



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA
GEOMORFOLÓGICA Y SEDIMENTARIA DE LA
PLAYA LA MARTINA, EN ÉPOCA HÚMEDA.**

Autor

ROBERT ESTIBEN RAMÍREZ GUERRERO

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento (Escuela ambiental)
Turbo, Antioquia. Colombia
2020



CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA Y SEDIMENTARIA
DE LA PLAYA LA MARTINA, EN ÉPOCA HÚMEDA. TURBO, ANTIOQUIA

Robert Estiben Ramírez Guerrero

TRABAJO DE GRADO
Como requisito para optar al título de:
Ingeniero Oceanográfico.

Asesor

Alfredo Jaramillo Vélez (Ingeniero Ambiental)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Turbo, Antioquia. Colombia
2020.

Agradecimientos

Agradecer antes que todo a Dios, a mi familia y a mis maestros por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de estos años, conocimientos que fueron puestos con empeño para que este proyecto y todo lo que significa, saliesen de la mejor forma.

Como segundo, quiero agradecerle a mi asesor Alfredo Jaramillo Vélez por el acompañamiento incondicional, por estar ahí cada vez que algo no estaba saliendo de la mejor forma y por hacer que cada día que pasara me convirtiese en un mejor profesional y en un mejor ser humano. Espero que la vida le regale muchos éxitos por regalarme su tiempo, por enseñarme el valor de la comunicación, del trabajo en equipo y de la responsabilidad.

Agradecerle también a Simona del Mar por brindarme la confianza para sacar adelante parte de este proyecto y dar mis primeros pasos como ingeniero oceanográfico, agradecerles también por brindarnos a mi asesor y a mí, su apoyo constante en cada una de las actividades y momentos del proyecto.

Por último, también agradezco a mi compañera en toda esta travesía: Annie Kelly Robledo y también al compañero Wilmar Mosquera por el arduo acompañamiento en campo.

Contenido

I.	Resumen.....	9
II.	Abstract	10
1.	Introducción	11
2.	Objetivos	13
2.1	Objetivo general.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3.	Marco teórico.....	14
3.1	Zona costera	14
3.1.1	Línea de costa.....	16
3.1.2	Erosión.....	16
3.1.3	Acreción.....	17
3.2	La playa y su perfil típico	17
3.3	Clasificación de las playas.....	18
3.3.1	Playas reflejantes ($\Omega < 1.5$).....	18
3.3.2	Playas disipativas ($\Omega > 6$).....	18
3.3.3	Playas con barra longitudinal y seno ($\Omega \approx 5$).....	19
3.3.4	Playas con barras rítmicas ($\Omega \approx 4$)	19
3.3.5	Playas con barras transversales y corrientes de retorno ($\Omega \approx 3$).....	20
3.3.6	Playa con terraza de bajamar ($\Omega \approx 2$)	20
3.1	Clasificación de los sedimentos para las playas	21
3.2	Transporte de sedimentos y corrientes	22
3.2.1	Tipos de transporte de sedimento.	22
3.2.2	Parámetros granulométricos.....	23
3.2.3	Corrientes.....	24
4.	Metodología	26
4.1	Área de estudio	26
4.2	Boya Lagrangiana o Derivadores.....	28
4.3	Perfiles de playa	30
4.4	Granulometría	32
4.5	Fotografías Aéreas.....	35
5	Resultados y análisis.....	36

5.1	Corrientes en playa La Martina	36
5.2	Perfiles de playa	41
5.3	Granulometría La Martina GRADISTAT	49
5.4	Fotointerpretación y digitalización de parámetros costeros	54
6.	Conclusiones.....	60
7.	Recomendaciones	61
8.	Referencias Bibliográficas	62

Índice de Figuras

Figura 1. Perfil típico de la playa. Fuente: (Gutierrez & Montoya, 1985)	17
Figura 2. Playa reflejante. Tomado de (Gutiérrez, 2011).	18
Figura 3. Estado de una playa disipativas. Tomado de (Gutiérrez, 2011).	19
Figura 4. Playa con barra longitudinal. Tomado de (Gutiérrez, 2011).	19
Figura 5. Playas con barras rítmicas. Tomado de (Gutiérrez, 2011).	20
Figura 6. Playa con barras transversales y corrientes de retorno.	20
Figura 7. Playa con terraza de bajamar. Tomado de (Gutiérrez, 2011).	21
Figura 8. Clasificación según el tamaño de los sedimentos. Tomada de post.geoxnet.com .	22
Figura 9. Ubicación geográfica de Área de estudio.	27
Figura 10. GPS (Garmin eTrex 10) y derivador artesanal. Herramientas importantes en la medición de corrientes. Fuente: servicio de imágenes de Google.	28
Figura 11. Ubicación del lanzamiento de los derivadores por los sectores definidos.	29
Figura 12. ubicación de los mojones y perfiles en orto fotografía Playa La Martina.	30
Figura 13. Pasos durante la granulometría.	33
Figura 14. Cuarteo de los sedimentos.	33
Figura 15. Herramientas utilizadas durante la práctica de la granulometría. Fuente: “Prácticas de Materiales de Construcción” Universidad de alicante (2008-2009).	34
Figura 16. Drone “Inspire one” y Aplicación utilizada para el plan de vuelo, Fuente: Servicio de imágenes de google.	35
Figura 17. Dirección y trayectoria de corrientes superficiales en playa La Martina, obtenidas a partir de derivadores en agosto de 2018. Tomado de (Robledo, 2018)	36

Figura 18. Dirección y trayectoria de corrientes superficiales en playa La Martina, obtenidas a partir de derivadores en noviembre de 2018. Tomado de (Robledo, 2018).	38
Figura 19. Dirección y trayectoria de corrientes superficiales en playa La Martina.....	39
Figura 20. transectos a lo largo de Playa la Martina.....	42
Figura 21. Comparación entre campañas para los perfiles 1, 2 y 3.	43
Figura 22. Comparación entre campañas para los perfiles 4,5 y 6.	44
Figura 23. Comparación entre campañas para los perfiles 7,8 y 9.	45
Figura 24. promedio de pendientes de playa con relación a su granulometría.....	47
Figura 25. Layout descriptivo de la parte NORTE de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.	55
Figura 26. Layout descriptivo de la parte CENTRO de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.....	56
Figura 27. Layout descriptivo de la parte SUR de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.	57

Índice de tablas

Tabla 1. Modos de transporte de los sedimntos. Elaboración propia	23
Tabla 2. fechas de los perfiles realizados para la época húmeda.....	31
Tabla 3. coordenadas de los perfiles levantados.....	31
Tabla 4. azimuts y altura de los mojones de cada perfil.	31
Tabla 5. Información de las corrientes de agosto de 2018. Tomado de (Robledo, 2018).....	37
Tabla 6. Información de las corrientes de 4 y 5 noviembre de 2018.....	38
Tabla 7. Información de la corriente correspondiente al Track 05_nov_2018.....	38
Tabla 8. información de las corrientes del 29 de noviembre y 6 de diciembre.	40
Tabla 9. comportamiento de cada uno de los perfiles estudiados en las 4 campañas (Jul-Sep-Oct-Nov).	46
Tabla 10. Cálculo del promedio de las pendientes de playa.	48
Tabla 11. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Norte y Nor-Centro).	50
Tabla 12. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Centro y Centro-Sur).	51
Tabla 13. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Sur).	52
Tabla 14. Resumen de los parámetros encontrados en cada muestra según la metodología de Folk y Ward.....	53
Tabla 15: Áreas (inicial y resultante) para la época húmeda.....	58
Tabla 16: Áreas totales por sectores.	59

I. Resumen

Se realizó una CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA GEOMORFOLÓGICA Y SEDIMENTARIA de la playa La Martina, Turbo, Antioquia durante la época húmeda de 2018 a través de un monitoreo por perfiles de playa, donde se complementó con un análisis granulométricos para 39 muestras de sedimentos de la playa, extraídas de 3 zonas dinámicamente importantes: Infra-mareal o rompiente, Meso-mareal o zona de Swash y Supra-mareal o Berma, y representativas para los 9 perfiles topográficos ubicados a lo largo de la playa. Complementariamente, se lanzaron derivadores lagrangianos en 3 ocasiones en momentos de bajamar y pleamar máximo, con el fin de captar los patrones de la corriente de deriva durante época húmeda, y se hicieron levantamientos de ortofotos mediante drones, las cuales fueron realizadas en el inicio y final de la época húmeda. El objetivo de este trabajo fue establecer las relaciones entre procesos costeros y los parámetros del tamaño de grano, asociados al cambio geomorfológico y sedimentario del litoral durante esa época climática. Como resultados de este trabajo, se encontró que la playa está constituida principalmente por arenas muy finas (con un pequeño porcentaje de arenas medias), que se encuentran en un estado moderado de clasificación (sorting), con una asimetría media, y una kurtosis leptocúrtica. En cuanto a la dinámica de las corrientes se observó que a pesar que esta época se caracteriza por tener vientos débiles de sur a norte, la dirección predominante de las corrientes es hacia el sur y en el sector norte las velocidades son mínimas. Por ultimo a partir de la aerofotogrametría se pudo estimar el cambio cuantitativo de la ganancia o retroceso de la línea de costa tanto términos de área como de volumen. Encontrado que para el sector norte y sur el retroceso de la línea de costa fue evidente y en algunos casos llegando a estar por encima de 10 [m] entre el inicio de la época húmeda y el fin de la misma. Y en la zona central se evidenciaron ganancias superiores a los 7 [m] de línea de costa.

