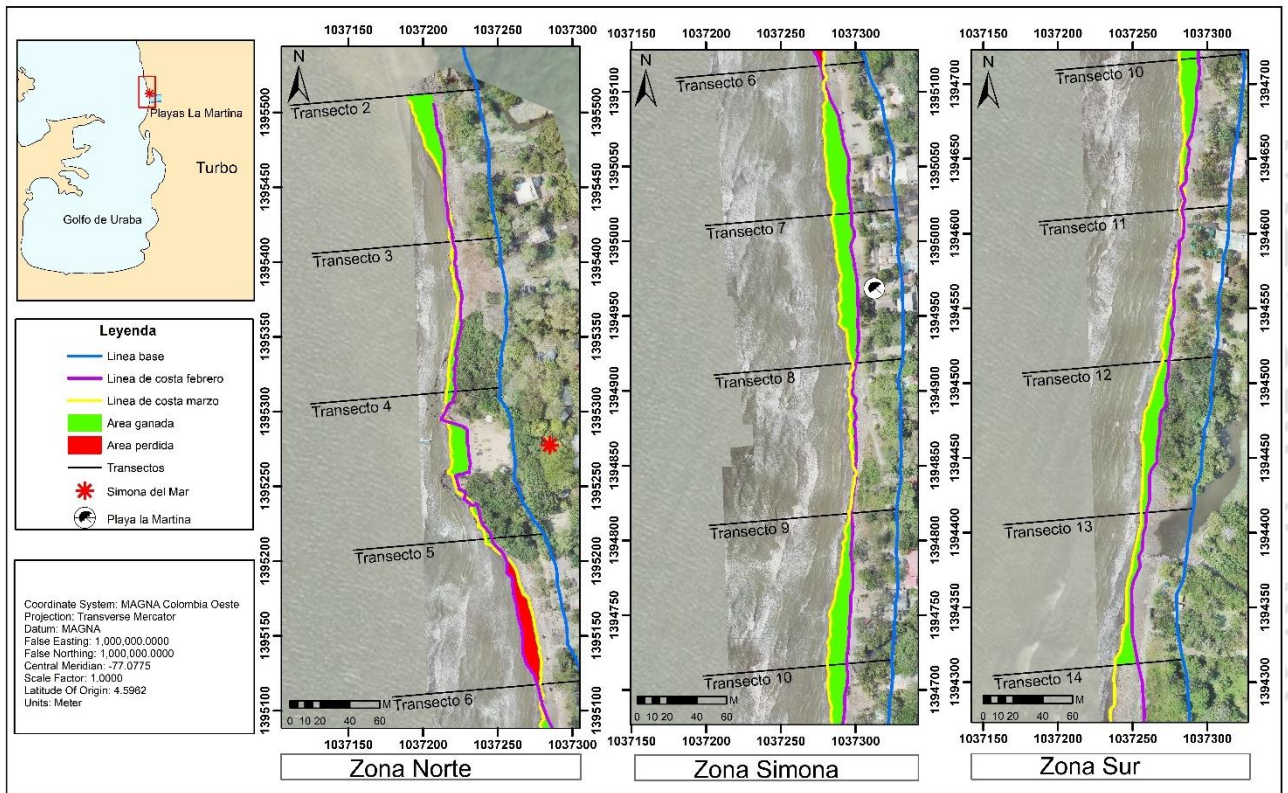
Figura 22. Variación de la línea de costa entre el mes de enero y febrero de 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para el periodo comprendido entre febrero y marzo de manera general se presentó de forma homogénea progradación en todas las subzonas de estudio, a diferencia de la SZ5 donde predominó el retroceso tal como se puede observar de la Figura 23. En total se recuperaron aproximadamente 6772 m² de playa y se erosionaron cerca de 694 m².

Figura 23. Variación de la línea de costa entre el mes de febrero y marzo de 2020.

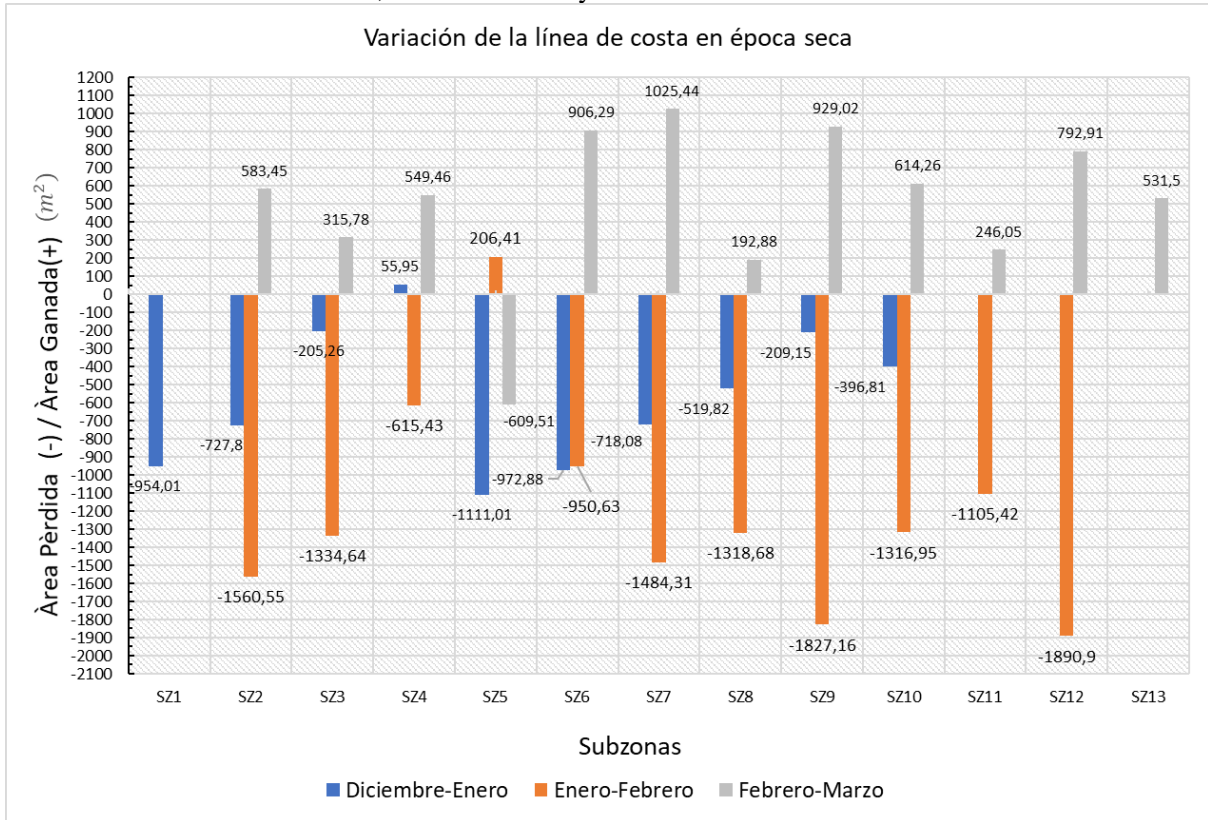


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24 se sintetizan los resultados netos de retroceso y progradación obtenidos para cada mes. Donde se puede observar el aumento gradual de retroceso entre diciembre y febrero y una diferencia marcada en el mes de marzo donde se presentó avance.

Esta variación, obedece a los comportamientos de perfil de invierno, caracterizado por presentarse en ambientes donde la energía del oleaje incidente aumenta significativamente erosionando la zona submareal para generar barras en zonas más profundas. Este aumento en la energía del oleaje para la época de estudio se asocia fuertemente a los vientos alisios dominantes en las costas del Golfo de Urabá.

Figura 24. Comparación general de la variación de la línea de costa en la época seca mes a mes entre los meses de: diciembre - enero; enero – febrero y febrero – marzo



Fuente: Elaboración propia.

5.3. Perfiles de Playa

El análisis de los perfiles mostró cambios morfológicos, donde la berma migró constantemente hacia el mar, formando sistemas de barras sumergidas y modificando la pendiente (ver Tabla 5). Aunque esta variación no es muy diferenciada, puede estar relacionada con el aumento de energía del oleaje (viento alisios) y permite dar razón de los efectos generados a lo largo de la época seca.

Para el mes de diciembre, en todos los perfiles se observó una berma marcada, pendiente tendida y con poca o ninguna barra sumergida. Además de esto, la zona subaérea presentaba mayor longitud y pendientes más uniformes, presentándose la mayor área superficial de playa, mayor longitud de playa y nivel de olas más bajo.

Tabla 5. Cálculo promedio de las pendientes de playa para cada perfil.

\emptyset PENDIENTE (grados)	Campaña de muestreo diciembre 2019	Campaña de muestreo enero 2020	Campaña de muestreo febrero 2020	Campaña de muestreo marzo 2020	\emptyset Promedio (grados)
Perfil 2	1,11°	2,17°	2,25°	2,16°	2,19°
Perfil 3	1,82°	1,74°	3,37°	1,84°	2,32°
Perfil 4	1,97°	1,99°	1,94°	1,7°	1,90°
Perfil 5	1,29°	1,83°	1,96°	2,14°	1,81°
Perfil 6	1,65°	1,67°	2,18°	1,97°	1,87°
Perfil 7	1,8°	1,64°	2,05°	1,96°	1,86°
Perfil 8	1,71°	2,24°	2,15°	2,03°	2,03°
Perfil 9	1,71°	1,59°	1,42°	2°	1,63°
\emptyset Promedio (grados)	1,68°	1,86°	2,17°	1,98°	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5, se muestra los valores promedio de las pendientes en grados \emptyset para cada uno de los perfiles muestreados por mes. Con relación a lo anterior se puede decir que los cambios en la morfología de la zona se puede clasificar como playa disipativa de acuerdo a las geoformas observadas y los valores estimados de las pendientes cercanos en su mayoría a 2°.

El análisis de los perfiles mostró cambios morfológicos, la berma migro constantemente hacia el mar, formando sistemas de barras sumergidas y modificando la pendiente (ver Tabla 5). Aunque esta variación no es muy diferenciada, se puede relacionar con el aumento de energía del oleaje por acción de los vientos alisios.

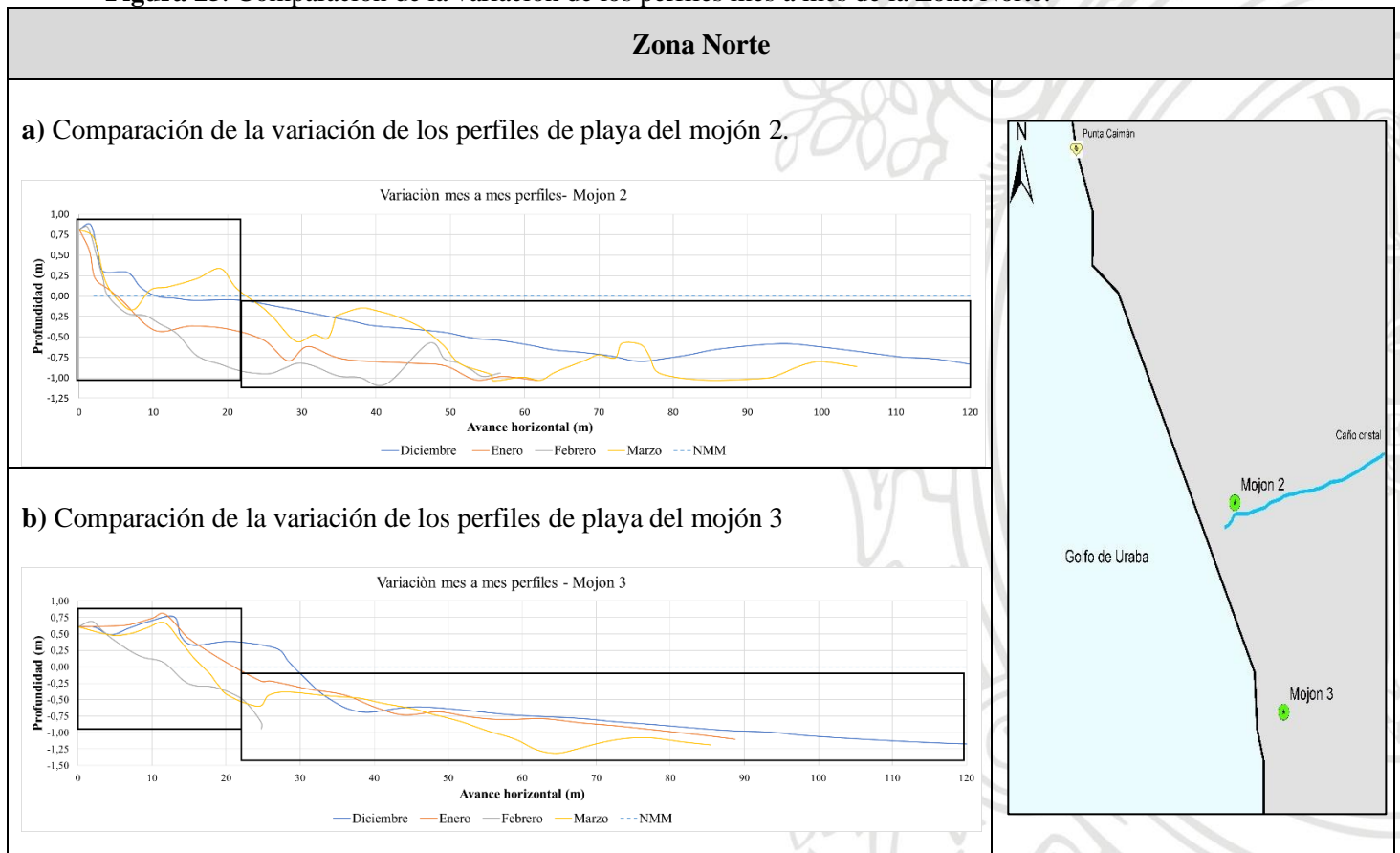
La zona Norte, se caracterizó por presentar menor retroceso en la línea de costa, como se puede observar en los perfiles 2 y 3 (ver Figura 25a y Figura 25b).