Palabras claves: Litoral, línea de costa, Geomorfología costera, procesos marinos, corrientes, Parámetros de tamaño de grano.

II. Abstract

A characterization of the geomorphological and sedimentary dynamics of the beach La Martina, Turbo, Antioquia was carried out during the wet season of 2018 through a monitoring by beach profiles, where it was complemented with a granulometric analysis for 39 samples of sediments from the beach, extracted from 3 dynamically important areas: infra-tidal or breakwater zone, meso-tidal or swash and supra-tidal or berm area, and representative for the 9 topographic profiles located along the beach. Complementarily, lagrangian drifters were launched 3 times at low tide and high tide, in order to capture the patterns of drift current during the wet season, and drone orthophoto surveys were carried out, which were performed at the beginning and end of the wet season. The objective of this work was to establish the relationships between coastal processes and the parameters of the grain size, associated with the geomorphological and sedimentary change of the coast during that climatic season. As a result of this work, it was found that the beach consists mainly of very fine sands (with a small percentage of medium sands), which are in a moderate state of sorting (sorting), with a medium asymmetry, and a leptocortical kurtosis. As for the dynamics of the currents, it was observed that although this season is characterized by weak winds from south to north, the predominant direction of the currents was to the south and in the northern sector the speeds were minimal. Finally, from the aerial photogrammetry it was possible to estimate the quantitative change in the gain or retreat of the coastline both in terms of area and volume. It was found that for the northern and southern sector the erosion of the coast was evident and in some cases it was above 10 [m] between the beginning of the wet season and the end of it. and in the central area there were gains above 7 [m] of coastline.

Keywords: Coastline, coast line, coastal geomorphology, marine processes, currents, grain size parameters.

1. Introducción

El litoral costero se considera como uno de los ambientes más cambiantes y activos de la tierra, por lo que implica para la sociedad desarrollar diferentes tipos de análisis acerca de su comportamiento, de la influencia del mar en la costa y de otros factores climáticos y ambientales, para así poder entender este ambiente con mucha más claridad.

Para Colombia, la zona norte del país y en caso puntual la zona de Urabá, está siendo foco importante de atención, debido su rápido desarrollo a nivel de infraestructura, convirtiéndose, en un ejemplo para la nación al explorar y potenciar las diferentes particularidades de la zona, principalmente en lo que respecta a la infraestructura portuaria y marítima. Este desarrollo sin duda, implica un esfuerzo y una inversión para conocer a detalle el litoral antioqueño y los procesos sedimentarios que allí ocurren, para lograr un soporte técnico apropiada a las necesidades de desarrollo que demanda la región.

En este Proyecto nos enfocamos en la Playa La Martina, entre el río Cope y punta caimán, una zona que según (Montoya, 2010). “Es poca la información con la que se cuenta, y por las características del golfo, se requiere de gran cantidad de información con una resolución espacial y temporal muy alta”, lo que quiere decir, que se hace menester, crecer en cantidad y calidad de información.

Actualmente la playa “La Martina” cuenta con una problemática de variación acelerada de la línea de costa, que viene afectando a todos los habitantes y comerciantes que hacen uso de esa playa, contando con zonas de alta acreción y otras de alta erosión. Por ende, esta infortunada situación lleva a que algunos propietarios de casas y negocios lindantes a la playa y que viven del turismo, se vean de cierto modo obligados a construir algunas estructuras improvisadas y de diferentes materiales, con la intención de mitigar el efecto del fenómeno de erosión que esté influyendo en dicho litoral.

Particularmente, encontramos que la erosión es ocasionada por varios factores, entre ellos: Los asentamientos inadecuados, la extracción de material de playa, desviación de los ríos, la tala de mangles y otras especies que ayudan al afianzamiento del sedimento. (Montoya, 2010).

Por el lado de la acreción, se puede dar como resultado a procesos naturales como las desembocaduras de los ríos, o antrópicos como el posicionamiento de una obra de protección que altere el equilibrio de la costa, generando acumulación de sedimentos en ciertas partes, pero incrementando la erosión en otras. Este tipo de acciones antrópicas, conlleva a que haya inconvenientes entre los mismos

residentes de la zona y a esto, se le suma que en la zona se cuenta con poca información respecto a su dinámica, que permita establecer alternativas de protección basadas en datos reales y actualizados. Por lo que se vuelve de gran importancia realizar un aporte al estudio de la zona, con la intención de conseguir favorecer el crecimiento en términos de investigación oceanográfica y aportar con la caracterización de una playa turísticamente importante para la región y relacionar así, qué procesos son los responsables de esa dinámica.

Por lo expresado anteriormente, se planteó el estudio en esta playa con la intención de describir los procesos de la dinámica sedimentaria en la playa de La Martina, como una herramienta útil y actualizada que permita a los usuarios del litoral, tomar decisiones sobre la gestión de los recursos en su territorio. Yo como estudiante de Ingeniería Oceanográfica de la Universidad de Antioquia, colecté la información requerida de toda la línea de costa de la playa La Martina e hice el debido procesamiento luego de la toma de datos, pude dar aplicación a los conocimientos adquiridos durante toda la carrera. Todo esto con el fin de lograr una caracterización geomorfológica litoral de la zona a lo largo de un periodo de época húmeda (se tomó solo una época climática en el presente estudio dado el alcance temporal de una práctica académica).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Caracterizar la variación geomorfológica de la playa La Martina durante la época húmeda.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la variación morfológica de la playa por medio de perfiles de playa.
- Caracterizar geomorfológica y sedimentológicamente la playa La Martina.
- Asociar patrones de corrientes costeras con la dinámica de sedimentos y los cambios geomorfológicos evidenciados.
- Identificar la variación del balance sedimentario (erosión y acreción) de la playa en época húmeda a través de fotografías aéreas.

3. Marco teórico

Los estudios y análisis de los diferentes procesos que conforman una playa pretenden explicar, sus diferentes tipos de formas y comportamientos naturales, al igual que los no naturales, que son inducidos básicamente por el hombre; toda esta dinámica y procesos se estudian en un tiempo determinado de forma que cubra desde los cambios más significativos a los más leves, para poder dar conclusiones acertadas y correctas, lo que lo vuelve de fundamental importancia para manejar de forma sostenible los recursos costeros, y tener conocimientos funcionales para el trato de las costas.

Las zonas costeras son una pequeña parte territorial del planeta y en lo que concierne a las áreas litorales de América Latina y Caribe (ALC) trata de una franja que supone entre el 4% (Small y Nicholls, 2003) y el 15% (UNEP, 2006) de la superficie terrestre. Además, en ALC alberga ecosistemas costeros marinos de gran importancia como manglares y arrecifes de coral. Por ello, la ocupación del suelo y el cambio de usos por la continua urbanización del litoral, constituye un tema de especial trascendencia (Barragán y De Andrés, 2016).

Pero las costas en general son zonas con gran dinámica, donde las variaciones del nivel del mar, del nivel de los terrenos, acción dinámica del oleaje y los procesos de sedimentación juegan un papel muy importante en su naturaleza cambiante, ocasionando generalmente transporte de sedimentos, a consecuencia del cual se producen tantos retrocesos (erosión) así como como avances (acreción) de la línea de costa y de la plataforma costera (Gómez, 2016).

Dentro de los agentes dinamizadores que se mencionaban anteriormente, que influyen en variación de la línea de costa vale la pena destacar el oleaje, las mareas, las corrientes, el viento y por supuesto, la acción del hombre, quien, a través de construcciones, dragados, vertidos, entre otros, acelera muchas veces el proceso natural de la dinámica de la playa.

A continuación, se desarrollarán algunos conceptos bases necesarios para la comprensión del presente trabajo.

3.1 Zona costera

Se considera como zona costera a la amplia eco región con intensas interacciones físicas, biológicas y socioeconómicas, dónde ocurre un dinámico intercambio de energía y materiales entre el continente, las aguas dulces, la atmósfera y el mar adyacente (Yáñez-Arancibia y Day, 2010).

Dentro de los agentes dinamizadores que influyen en esa variación de la línea de costa y cambio de volumen de material disponible en la playa, vale la pena destacar: el oleaje, la marea, las corrientes, el viento y por supuesto, la acción del hombre, quien, a través de construcciones, dragados, extracciones, entre otros, altera la dinámica natural de la playa. Dicho perfil de playa, o sección transversal de una playa, adquiere su forma gracias a las olas que se desplazan desde mar adentro (*off shore*) hacia la playa y rompen en la zona de *surf*, donde se producen acumulaciones o barras de arena, y posteriormente llegan las olas al límite de la playa, lo que se conoce como la zona de *swash*, la cual se extiende desde el límite del nivel más bajo y el límite del nivel más alto alcanzado por el oleaje en la playa. En la parte alta de esta zona se forman las bermas (*swashbars*), que son acumulaciones de sedimento *on shore* debido a ese movimiento de las olas.

Estas mismas olas ocasionan corrientes que desplazan el sedimento, ya sea en suspensión o por el fondo, longitudinal o transversalmente a la línea de costa. El transporte transversal de sedimentos es el principal agente en la formación de las barras, seno y bermas (Manjarres, Mosquera, Montoya, & Sabalza, 2015), tal como se muestra a continuación en la Figura 1

Las corrientes generadas por ese oleaje, también influyen considerablemente en el movimiento de los materiales sedimentarios a lo largo del litoral y es una causa fundamental de la erosión o progradación de la costa. Por ejemplo, la corriente de deriva litoral: se produce cuando las olas llegan oblicuas a una costa rectilínea, generalmente en ángulo inferior a 10° (el ángulo nunca puede ser mayor debido a la refracción), esto da nacimiento a una corriente paralela al litoral, entre la zona de rompiente y la orilla. La velocidad de la deriva es mínima fuera de la zona de rompiente, lo que demuestra claramente que es inducida por el oleaje y no puede ser atribuida a corrientes oceánicas o corrientes de marea. La velocidad de la deriva depende de: la altura de la rompiente, el período y ángulo de incidencia de las olas, la pendiente y rugosidad de la playa (Ortiz Royero, 2015).