Para el perfil 2 (Figura 25a) se observó que este no presento una berma definida en los meses de estudio, durante el mes de enero presentó una pendiente suave de 1.11° (ver Tabla 5)

siendo la más baja de todos los perfiles. En los meses posteriores, se observaron barras definidas en la zona subaérea, probablemente a la presencia de vegetación en esta zona que sirve como disipador de la energía de las olas.

Para el perfil 3 (Figura 25b), se pudo notar la presencia de bermas definidas en los meses de diciembre, enero y marzo. Los mayores retrocesos en la línea de costa se presentaron durante el mes de febrero con alrededor de 7m. Además, entre los meses de diciembre y enero la zona subaérea no presentó variaciones significativas, debido a la presencia de cobertura vegetal en esta zona.

Figura 25. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Norte.



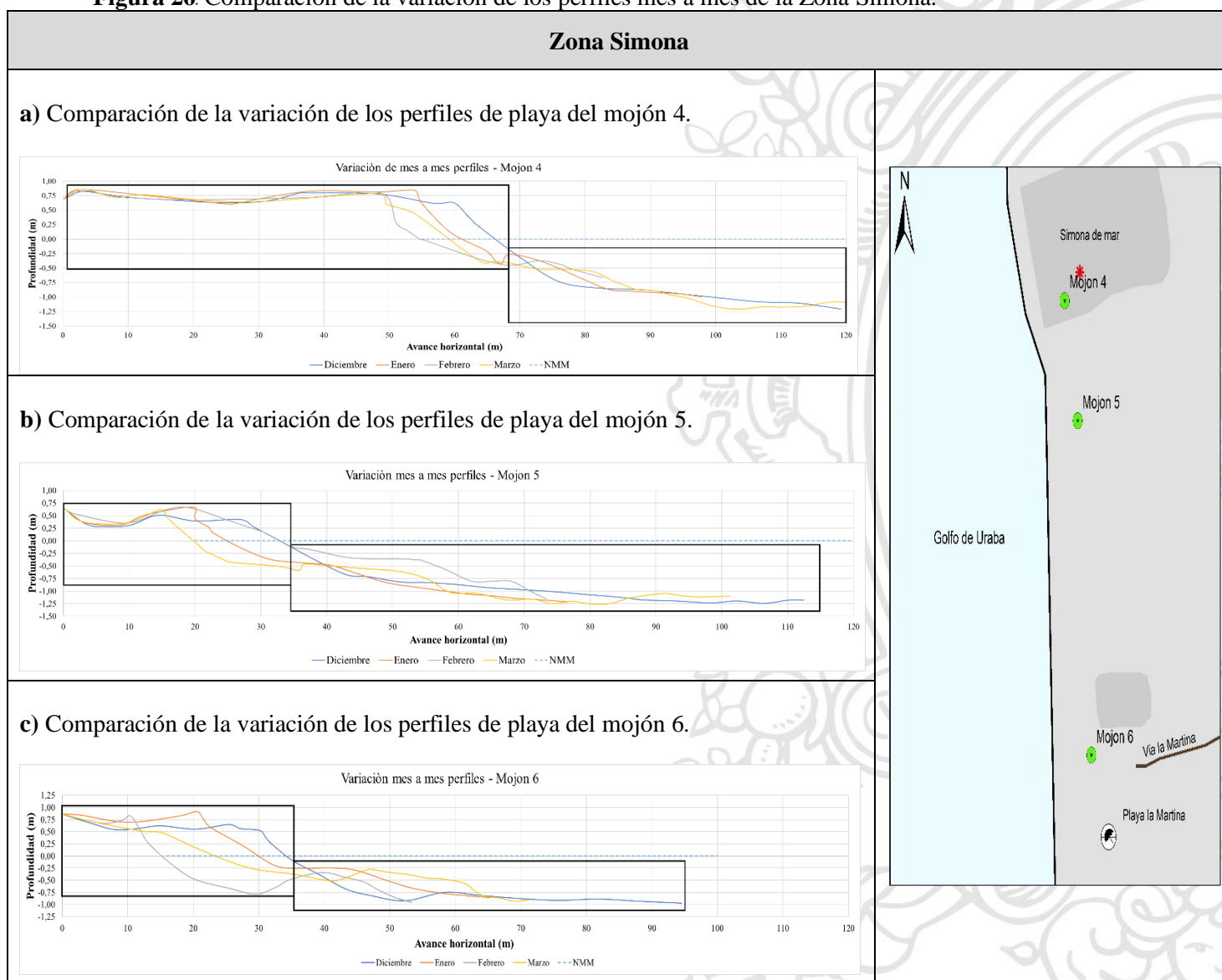
Fuente: Elaboración propia.

La dinámica del perfil 5 (ver Figura 26b) fue diferente a los demás perfiles de la zona de Simona durante el mes de marzo, presentando repercusión tanto en la zona subaérea como

submareal. Este comportamiento se podría asociar con las estructuras presentes en Simona del Mar, sin embargo, es necesario realizar estudios a detalle que permitan comprobar esta hipótesis.

El perfil 6 (ver Figura 26c) presento retrocesos de hasta 10m durante el mes de febrero y aumento significativo en la pendiente promedio, siendo mayor en este periodo. Así mismo, se puede observar un comportamiento asociado al perfil de invierno, donde la berma migra hacia el mar formando sistemas de barras.

Figura 26. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Simona.



Fuente: Elaboración propia

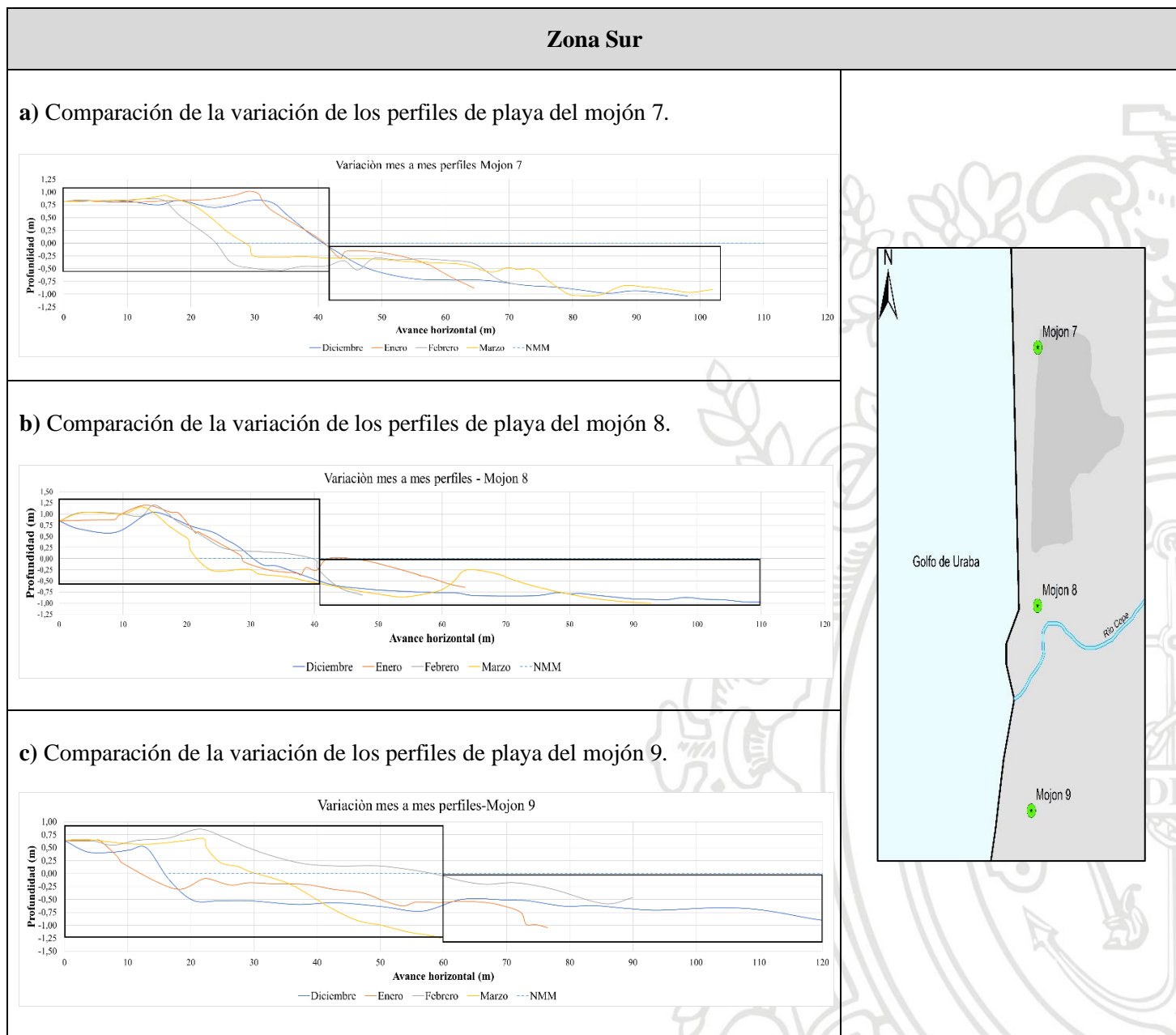
La zona Sur se caracterizó por presentar valores mayores de retroceso debido a la capacidad de arrastre de las corrientes.

El perfil 7 (ver Figura 27a) no presentó variaciones significativas entre el mes de diciembre y enero en la zona subaérea, sin embargo, en la zona submareal se observan barras y ganancia de sedimentos. Durante el mes de febrero se presentó mayor área de retroceso en la zona subaérea con retroceso de alrededor de 10 m.

El perfil 8 (ver Figura 27b) presentó ganancias de sedimento en la zona subaérea en todos los periodos. Durante los meses de enero y febrero se puede observar la formación de barras y ganancias en la zona submareal sin presentar retrocesos en la zona subaérea.

El perfil 9 (ver Figura 27c) presentó el valor más alto de progradación durante el mes de febrero con alrededor de 40 m aumentando significativamente la zona subaérea. Los cambios morfológicos observados en el perfil 9 están probablemente asociados al aporte de sedimentos del río Cope pues en los meses de diciembre y enero presentó un caudal significativo y en el mes de febrero esta desembocadura se cerró debido a la energía del oleaje, permitiendo la recuperación de la playa de este sector.

Figura 27. Comparación de la variación de los perfiles mes a mes de la Zona Sur.



Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

La metodología establecida (perfiles topo-batimétricos, vuelos con dron, medición de corrientes) permitió cumplir con los objetivos descritos en este documento, siendo adecuada para la continuación de los monitoreos; sin embargo, es importante tener en cuentas las recomendaciones que se proponen en las recomendaciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los patrones de circulación de corrientes superficiales no están determinados únicamente por el viento porque presentaron variaciones en el sentido del desplazamiento durante la época seca, principalmente en la zona Norte y Simona.

En la zona Sur, la dirección de las corrientes presentó gran similitud con la dirección de propagación del viento (sentido norte-sur), también se presentaron velocidades de corriente más altas con respecto a las zonas centro y norte; no se observó relación de la dirección y velocidad de las corrientes con los ciclos de marea.

Las variaciones en la dirección de la corriente pueden estar asociadas a la morfología de la playa submareal o, a la influencia de otro fenómeno físico, es necesario realizar estudios detallados con otras variables y metodologías, para poder entender estas variaciones.

Con respecto a la variación espacial de la línea de costa se evidenció un aumento gradual en el retroceso de la línea de costa en toda la playa para el período de diciembre a febrero, siendo mayor el retroceso en este último mes y para el mes de marzo predominó la progradación de la línea de costa en todo el transecto. Este comportamiento es similar al perfil de invierno para zonas templadas, sin embargo, es necesario realizar monitoreos en esta misma época por varios años para poder identificar claramente esta dinámica.

En cuanto el transporte de sedimento, se observó una configuración de perfil erosivo, donde los sedimentos son transportados desde la berma hacia zonas más profundas de la zona submareal, comportamiento que se evidencia en la morfología de los perfiles.

La zona que presentó mayor retroceso en la línea de costa fue la zona Sur, porque las corrientes presentan mayores velocidades y por tanto mayor capacidad de arrastre de sedimentos. Por el contrario, la zona norte presento menor retroceso de línea de costa probablemente debido al efecto de la litología y la vegetación presente, es necesario medir cuál de estos factores tiene mayor incidencia en el menor retroceso de la línea de costa.

Finalmente, se encontró que Playa La Martina presenta características morfológicas asociadas a un perfil disipativo (Figura 7) con pendientes suaves del orden de 2° y sistemas continuos de barras sumergidas, generadas por un oleaje más energético asociado a los vientos alisios del norte y noreste que corren sobre el litoral del Caribe Colombiano para la época de diciembre a marzo.