Por otro lado, las corrientes perpendiculares a la costa (*rip-currents* o corrientes de retorno), consisten en flujos de agua en dirección *off shore* de la playa debido a la dirección transversal del oleaje, ocurren también en lugares de convergencia de dos derivas litorales. Dichas corrientes son angostas (15-30 metros), perpendiculares a la orilla y comprometen la columna de agua, su velocidad es uno a dos nudos (222.22 cm/s) y se caracterizan por sus aguas turbulentas cargadas en materiales finos en suspensión, siendo muy peligrosas para los bañistas (Ramírez, 2006); (Neshyba & Fonseca, 1981).

3.1.1 Línea de costa

Las costas en general, son zonas con gran dinámica, donde las variaciones del nivel del mar, del nivel de los terrenos, acción dinámica del oleaje y los procesos de sedimentación. Juegan un papel muy importante en su naturaleza cambiante, ocasionando generalmente transporte de sedimentos, a consecuencia del cual se producen tanto retrocesos (erosión) así como avances (acreción) de la línea de costa y de la plataforma costera (Gómez, 2016).

Por esta razón, los procesos que impliquen una variación sedimentaria (erosión-acreción), deben ser estudiados con detenimiento y teniendo en cuenta diferentes factores técnicos y climáticos que son independientes de cada sistema.

Según (Guzmán et al., 2008). La línea de costa es la zona de contacto entre el mar y la tierra seca (arena) y se caracteriza por representar la interacción de la rompiente de las olas, el aumento o descenso de las mareas, la descarga de sedimentos de los ríos, las corrientes lejanas y cercanas, procesos biológicos, el lento cambio del nivel del mar, el ascenso o descenso de los continentes y la actividad del ser humano.

La posición de la línea de costa refleja el balance de sedimentos en la costa, y sus variaciones pueden indicar efectos naturales o inducidos por el hombre a lo largo de la misma o en las cuencas fluviales cercanas. La evolución del litoral costero está dada por la interacción de las formaciones rocosas o sedimentarias que lo conforman, las estructuras que lo afectan, los agentes hidrodinámicos y los factores antrópicos (Posada y Henao, 2008).

Estas variaciones de la línea de costa son un fenómeno natural que ha ocurrido durante toda la historia de la tierra, y parte de su evolución se refleja como erosión o como acreción (Eurosion, 2004).

3.1.2 Erosión

Es entendida como el retroceso de la línea de costa ocasionando la destrucción de cientos de kilómetros de playa o como la pérdida de terrenos que albergan ecosistemas costeros o que son aptos para las actividades.

La erosión es también el resultado de un exceso de remoción de sedimentos respecto al aporte suministrado al área en un determinado período, Aunque la erosión de las zonas costeras es un proceso que siempre se ha dado, parece haberse acelerado a partir de los años 70's y 80's (Posada y Henao, 2008).

3.1.3 Acreción

La acreción costera es definida como la acumulación de sedimentos (sedimentación) y la consolidación de terrenos por encima del nivel de las mareas, estos procesos de acreción son propios de las costas bajas y dan lugar al desarrollo y crecimiento de las playas y otras formas de acumulación costera (Carter, 1988).

Hoy en día los procesos de acreción son escasos, la regulación de los cursos fluviales generalizada en las últimas décadas, ha supuesto una merma importante en los sedimentos aportados por los ríos al mar, aun sabiendo que la fuente principal de sedimentos para las playas procede precisamente de dichos aportes. Por ende, la proliferación de estructuras costeras de diverso tipo y actividades antrópicas causan una clara interferencia en el sistema y en su dinamismo.

3.2 La playa y su perfil típico

Las playas son recursos costeros de gran importancia, tanto por su valor económico, turístico y recreativo, como por su valor natural. Estas son un sistema dependiente de todos los recursos y variables a su alrededor, por esta razón, los estudios que se practican en los sistemas de playa son comprendidos como estudios de ecosistemas únicos, ya que cada playa presenta sus propias características y singularidades. Al ser zonas de tanto interés tanto para visitantes y lugareños, es menester mantener un monitoreo y revisión de estas, para así garantizar el debido uso de la misma. Con el fin de mitigar posibles fenómenos que acarreen cambios abruptos, ya sean de tipo natural o asignados a acciones antrópicas en la costa.

Dentro de la dinámica de la playa es importante resaltar, que los sedimentos son el material particulado que interactúa con los fenómenos o agentes dinamizadores de la playa, y de la forma en que esos sedimentos se transporten podemos obtener diversos escenarios, a continuación, podemos observar la forma típica de una playa en perfil como se denota en la Figura 1

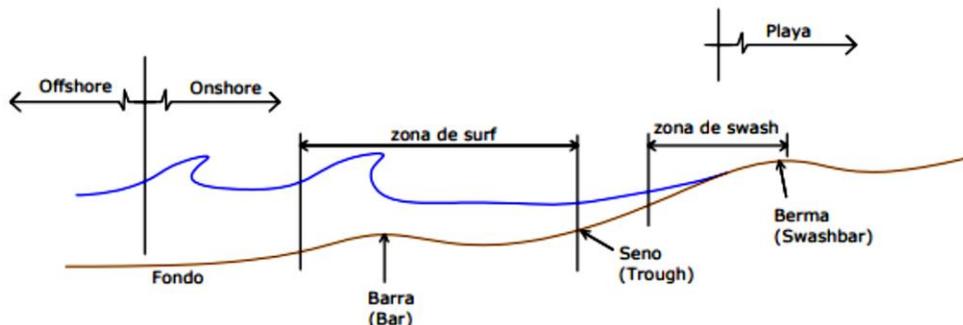


Figura 1. Perfil típico de la playa. Fuente: (Gutierrez & Montoya, 1985)

3.3 Clasificación de las playas

Wright y Short (1984) identificaron seis tipos de playa con morfologías y comportamientos diferentes a partir del parámetro adimensional de asentamiento de los sedimentos (Ω).

3.3.1 Playas reflejantes ($\Omega < 1.5$)

Según (Vidal, Losada y Medina, 1995) las playas reflejantes se forman bajo condiciones de oleaje, poco energético en zonas protegidas y constituidas por sedimentos gruesos, es usualmente uniforme, de pendiente pronunciada y las rompientes son en colapso o en oscilación, sobre el frente de playa (Figura 2).

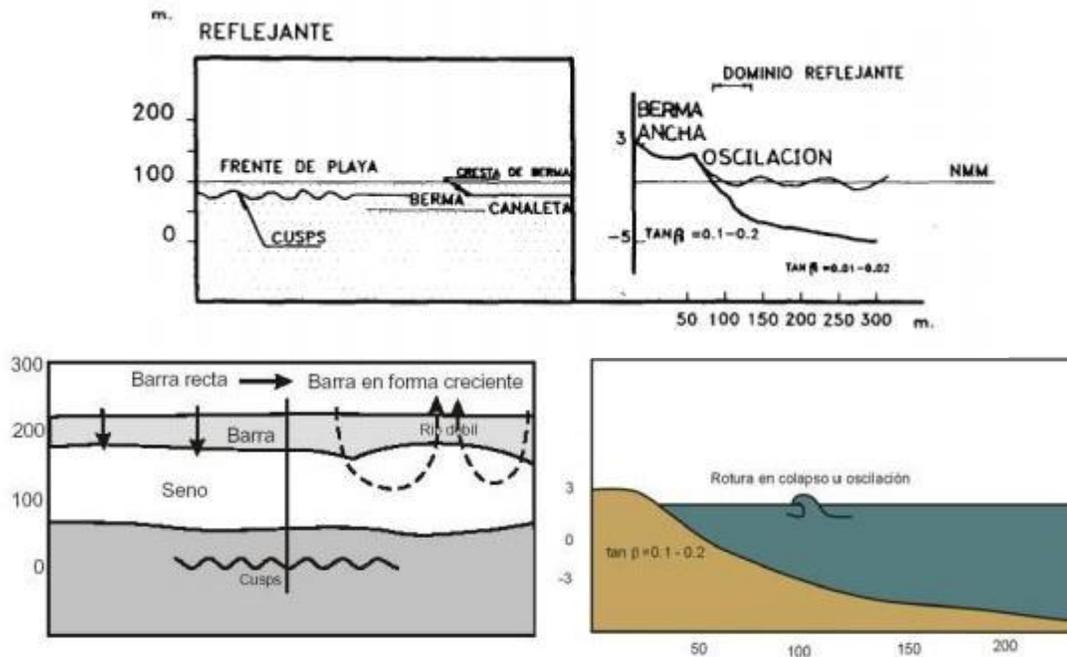


Figura 2. Playa reflejante. Tomado de (Gutiérrez, 2011).