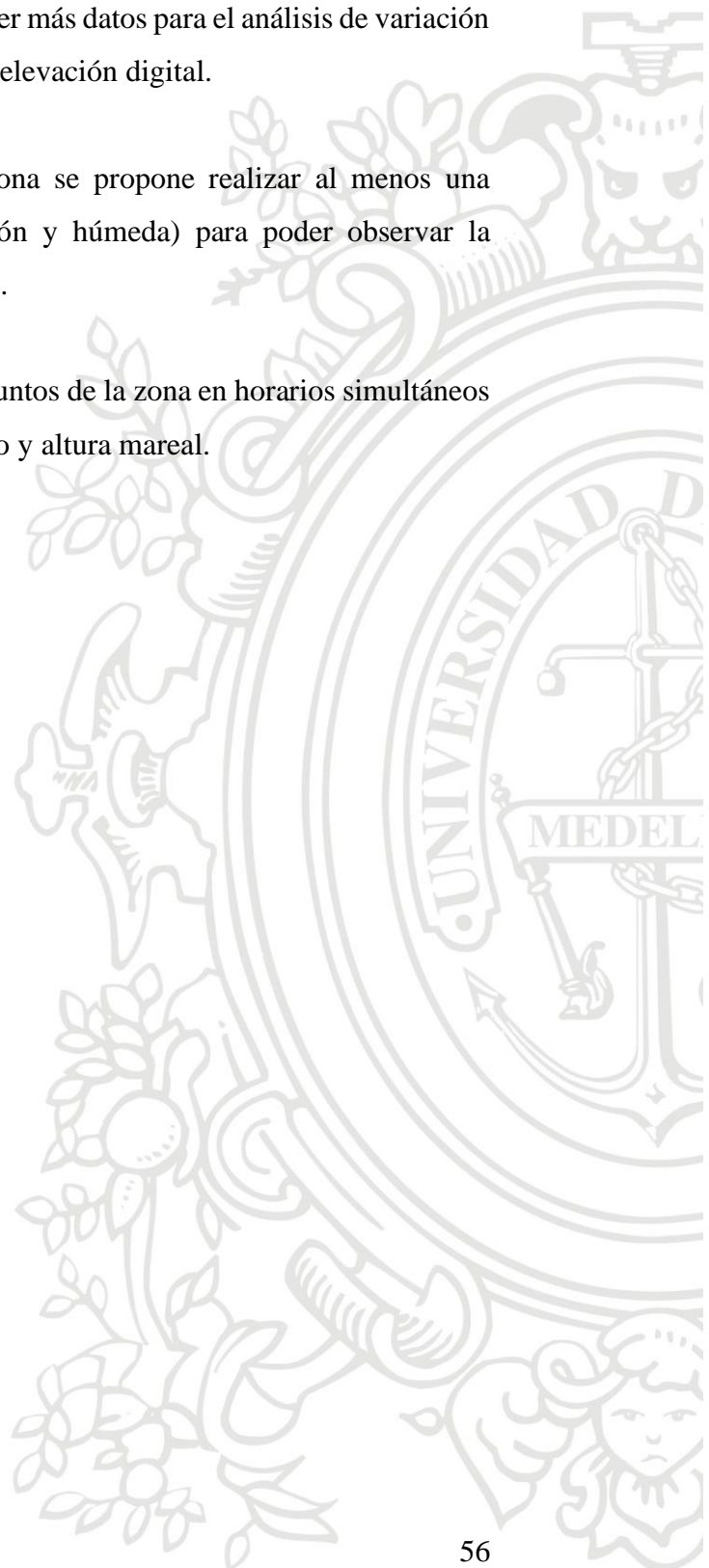


7. RECOMENDACIONES

Para futuros monitoreos en la playa La Martina se sugiere establecer más puntos de control con distancias equidistantes, con el objetivo de obtener más datos para el análisis de variación de la línea de costa y poder construir de modelos de elevación digital.

Con el fin de entender la morfodinámica de la zona se propone realizar al menos una batimetría detallada en cada época (seca, transición y húmeda) para poder observar la relación entre los factores dinámicos y morfológicos.

Es necesario muestrear las corrientes en diferentes puntos de la zona en horarios simultáneos para obtener datos en los mismos instantes de tiempo y altura mareal.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aristizabal, C., Betancur, M., & Vesquez, C. (1990). *Erosión y sedimentación de la línea de costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá*. Universidad Eafit - Departamameto de Geología.
- Bakhtyar, R., Barry, D., Yeganeh-Bakhtiary, A., & Ghaheri, A. (2009). Numerical simulation of surf-swash zone motions and turbulent flow. *Advances in Water Resources*, 32, 250–263.
- Beachpro. (2020). *Terminología de playas*. Obtenido de Proyecto CONACYT. http://www.beachpro.mx/terminologia_de_playas
- Bedoya, G., Correa, D., Chica, A., & Restrepo, A. (2006). *Diagnostico y Propuesta de Solución para la Protección del borde costero del sector de Arboletes*. Medellín: Universidad de EAFIT.
- Benavente, J., Del Rio, L., Anfuso, G., Garcia, F., & Reyes, J. (2002). Utility of Morphodynamic Characterisation in the Prediction of Beach Damage by storms. *Journal of Coastal Research, Special*, 36, 56–64.
- Bernabeu, A. ., Medina, R., Vidal, C., & Muñoz-Pérez, J. J. (2001). Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. *Rev. Soc. Geol. de España*, 14(3–4), 227-236.
- Bernabeu, A., Medina, R., & Vidal, C. (2002). Efecto de la reflexión sobre la forma de equilibrio del perfil. *C & G*, 83–95.
- Bird, E. (2003). *Coastal Geomorphology. An Introduction*. John Wiley & Sons. The Atrium Gate.1-322.
- Bird, Eric. (2008). *Coastal Geomorphology An Introduction*. Second edition; Australia: Jhon Wiley & Sons, Ltd.1-385.
- Bluck, B. (1967). Sedimentation of beach gravels- Examples from South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(1), 128-557.
- Bodge, K. (1992). Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *Journal of Coastal Research*, 8(1), 47–55.
- Brunn, P. (1954). La erosión costera y el desarrollo de perfiles de playa. [Washington]: US Beach Erosion Board.

- Cáceres, C. (2011). *Como se forman las Olas*. Recuperado El 17 de Octubre de 2020.
<https://es.slideshare.net/pteria/taller-11-8926192>
- Caicedo, A. P., Hernández, J., Castañeda, J., & González, M. (2017). Aportes Sedimentarios y Evolución Litoral de la Franja Oriental del Golfo de Urabá, Zona de Turbo. *INVEMAR*, 1–47.
- Carter, R. (1998). Coastal environments and introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. *Journal of Ecology*, 17(4), 476–477.
- (Casanova, Elementos de Geometría. curso completo de topografía, 2010)
- C.I.O.H. (2010). *Centro de Investigaciones Oceanograficas e Hidrograficas*.
<https://www.cioh.org.co/index.php/es/institucional/sm-zona-costera/antecedentes-zonacostera.html>
- C.I.O.H. (2020). *Circulación General De La Atmósfera en Colombia*. Informe General Climatico Del Caribe Colombiano; Obtenido de CIOH - Centro de Investigaciones Oceanograficas e Hidrograficas.
<https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/01-InfoGeneralClimatCaribeCol.pdf>.
- Correa, I. D., & Vernet, G. (2004). Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Urabá (Sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33(1), 07–28.
- De La Peña, J. . (2007). Guía Técnica de Estudios Litorales. *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*.
- Dean, R. (1997). Equilibrium beach profile: US Atlantic and Gulf Coasts, Department of Civil Engineering. *Ocean Engineering* (12).
- Doria, H., & Orrego, C. (2012). *Informe Tecnico - Atención y Evaluación Problemática Erosión Zona de ladera alrededores del Volcán de Lodo Arboletes*.
- Eurocion. (2004). *Tesaurus de la Costa*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Franco, E., & Gomez, J. (1996). *Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos, sector Rio Necocli - Turbo*. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- G.I.O.C. (2000). Documento de Referencia (Vol. 2). *Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas - Universidad de Cantabria, Santander, España: Ministerio de Medio*

- Ambiente.*, 1–398.
- Gómez, C., Alberto, J., & Arce, G. (2018). Geomorfología II: Morfología litoral; Agentes, procesos y formas resultantes. *Revista Geografica Digital*,
<http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo21/archivos/gomezalbe14.pdf>.
- González, D., & Guarín, F. (2003). *Evolución Geomorfológica de los acantilados entre Arboletes (Antioquia) y la desembocadura del Río Córdoba (Córdoba)*. Medellín, Colombia : Universidad de Eafit - Departamento de Geología.
- Gonzales, J. (1992). Geomorfología y problemas erosivos del Litoral Caribe Colombiano, sector: Delta de Tinajones-Punta Caribaná. *INGEOMINAS Regional Del Caribe*.
- González-Gorbeña, E. (2009). *Metodología para determinar criterios de calidad de rotura del oleaje. Aplicación a las playas del Sardinero y Somo*. Universidad de Cantabria-Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos.
- Guerrero, M. (2017). *CLASIFICACIÓN MORFOLOGÍCA E HIDRODINÁMICA DE LAS PLAYAS DEL CARIBE COLOMBIANO*. Universidad del Norte, Departamento de Física.
- Guillén, J. (2020). *Geología de la zona litoral*. Recuperado El 20 de Octubre de 2020; Caminos UDC ES: <https://gma.icm.csic.es/sites/default/files/pdf/Geologia-del-litoral.pdf>
- HIDRONAV. (2014). Determinacion de Rompiente de Olas. *Dirección de Hidrografía y Navegación, Norma Técnica Hidrográfica N° 46.*, 4–14.
- Ibarra Marinas, D., & Belmonte Serrato, F. (2017). *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos*. Murcia: Editum.
- IDEAM. (2020). *Pronóstico de pleamares y bajamares en la costa caribe colombiana*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/137236/CARTILLA+CARIBE+2020/953226d0-7bef-420f-b265-f9d47975d719?version=1.1>.
- Kokot, R. (2004). Erosión de la zona patagónica por cambio climático. *Revista de La Asociación*, 715-726.
- Komar, P. D. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall; 2nd edition.
- Komar, P., & McDougal, W. (1994). The analysis of exponential beach profiles. *Journal of Coastal Sediments*, 10(1), 59-69.

- Larson, M. (1991). Equilibrium profile of a beach with varying grain size. *Proceedings of Coastal Sediments*, 905–919.
- (Ley, Gallego, & Vidal, 2007) *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* (2020). Procesos Físicos. Recuperado El 28 de Octubre de 2020. https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/cap02_procesos_fisicos_tcm30-161385.pdf
- Martinez, J. (1996). *Procesos y efectos geodinámicos marinos-costeros*. España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: Shell España, S.A.
- Masmar. (2013). *Características de las olas. Longitud de onda, altura, amplitud, dirección*. Recuperado El 17 de Octubre Del 2020. <http://www.masmar.net/index.php/esl/Apuntes-Náuticos/Oceanografía/Características-de-las-olas.-Longitud-de-onda,-altura,-amplitud,-dirección>
- Mazorra, J. (2004). *Geomorfología y dinámica de la franja costera entre Punta Arboletes y cristo Rey, Departamento de Cordoba*. 100p. Universidad Nacional - Invemar Facultad de Geología, Santa Fe, Bogota, Colombia.
- Merlotto, A., & Bértola, G. (2009). Evolución de la línea de costa en el Balneario Parque Mar Chiquita. *Ciencias Marinas, Argentina*, 35(3), 271–286.
- METED. (2012). *MetEd - Rip Currents: Nearshore Fundamentals*. Recuperado El 28 de Octubre de 2020.
- Moral, R., & Berenguer, J. (1980). *Planificación y Exlotacio de puertos*. Ingeniería Oceanográfica de Costas, Tomo I.
- Navarrete-Ramirez, S. (2014). Protocolo indicador Variación línea de costa: Perfiles de playa. . Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). *Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales Del Invemar No. 73, Santa Marta. 36 P.*
- Nuñez- Useche, F., Barragan, R., & Canet, C. (2014). Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. *La Frontera Final: El Océano Profundo.*, 57-83.
- Otero, E., Mosquera, L., Silva, G., & Guzmán, J. C. (2002). Golfos y Bahías de Colombia. *In Libros de la Colección Ecológica del Banco de Occidente.*