3.3.2 Playas disipativas ($\Omega > 6$)

Las playas disipativas son caracterizadas por ser aplanadas, por tener una pendiente suave, arenas finas o medias, pueden poseer varias barras longitudinales paralelas a la línea de costa y separadas y dada la geometría bidimensional del sistema, las corrientes de retorno son prácticamente inexistentes por senos poco marcados que contribuyen a la disipación del oleaje. Los pequeños gradientes batimétricos favorecen la rotura en descrestamiento, lo que provoca una disipación progresiva de la energía del oleaje y da lugar a una ancha zona de rompientes, esta zona se evidencia por el rastro blanco de espuma que deja este tipo de rotura a su

paso. La playa disipativas suele tener una zona de *swash* muy ancha y una altura de ola en el frente de playa muy pequeña, debida a la eficiente disipación sufrida por el oleaje en su avance (Figura 3). (Gutiérrez, 2011) y (Vidal, Losada y Medina, 1995).

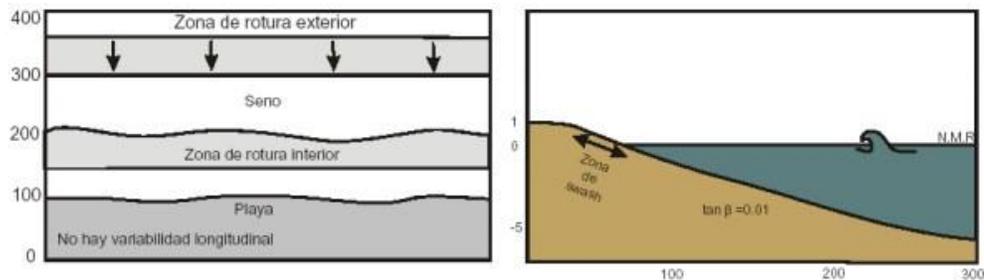


Figura 3. Estado de una playa disipativas. Tomado de (Gutiérrez, 2011).

3.3.3 Playas con barra longitudinal y seno ($\Omega \approx 5$)

Este tipo de playa se caracteriza por la presencia de al menos una barra longitudinal acusada y de perfil asimétrico, con el lado de tierra con mayor pendiente. En esta barra ocurre la rotura del oleaje. El incremento de la profundidad en el seno provoca que el oleaje se recomponga y vuelva a romper sobre el frente de playa; de este modo, aparecen dos zonas de rompientes paralelas y estrechas. La ruptura del oleaje suele ser tipo *surging* o colapso (Figura 4).

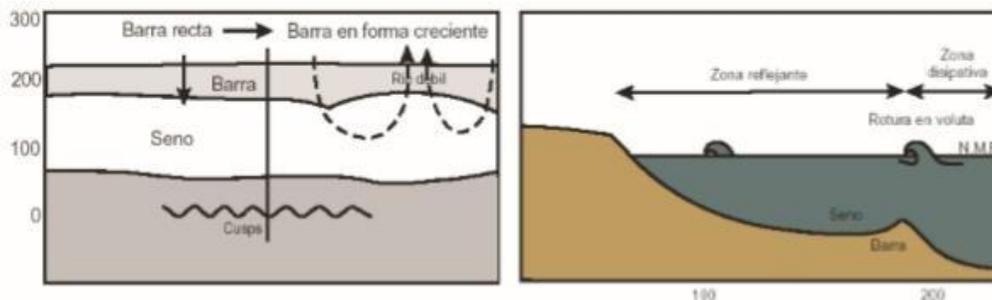


Figura 4. Playa con barra longitudinal. Tomado de (Gutiérrez, 2011).

3.3.4 Playas con barras rítmicas ($\Omega \approx 4$)

El estado de playa y barra rítmicas se caracteriza por la presencia de ondulaciones más o menos periódicas en el espacio. De este modo, aparecen unas formas aconchadas con sus lados cóncavos opuestos entre si tanto en la cara interior de la barra como en el frente de playa, como muestra la Figura 5. En el caso de las corrientes, se presentan corrientes de retorno generando sistemas circulatorios rítmicos a lo largo de la playa.

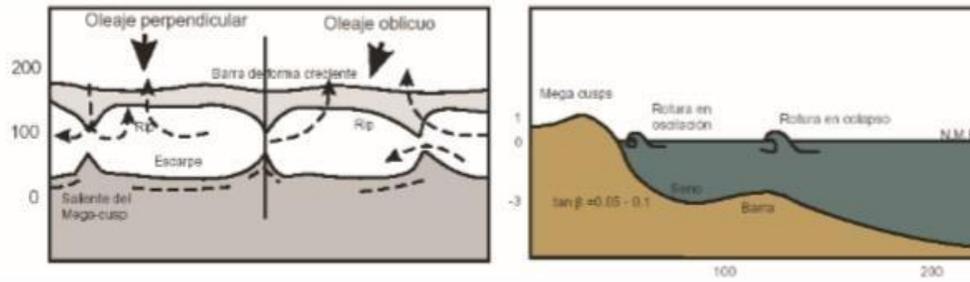


Figura 5. Playas con barras rítmicas. Tomado de (Gutiérrez, 2011).

3.3.5 Playas con barras transversales y corrientes de retorno ($\Omega \approx 3$)

Este estado aparece, en la secuencia de acreción, cuando el desarrollo transversal de las barras y el frente de playa llegan al extremo de que los salientes opuestos llegan a unirse formando una especie de puente entre el frente de playa y la barra, este esquema produce unas “barras transversales” de perfil disipativo alternando con zonas más profundas y de perfil más reflejante por donde se canalizan intensas corrientes de retorno, que constituyen el elemento más característico de este estado de playa por su intensidad y su persistencia (Gutiérrez, 2011) (Figura 6).

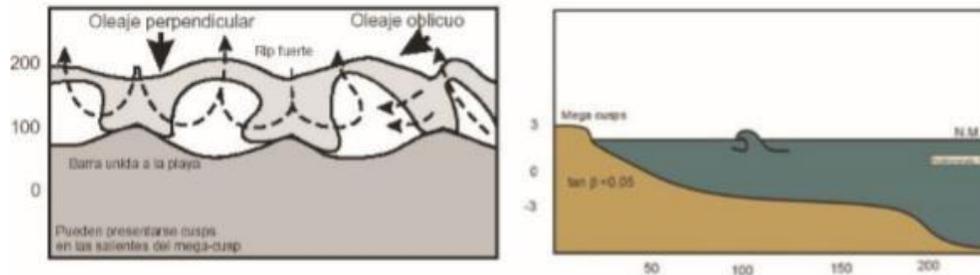


Figura 6. Playa con barras transversales y corrientes de retorno.

3.3.6 Playa con terraza de bajamar ($\Omega \approx 2$)

En este caso la barra migra hacia tierra fundiéndose con el propio frente de playa y dejando un pequeño socavón a lo largo de ellos. En las playas con terraza de bajamar se aprecia la presencia de débiles corrientes de retorno en puntos determinados, La playa con terraza de bajamar es reflejante en pleamar y ligeramente disipativas en bajamar y caracterizada por ser uno de los estados de playa menos energéticos (Figura 7).

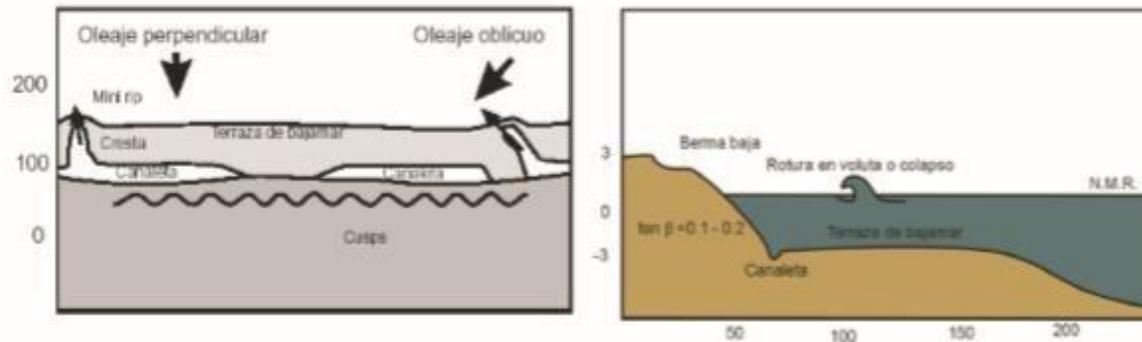


Figura 7. Playa con terraza de bajamar. Tomado de (Gutiérrez, 2011).

3.1 Clasificación de los sedimentos para las playas

Los sedimentos son partículas producto de meteorización de un sustrato, que pueden ser transportadas por agentes físicos como el viento, las olas, las corrientes y la gravedad. Según su origen, pueden ser aquellos que se generan por la degradación de rocas locales o que consisten en granos derivados de partes del cuerpo de organismos que habitan en las zonas costeras, o aquellos que se derivan de la meteorización física y química de rocas continentales que forman granos compuestos por un mineral o una mezcla de minerales, como, por ejemplo, el cuarzo y la arcilla en las zonas costeras y en algunos lugares hay arena que contiene hierro, feldespato o, incluso, yeso.

Las propiedades que definen a los sedimentos son el tamaño de las partículas, su densidad y forma. Todas estas, determinan en gran medida la respuesta de los granos ante las fuerzas que tienden a moverlos ya sea por causa del viento o del agua y, a su vez, se relacionan de manera directa con variables como la velocidad de caída vertical, la porosidad y la dureza.