<https://www.imeditores.com/banocc/golfos/cap3.htm#URABA>

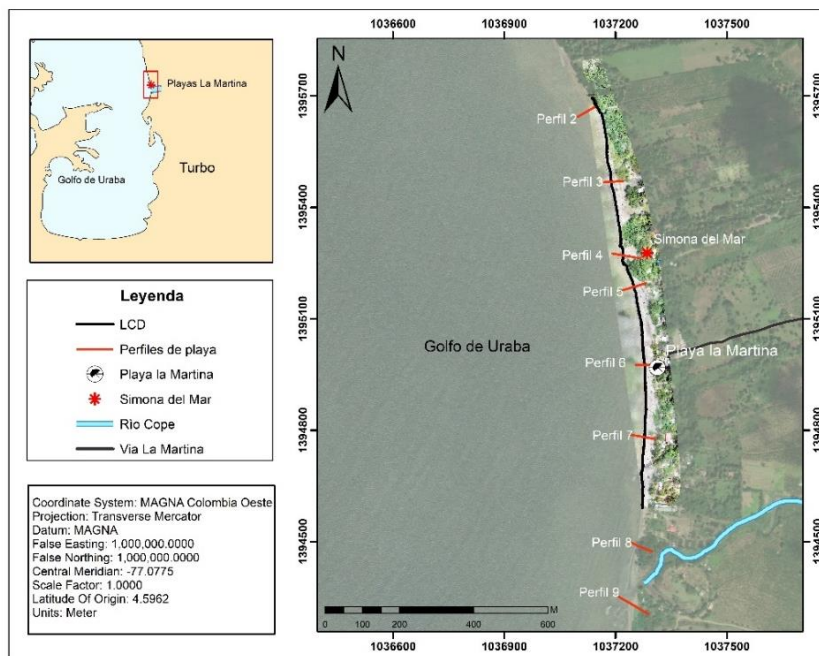
- Paniagua, J. F. (2013). *Migración Historia Actualizada y Predicción de la Posición de la línea de costas en sectores Acantilados criticos del Litoral Antioqueño Considerando Escenarios de Ascenso del Nivel del Mar*. Medellín: Universidad EAFIT - Escuela de Ingeniería.
- Posada, B., & Rozo, D. (2014). *Los Espacio Oceanicos y Zonas Costeras e Insulares de Colombia* (pp. 12–21). En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2013. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 192p.
http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/IERMAC_2013.pdf
- Posada, L. (2002). *Erosión costera en el litoral Caribe colombiano, Departamentos de Antioquia y Córdoba*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, Medellín. 16p.
- Posada P, B., & Henao, W. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. *Serie de Publicaciones Especiales N°13*, Santa Marta: INVEMAR.
- Ramirez, E. (2020). *Caracterización De La Dinámica Geomorfológica Y Sedimentaria De La Playa La Martina, En Época Húmeda*. Turbo - Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Robledo, A. (2018). *Patrones De Transporte De Sedimentos En Playa La Martina Durante La Época Húmeda*. Turbo - Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Secaira, F., & Acevedo, C. (2017). Importancia de los arrecifes y dunas en la protección costera. *Mexico: The Nature Conservancy*.
- Short, A. (1999). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. *Beaches*, 3–20.
- Silva, R., & Mendoza, E. (2015). Tema 2: Hidráulica. Manual de Diseño de Obras Civiles. In *Capítulo A.2.17 Obras Marítimas: Tomo I al Tomo V, Sección A: Hidrotecnia*,. omisión Federal de Electricidad. México. (En imprenta).
- SITES. (2020). *Diagnostico litoral - Alternativas de la dinamica litoral*. Sistemas Litorales. Recuperado El 21 de 09 de 2020.
<https://sites.google.com/site/sistemaslitorales/diagnosi/destruccio/la-dinamica-litoral>
- Sorense, J., & McCreary. (1990). *Institutional Arrangements for Mananging Coastal Resources and Environments*. Segunda edicion revisada. Servicios de Parques

- Nacionales, ISBN 0-931531-00-4.
- Spalding, M., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M., & Robertson, J. (2007). Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57, 573–583.
- Steer, R., Arias-Isaza, F., Ramos, A., Sierra-Correa, P., Alonso, D., & Ocampo, P. (1997). Documento base para la elaboración de la "Política Nacional de Ordenamiento Integrado de las Zonas Costeras de Colombianas. *Documento de Consultoría Para El Ministerio Del Medio Ambiente.*, 6, 1–112.
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. In *Pearson Educación S. A.*
- Thomas, F., García, C., Cesaraccio, M., & Rojas, X. (2007). *El paisaje en el Golfo* (pp. 94–95–100). En Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Invenary Gobernación de Antioquia. Santa Marta, Colombia. Serie de Publicaciones Especiales de Invenmar N° 12.
- Van Rijn, L. C. (1993). Principles of sediment transport in Rivers, Estuaries and Coastal Sea. *The Netherlands: Aqua Publications.*
- Velásquez, L. (2013). Modelación del transporte de sedimentos en el Golfo de Uraba, Colombia. *Medellin: Universidad de EAFIT.*
- Vidal, C., Losada, M., Medina, R., & Losada, L. (1995). Modelos Morfodinamicos de las playas. *Ingenieria Del Agua*, 55–74.
- Wright, L., Thom, B., Bradshaw, M., & Cowell, P. (1979). Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems. *Marine Geology*, 31(1–2), 105–140.
- Zetina, M. C., Sánchez, I., P., Osorio, R. H., Mariño, T. I., Castillo Ch, R., & Cauich T, J. (2008). Análisis de modelos de perfil de playa en equilibrio. *Ingenieria*, 15–31.
- Zujar, J. (2000). Métodos para el cálculo de erosión costera. *Boletín de La A.G.E.*, 30, 103–118.

9. ANEXOS

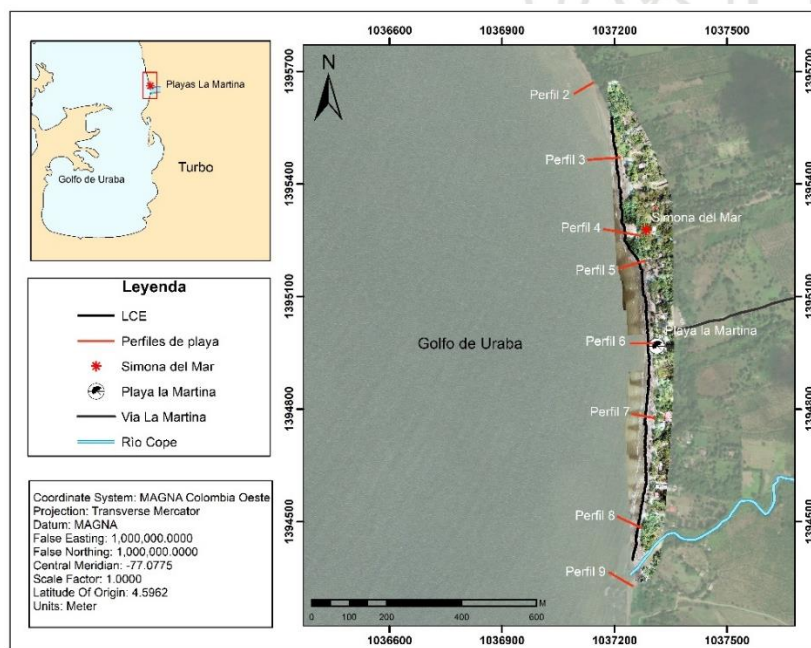
Anexo 1. Planes de vuelos sentido sur-norte correspondientes a los meses de diciembre del 2019 y enero, febrero y marzo del año 2020 (**Fuente:** Elaboración Propia).

Ortofoto obtenida el 17 de diciembre del 2019.