En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm. Una roca consolidada y compuesta por estas partículas se denomina arenisca. Las partículas por debajo de los 0,063 mm y hasta 0,004 mm se denominan limo, y por arriba de los 2 mm y hasta los 64 mm se denominan grava (Velásquez, 2013). Tal como se muestra a continuación en la Figura 8.

		mm	ϕ	
		↑	↑	
PSEFITAS	Aglomerado	— 1024 —	-10	
		— 512 —	-9	
	— 256 —		-8	
	Grava	— Gruesa —	128 —	-7
		— Mediana —	64 —	-6
		— Fina —	32 —	-5
	— 16 —		-4	
— 8 —		-3		
— 4 —		-2		
PSAMITAS	— 2 —		-1	
	Arena	— Muy Gruesa —	1 —	0
		— Gruesa —	0,5 —	1
		— Mediana —	0,25 —	2
		— Fina —	0,125 —	3
		— Muy Fina —	0,062 —	4
— Grueso —		0,031 —	5	
PELITAS	Limo	— 0,015 —	6	
		— Fino —	0,0078 —	7
	— 0,0039 —		8	
	Arcilla	— 0,0020 —	9	

Figura 8. Clasificación según el tamaño de los sedimentos. Tomada de post.geoxnet.com

El sedimento de la zona litoral presenta habitualmente una disminución del tamaño de grano desde la línea de costa hacia la plataforma continental. Esta gradación del tamaño de grano del sedimento se debe a la disminución de la energía de los flujos de transporte hacia la plataforma, aunque la presencia de corrientes mareales de elevada intensidad puede interrumpir la gradación en algunas playas.

3.2 Transporte de sedimentos y corrientes

3.2.1 Tipos de transporte de sedimento.

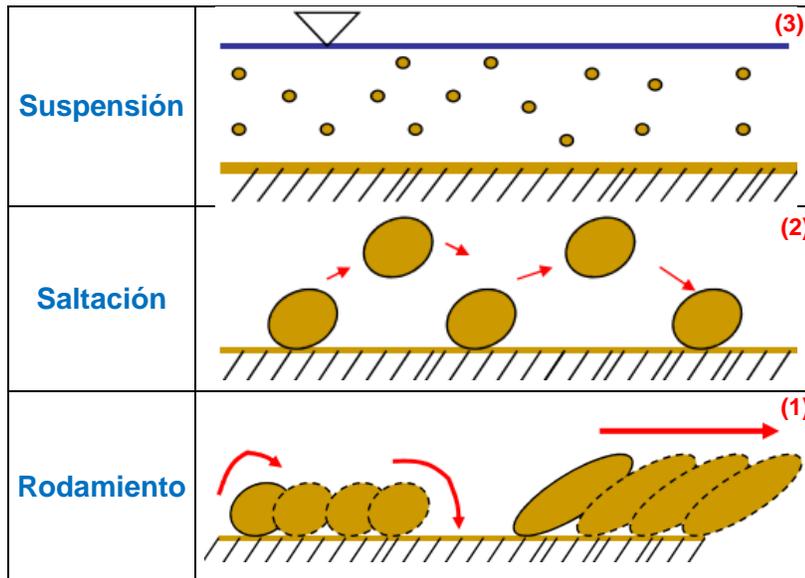
Una vez los sedimentos inician el movimiento, pueden ser transportados por el flujo por medio de los siguientes modos de transporte:

- 1) Rodamiento o deslizamiento en el lecho, permaneciendo en contacto con el fondo.
- 2) Saltación, saltando entre el flujo y el lecho.
- 3) Suspensión, soportados por el fluido circundante durante todo el movimiento. Los sedimentos que al moverse experimentan algún contacto con el lecho se conocen como carga de fondo, mientras que los que permanecen soportados por el fluido hacen referencia a la carga en

suspensión

El 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. Generalmente los sedimentos en suspensión se describen en términos de concentración (masa de los sedimentos con respecto al volumen del fluido) (Velásquez, 2013).

Tabla 1. Modos de transporte de los sedimentos. Elaboración propia



3.2.2 Parámetros granulométricos

Existen cuatro parámetros que sirven para caracterizar una curva de distribución granulométrica que son:

- Media

El tamaño medio de una muestra la clasifica dentro de una escala de tamaños y la relaciona con la energía cinética media a la que está sometido el ambiente sedimentario.

El tamaño medio de grano o variables directamente dependientes como por ejemplo la velocidad de caída, es el parámetro habitualmente empleado en los modelos de transporte de sedimentos, igualmente es el parámetro utilizado para calcular la velocidad umbral de movimiento, en el cálculo de perfiles de equilibrio e incluso en la caracterización morfo dinámica de las playas.

- Grado de selección (*Sorting*)

Este indica si el rango de tamaños existentes en la muestra es amplio o no, pero además refleja las oscilaciones de la energía cinética del ambiente muestreado.

- La asimetría (*Skewness*)

Analiza la posición de la media respecto a la mediana, entonces cuando la asimetría es negativa (-) el valor de la media corresponde a un tamaño de grano más grueso que la mediana y por tanto las variaciones de la energía cinética media se desplazarán hacia valores más altos de lo normal y por el contrario si la media está desplazada hacia tamaños más finos que la mediana, se obtiene un valor de asimetría positivo (+), lo cual indica que la energía cinética media ha oscilado hacia valores más bajos de lo normal.

- Angulosidad (*Kurtosis*)

Analiza la forma achatada o puntiaguda de la curva respecto a una curva normal o gaussiana, por ende, las muestras con curvas angulosas indican que las oscilaciones de la energía cinética media se restringen al 50% central durante un tiempo superior al normal, mientras que curvas achatadas indican que las oscilaciones de la energía cinética media se salen del 50% central durante un tiempo superior al normal (Corrales et al., 1977).

3.2.3 Corrientes

Las corrientes superficiales, son el resultado del esfuerzo de corte que ejercen los vientos sobre la superficie del océano, produciendo un arrastre y perturbación de la superficie del agua. Los vientos generan una circulación que tiene lugar en la capa más superficial del océano, la cual está bien mezclada debido a la turbulencia ocasionada, dando origen a lo que se denomina capa superficial de mezcla, por lo tanto, la circulación en esta capa está directamente relacionada con las características del campo de viento. (Liste, 2009).

Cerca de la costa y playas, la circulación aparte de estar dominada por los vientos, el cual modula la magnitud y dirección de las corrientes superficiales, también están dominadas principalmente por factores como el oleaje y la marea.

En el caso de las olas, al acercarse a una línea de costa, y dependiendo del ángulo de incidencia, pueden formar corrientes paralelas a la línea de costa, denominadas corrientes de deriva (Toscano, 2012). Estas corrientes litorales generan un transporte a lo largo de la costa entre la zona de rotura del oleaje y la playa. Esto

distribuye los sedimentos en la playa, lo que se conoce como deriva de playa y puede producir sedimentación en forma de flechas, tómbolos o espigas (Gómez et al., 2018). Bajo ciertas condiciones se crean corrientes de retorno, como respuesta a la pendiente del fondo y a la dirección de incidencia del oleaje. En la medida que el oleaje incide en una dirección más cercana a la normal respecto a la costa, será más probable la presencia de dichas corrientes.

La marea juega también un papel importante en la circulación costera, de manera clara en momentos de pleamar y/o bajamar, las corrientes generadas son consideradas como cero y en los momentos llenante y vaciante se encuentran las corrientes más fuertes. En muchas regiones, la circulación a escalas diurnas o semi-diurnas está dominada solo por la marea.

Cerca de la costa también se pueden generar corrientes debido al transporte de Ekman, producido como una respuesta del océano a la fuerza de arrastre del viento que sopla de manera paralela a la línea de costa. La respuesta del océano a la acción del viento depende en gran medida de la estratificación vertical del agua, pero en general se observa una corriente a 90 grados respecto a la dirección del viento, en sentido horario en el hemisferio norte y en sentido anti-horario en el hemisferio sur. Esta desviación es el resultado de la fuerza de Coriolis, generada por la rotación de la Tierra (Ekman, 1905).

Debido a la gran importancia que tienen las corrientes cerca de la línea de costa y las respuestas que generan allí, han surgido diversas maneras para estudiar la circulación en zonas cercanas a la costa. La información básica son las mediciones de campo, en tanto que proporcionan información precisa y real de lo que ocurre, permitiendo validar posteriormente algunos modelos que entonces pueden servir para estudios adicionales.

4. Metodología

Este proyecto, buscaba caracterizar la variación geomorfológica de la playa La Martina durante la época húmeda de 2018. Fue llevado a cabo en 4 campañas de campo para la obtención de datos in situ, tal que estos permitiesen el adecuado desarrollo de los objetivos que se habían ya planteado, y para los cuales, fue también importante definir los tiempos de estudio en nuestro sistema, y en este caso, dicho cronograma se estimó dentro de un marco temporal de 6 meses, en donde se hizo seguimiento a las actividades programadas con la intención de alcanzar el objetivo principal establecido.

En el caso de las variaciones transversales a lo largo de la playa, para conocerlas se realizaron 9 perfiles de playa más o menos equidistantes (ver Figura 12 y Tabla 3) priorizando algunos lugares de importancia morfológica como las desembocaduras de ríos, estructuras de protección costera, obstáculos o puntos de alta erosión, para su respectivo monitoreo en el tiempo, se ubicaron puntos de referencia fijos como mojones de concreto, y en algunos se tuvo en cuenta una respectiva triangulación con unos puntos de referencia para prevenir la pérdida del respectivo mojón, se tuvo también en cuenta puntos de referencia de trabajos de campo anteriores en el sitio, como es el caso del punto de control que tiene ubicado Corpourabá (mojón 109, ver Figura 12) para su monitoreo de erosión costera.