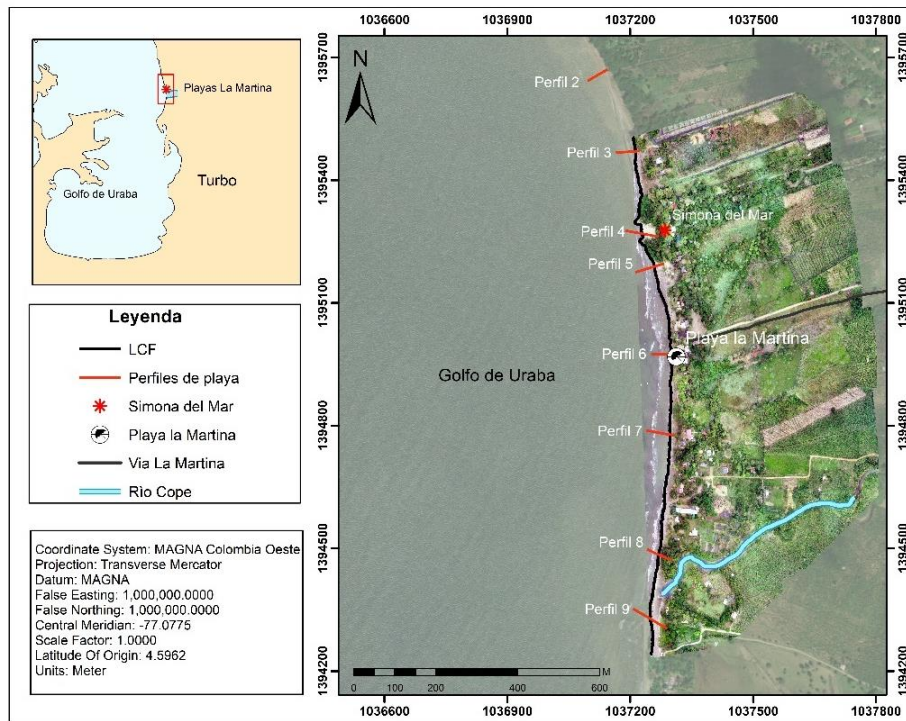
Fuente: Elaboración Propia

Ortofoto obtenida el 13 de enero del 2020



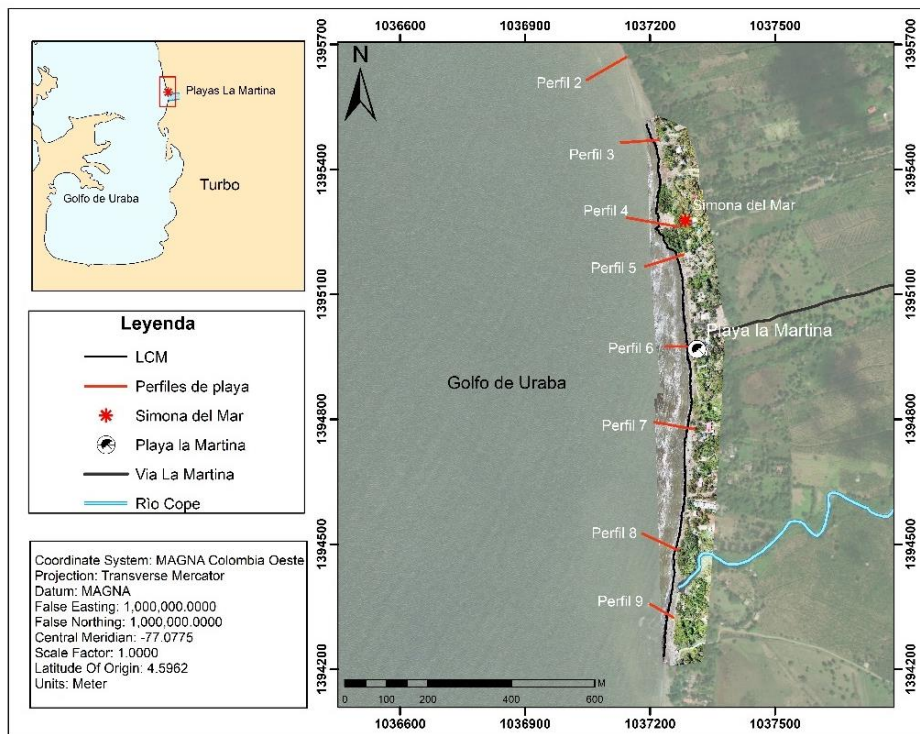
Fuente: Elaboración Propia

Ortofoto obtenida el mes de 24 de febrero del 2020



Fuente: Elaboración Propia

Ortofoto obtenida el mes de 14 de marzo del 2020



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Información de los valores netos de erosión y acreción en la zona de estudio para los meses de diciembre del 2019, enero, febrero y marzo del 2020.

Diciembre-Enero			
Sub zona	Erosión m²	Acreción m²	Neto m²
SZ1	-954,01	0,00	-954,01
SZ2	-727,80	0,00	-727,80
SZ3	-242,20	36,94	-205,26
SZ4	-55,26	111,21	55,95
SZ5	-1111,01	0,00	-1111,01
SZ6	-972,88	0,00	-972,88
SZ7	-718,08	0,00	-718,08
SZ8	-519,82	0,00	-519,82
SZ9	-237,42	28,27	-209,15
SZ10	-396,81	0,00	-396,81
SZ11	NaN	NaN	NaN
SZ12	NaN	NaN	NaN
SZ13	NaN	NaN	NaN

Fuente: Elaboración Propia.

Enero-Febrero			
Sub zona	Erosión m²	Acreción m²	Neto m²
SZ1	NaN	NaN	NaN
SZ2	-1560,55	0,00	-1560,55
SZ3	-1334,64	0,00	-1334,64
SZ4	-616,88	1,45	-615,43
SZ5	-99,32	305,74	206,41
SZ6	-950,63	0,00	-950,63
SZ7	-1484,31	0,00	-1484,31
SZ8	-1318,68	0,00	-1318,68
SZ9	-1827,16	0,00	-1827,16
SZ10	-1316,95	0,00	-1316,95
SZ11	-1105,42	0,00	-1105,42
SZ12	-1890,90	0,00	-1890,90
SZ13	NaN	NaN	NaN

Fuente: Elaboración Propia

Febrero - Marzo			
Sub zona	Erosión m²	Acreción m²	Neto m²
SZ1	NaN	NaN	NaN
SZ2	-25,25	608,70	583,45
SZ3	0,00	315,78	315,78
SZ4	-1,38	550,84	549,46
SZ5	-643,39	33,88	-609,51
SZ6	-14,16	920,45	906,29
SZ7	0,00	1025,44	1025,44
SZ8	-1,41	194,29	192,88
SZ9	0,00	929,02	929,02
SZ10	-7,59	621,85	614,26
SZ11	-1,60	247,65	246,05
SZ12	0,00	792,91	792,91
SZ13	0,00	531,50	531,50

Fuente: Elaboración Propia