4.1 Área de estudio

La playa o sector denominado como “La Martina” se encuentra localizado dentro del Golfo de Urabá en la parte oriental del mismo, a un poco más de 8 kilómetros del casco municipal de Turbo en la vía hacia Necoclí (ver Figura 9). Es una zona que durante mucho tiempo ha sido reconocida como un espacio para disfrutar del turismo que el sector brinda, pasar tiempo en familia, cautivarse también con especialidades culinarias de este lugar y descansar alrededor de unas playas tranquilas, pero que ahora cada vez se aprecia menos visita de turistas. Producto en parte al problema de erosión que presenta la zona.

La playa la Martina tiene una extensión cercana a 2 kilómetros de longitud, con una definida riqueza en vegetación, cuenta con sectores de uso agrícola y utilización de mangle, variedad de aves y múltiples aportantes hídricos a lo largo de toda la línea de costa. Llegando a observar que los sectores al sur, están influenciados por el río Cope y en los sectores del norte, se evidencia que los aportes hídricos en esta parte (cerca de punta caimán) ya están dados por desviaciones del propio río Cirilo y cañadas o ramblas comunes en la zona.

Estos ríos o aportantes, no solo tributan al sistema lo que es el agua dulce, sino que muchas veces son los agentes encargados de dinamizar la playa, esto dependiendo de qué tanta es su capacidad de transportar partículas o materiales en suspensión. A lo largo de la playa evidenciamos principalmente sedimentos litogénicos, grandes cantidades de troncos de madera y material vegetal que es arrastrado o bien por el río Atrato, el río Cope algún otro tributario al norte. Esto deja ver a primera vista que los ríos entre ellos el Atrato, son de gran importancia en la dinámica de este sistema costero.

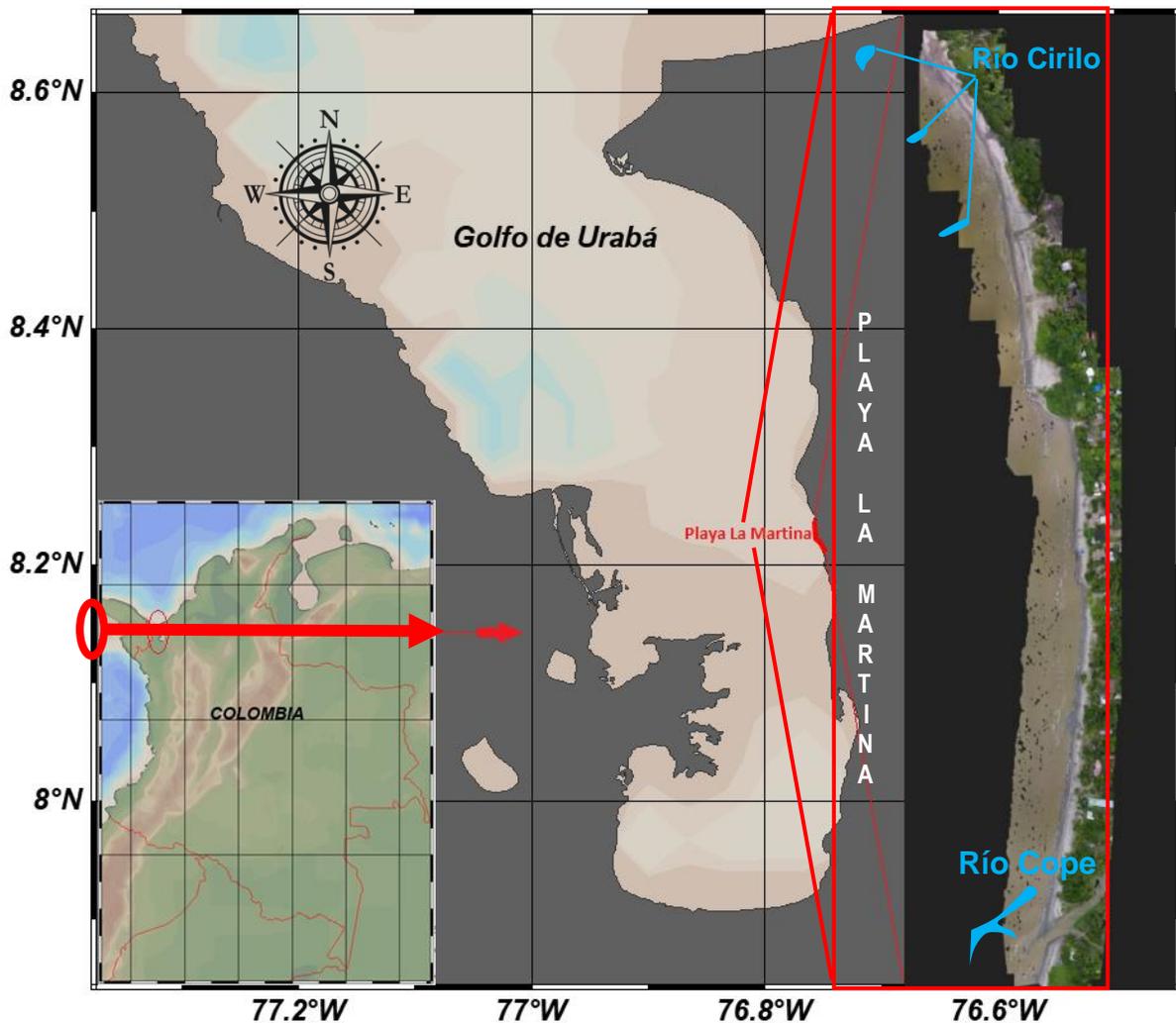


Figura 9. Ubicación geográfica de Área de estudio.

4.2 Boya Lagrangiana o Derivadores

A lo largo de época húmeda del 2018 se realizaron 3 mediciones de corrientes, dando uso de una boya lagrangiana o llamado también derivador (Figura 10), el cual se encontraba equipado en el interior de su parte superior con un GPS Garmin que logró marcar la trayectoria de las corrientes y con la ayuda de una draga de arrastre que permite ser direccionada por las corrientes del momento de medición (para este caso. La corriente de deriva).



Figura 10. GPS (Garmin eTrex 10) y derivador artesanal. Herramientas importantes en la medición de corrientes. Fuente: servicio de imágenes de Google.

Para las mediciones de corrientes superficiales se tuvo en cuenta la tabla de mareas extraídas del CIOH, esto con la intención de realizar la medición justo en los momentos donde teóricamente, no existe corriente de marea. Ya que nuestro interés fue obtener datos medidos de la corriente de deriva dentro del sistema. Al conocer la velocidad y dirección de las corrientes, y al comparar con los resultados de granulometría y de perfiles de playa se pudo en gran medida entender circulándola dinámica de los sedimentos de la playa.

Dichas mediciones consistían en obtener datos de la velocidad y dirección de las corrientes superficiales (primeros 1,5 m de profundidad), las cuales se midieron a partir de 3 puntos de importancia (norte, centro y sur) como se muestra en la Figura 11, durante 2 horas en la parte sur y 1 hora en la parte norte y centro, teniendo en cuenta la tabla de mareas para realizar la medición en los momentos de bajamar y pleamar máximo.



Figura 11. Ubicación del lanzamiento de los derivadores por los sectores definidos.

4.3 Perfiles de playa

El levantamiento de perfiles de playa, muestra los cambios de la morfología de la playa durante toda la época húmeda del año 2018.

Se observaron puntos estratégicos (Tabla 3) de la playa para la realización de estos perfiles, teniendo en cuenta la ubicación de las desembocaduras de los ríos o caños que allí se encuentran, ya que estos son uno de los agentes que más aporta al cambio de la morfología de la playa, razón por la cual se dispuso la distribución de los mojonos entre la parte norte y sur de la playa a una distancia aproximada entre 200 y 300 metros (y una distancia más corta aproximada de 80 metros entre los mojonos situados en la parte central debido a que allí se encontraban algunas estructuras en las era de vital importancia observar los cambios de la playa.

Estos mojonos hechos de concreto fueron referenciados a partir de GPS como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Ubicación de los mojonos y perfiles en orto fotografía Playa La Martina.

Luego que se tuvieron los mojonos instalados en los lugares previstos, estos mojonos fueron medidos desde el suelo hasta la varilla que sobresale de cada uno de ellos, al igual que se les tomo un azimut perpendicular a la playa diferente para cada uno, como se muestra en la Tabla 4, se comenzó con el levantamiento de los perfiles los días 17 y 18 de julio del 2018 (Tabla 2), de forma perpendicular a la línea de costa, con un azimut u orientación del ángulo variante entre perfiles de entre 250° y 305° respecto al el norte, de esta forma se pudo observar la morfología de cada perfil de playa, tal que al compararlos en el tiempo se pueda

evidenciar y cuantificar los cambios de acumulación de material sedimentario a lo largo de la playa.

Tabla 2. Fechas de los perfiles realizados para la época húmeda.

Toma de perfil	Fecha	Temporada
Toma 1	17 y 18 de julio de 2018	transición de época seca a húmeda
Toma 2	18 y 25 de septiembre de 2018	Húmeda
Toma 3	25 y 26 de octubre de 2018	Húmeda
Toma 4	22 y 23 de Noviembre	Transición de época húmeda a seca

Tabla 3. Coordenadas de los perfiles levantados.

Número del perfil	WGS84	
	Longitud	Latitud
1	76°74'13.7"	8°17'55.39"
2	76°74'21.09"	8°10'10.65"
3	76°73'97.8"	8°17'21.2"
4	76°73'89.79"	8°16'76.41"
5	76°44'22.2179"	8°11'.6638"
6	76°73'91.8"	8°16'96.4"
7	76°73'89.48"	8°16'58.39"
8	76°73'93.6"	8°16'32.3"
9	76°,73'96.25"	8°16'14.49"

Tabla 4. Azimuts y altura de los mojones de cada perfil.

Número de perfil	Azimut	Altura del mojón
1	258°00'00"	13 cm
2	256° 57' 27"	7 cm
3	266°00'00"	9 cm
4	280°12'00"	6 cm
5	253°00'00"	6 cm
6	270°00'00"	8 cm
7	305°00'00"	7 cm
8	295°00'00"	5 cm
9	300°00'00"	5 cm

4.4 Granulometría

Cabe resaltar que los perfiles topográficos estuvieron acompañados de muestras de sedimentos, los cuales pasaron por el debido procesamiento mediante granulometrías y de esta forma se obtuvo un espectro más amplio de la sedimentología de la playa, los aspectos granulométricos como: la media y el *sorting*. Permitieron intuir sobre las variaciones energéticas del medio y se pudo comprender mejor la dinámica de este a través del tiempo y de las distancias entre un perfil y el otro.

Para estas mediciones se hizo uso de la metodología de granulometría por tamizaje mecánico, el cual consistió en hacer pasar la muestra (lavada y seca) por una columna de tamices (como se observa en la parte baja de la Figura 15) de paso de malla determinado y así poder establecer las proporciones porcentuales de la muestra en cada rango de tamaño según el tamiz. El pos procesamiento de estas muestras se llevó a cabo a través del software Gradistat (Blott, 2000).

a) Almacenamiento

Luego de extraídos las tres muestras de sedimentos en campo para cada perfil, fueron depositadas en bolsas resellables como se muestra en Figura 13, llevadas a un laboratorio para hacerle los respectivos procedimientos y análisis.

b) lavado.

Se realizó un lavado a las muestras ya que estas poseen cierto contenido de sal, por lo que es necesario que tenga un previo lavado, el cual se realizó depositando la muestra en un recipiente con agua (baldes) como se muestra en Figura 13, luego con una barra o “agitador” se realizaron movimientos para desprender las sales del material sedimentario, posteriormente se dejaron en condiciones de reposo dos días para que se asentara el material y finalmente se extrajo parte del agua con una manguera tratando en gran parte de no afectar la muestra.

c) Secado.

Al finalizar el proceso de lavado las muestras fueron depositadas en beakers de vidrio de 250 ml tal como lo muestra la Figura 13, las cuales fueron sometidas a un secado a partir de un horno de laboratorio durante 24 horas a una temperatura promedio de 95°C, todo esto para que la humedad no distorsionara los resultados.

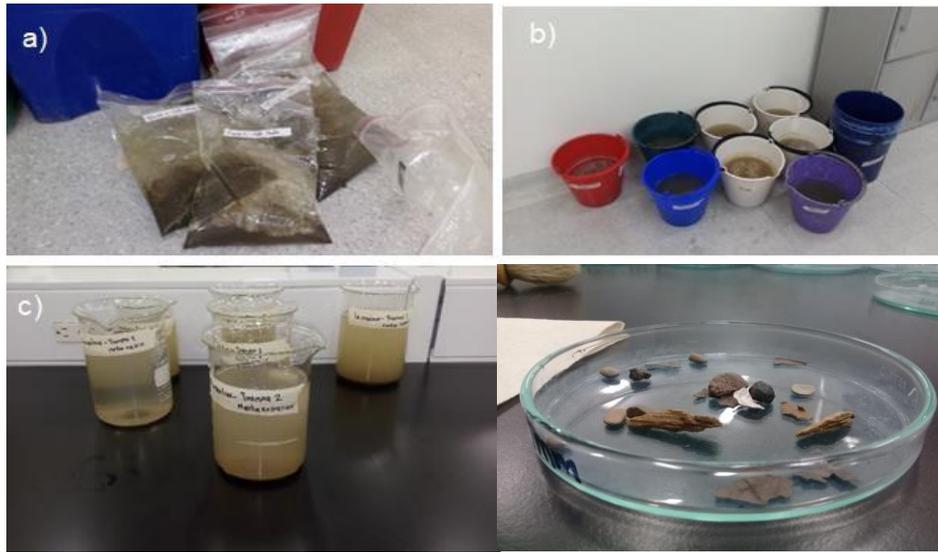


Figura 13. Pasos durante la granulometría. Elaboración propia.

d) Cuarteo.

Luego del proceso de secado de las muestras, se procedió con un cuarteo, para lograr dividir la muestra en cuatro partes tal y como lo muestra Figura 14, de las cuatro partes divididas se eligieron las dos cuartas partes opuestas de la muestra para obtener las fracciones representativas para antes del tamizado y posterior el análisis granulométrico.

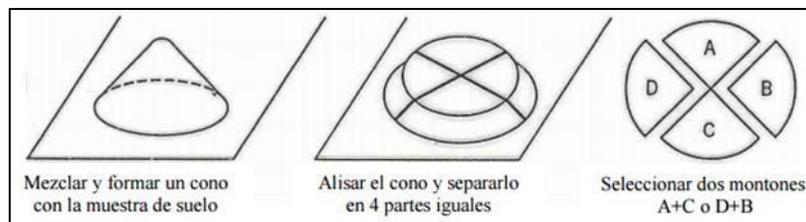


Figura 14. Cuarteo de los sedimentos.

Luego de que se tuvo preparada y seleccionada la muestra, se pesó la masa en total, para finalmente dejarla caer sobre los tamices comprendidos entre 2mm y 63 micras, dejándolos en la base vibradora a una frecuencia de 60 Hz por 20 minutos por cada muestra. A continuación, se complementa esta información.

e) Tamizado

El análisis granulométrico por tamizado se realiza a las partículas con diámetros superiores a 0,063 μm . (malla 200), este ensayo se hace con una serie de mallas normalizadas (a cada número de malla le corresponde una abertura estándar),

dispuestos en orden decreciente. Adicionalmente, se hizo uso de otros equipos tales como: horno, balanza analítica, tamizador y columna de tamices, además de utensilios fungibles de laboratorio.



Figura 15. Herramientas utilizadas durante la práctica de la granulometría. Fuente: “Prácticas de Materiales de Construcción” Universidad de Alicante (2008-2009).

Pasado este tiempo de tamizado, se removió el material retenido en cada tamiz y se pesó para determinar la cantidad de sedimentos retenidos en cada una de las mallas de cierto tipo de tamaños que se encontraron en cada medición y posteriormente depositados en vidrio reloj.

4.5 Fotografías Aéreas

Los levantamientos de las fotografías aéreas se obtuvieron con un drone “DJI inspire 1” que cuenta con una alta calidad de imagen y geo posicionamiento de orto mosaicos realizados mediante el software “DroneDeploy”.

Cabe resaltar también, que dichas fotografías fueron analizadas y estas pasaron por un debido pos procesamiento con la ayuda de ArcGis, un software que se aplica en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este se implementó la digitalización de las líneas de costa para cada uno de los meses en los cuales se realizaron las capturas (junio: inicio de estudio, y diciembre: finalización del estudio). En la misma herramienta SIG realizamos el análisis de comparación entre ambas líneas a escala 1:2500, para saber en qué zonas hubo ganancia o pérdida de playa.



Figura 16. Drone “Inspire one” y Aplicación utilizada para el plan de vuelo, Fuente: Servicio de imágenes de google.

Los criterios de digitalización de la línea de costa, fueron:

La última marca húmeda de la marea sobre la playa, criterio que permite disminuir el error por cambios de marea, ya que se aproxima a la línea de más alta marea durante el día de toma de cada foto.

Tabla 5. Información de las corrientes de agosto de 2018. Tomado de (Robledo, 2018).

Nombre	Distancia (m)	Tiempo (h y min)	Tiempo (s)	Velocidad (cm/s)
Track 15 Ago 18 norte	171,11	1 h 7 min	4020	4,2
Track 15 Ago 18 centro	182,67	1 h 6 min	3960	4,6
Track 15 Ago 18 sur	637,48	1 h 35 min	5700	11,1
Track 14 Ago 18 norte	93,69	1h 5min	3900	2,4
Track 14 Ago 18 centro	157,73	1 h 4 min	3840	4,1
Track 14 Ago 18 sur	580,20	2 h 7min	7620	7,61

Ahora bien, en la Figura 17 se puede observar como los resultados están sub seleccionados en 3 zonas de la playa (Norte, Centro y Sur), para fines de comprensión de los mismos, puede verse como el derivador presentó un comportamiento variante en toda la playa La Martina, por ejemplo, en la zona norte y centro de la playa la energía y por ende la trayectoria de la que fuese la corriente de deriva era poca (Centro) o casi nula (Norte) y en cambio en el lado de la zona sur, es notable la diferencia en el comportamiento de la corriente de deriva, llegando a recorrer una distancia de casi medio kilómetro (400 m) más que en las otras zonas y tratándose de la misma cantidad de tiempo derivando (1 horas aprox).

Adicionalmente, en la Tabla 5 se puede observar que en el sector sur las corrientes alcanzan mayores velocidades presentan dirección hacia el sur y que las corrientes con menores velocidades son las del sector norte con dirección norte, notando que entre el sector norte y sur hay una divergencia entre las corrientes. La Figura 17 nos muestra únicamente las corrientes que no están siendo influenciadas por parte de la marea (trayectorias de corrientes de deriva) por lo que esa divergencia en las direcciones de las corrientes que se presenta debajo de la zona centro y que se evidencia en la imagen, puede atribuírsele a otro fenómeno de la misma costa, como son a la superficie del fondo y el oleaje para este caso.

Los datos durante la segunda campaña de este proyecto, realizada en el mes de noviembre del año 2018 se presentan a continuación en la Figura 18.

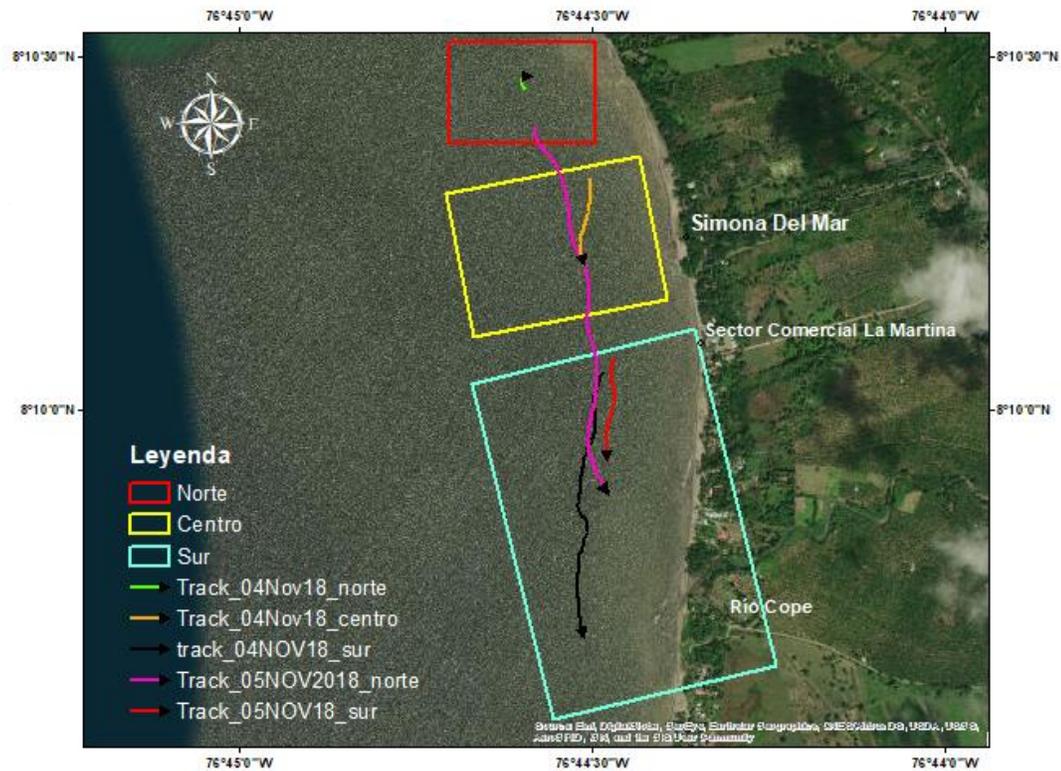


Figura 18. Dirección y trayectoria de corrientes superficiales en playa La Martina, obtenidas a partir de derivadores en noviembre de 2018. Tomado de (Robledo, 2018).

Tabla 6. Información de las corrientes de 4 y 5 noviembre de 2018.

Nombre	Distancia (m)	Tiempo (h y min)	Tiempo (s)	Velocidad cm/s
 Track 04 Nov 18 norte	56,48	1h 5min	3900	1,4
 Track 04 Nov 18 centro	230,80	1 h 5 min	3900	5,9
 Track 04 Nov 18 sur	667,58	1 h 9min	4140	16,1
 Track 05 Nov 18 sur	274,17	1 h 36 min	5760	4,7
 Track 05 Nov 18 norte	1006,75	2 h 1min	7260	13,85

Tabla 7. Información de la corriente correspondiente al Track 05_nov_2018.

Nombre	Sector	Distancia (m)	Tiempo (min)	Tiempo (s)	Velocidad (cm/s)
 Track 05_nov 2018	norte	96,33	16	960	10,03
	centro	348,65	39	2340	14,9
	sur	561,76	66	3960	14,18

La Figura 18 muestra el resultado de los derivadores lanzados en campo los días de noviembre, entre los datos resalta el obtenido para el 5 de nov (norte, color magenta), en el cual se observa un largo recorrido debido a que alcanzó una velocidad máxima de 14,9 cm/s al pasar por zona centro en dirección sur, siendo superior a casi todas las demás velocidades medidas en el lugar de estudio en todas las campañas, exceptuando la tomada el día antes en la misma zona sur (4 de nov). Debido a la notoria diferencia en el comportamiento, se extrajeron datos puntuales de dicho track, para analizar las velocidades y las distancias recorridas por cada sector (norte, centro y sur) para observar si su velocidad era la esperada para el sector a comparación con las anteriores tomas y tal como lo muestra la Tabla 7, en el sector norte su velocidad es menor en comparación con las velocidades del centro y sur, donde esta última sigue caracterizándose por tener las mayores velocidades en promedio, lo que concuerda con las similitudes entre sectores, por campaña realizada.

Para los datos durante la tercera y última campaña de este proyecto, realizada en el mes de diciembre del año 2018 fueron los siguientes:

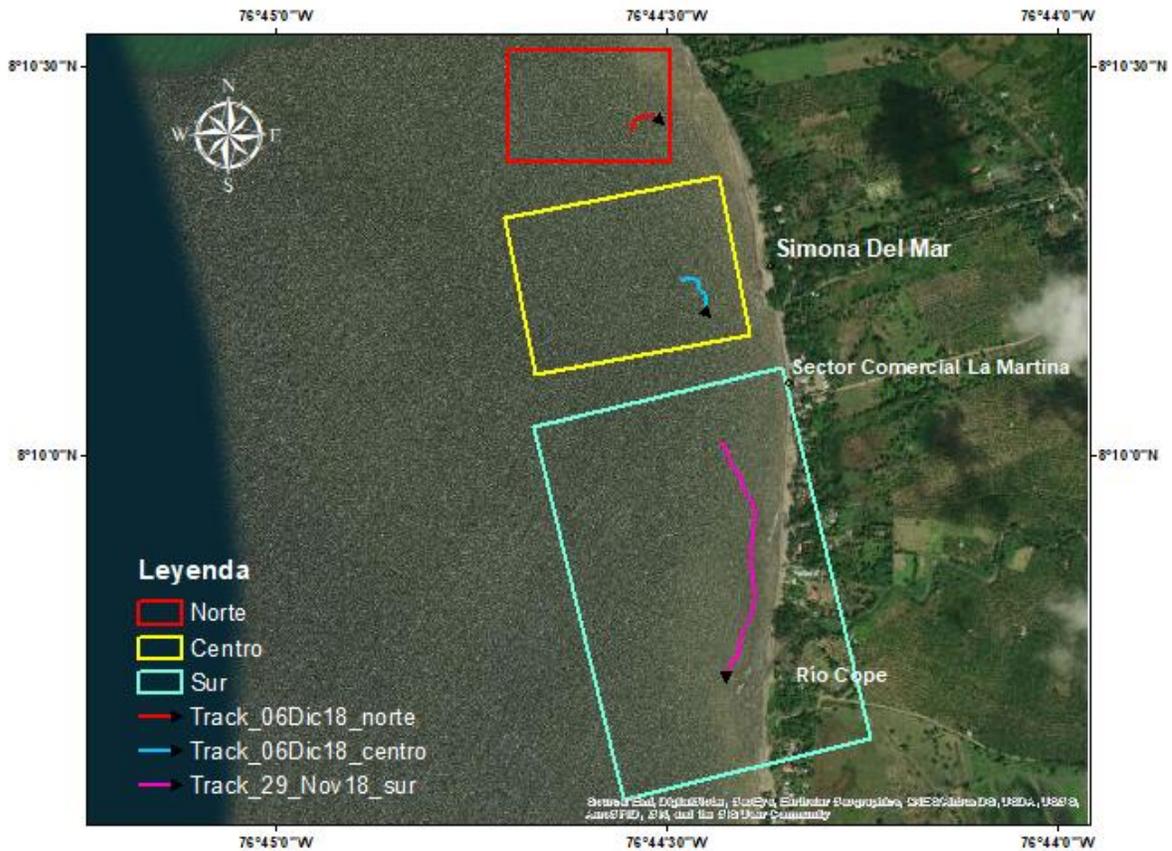


Tabla 8. información de las corrientes del 29 de noviembre y 6 de diciembre.

Nombre	Distancia (m)	Tiempo (h y min)	Tiempo (s)	Velocidad (cm/s)
 Track 06 dic 18 norte	104,57	1 h 7 min	4020	2,60
 Track 06 dic 18 centro	135,73	1 h 7 min	4020	3,37
 Track 29 nov 18 sur	605,32	1 h 19 min	4740	12,77

En la Figura 19 se puede observar solo 3 representaciones de corrientes correspondientes a los días 29 de noviembre y 6 de diciembre. Y en estos, se deja ver como las corrientes de cada sector van en dirección sur, lo que tiene sentido al observar, que las direcciones de los vientos en el mes de diciembre predominan hacia el sur teniendo mayor frecuencia y velocidad allí, como se ve en las corrientes del norte que pertenecen al 6 de diciembre del 2018 y la corriente del sur corresponde al 29 de noviembre de 2018, meses en los cuales la magnitud del viento en las horas de la tarde son mayores y en la mañana son menores (Robledo, 2018), lo que puede estar explicando la magnitud y dirección de las corrientes superficiales de esa fecha.

5.2 Perfiles de playa

La línea de costa está en continuo movimiento, cambiando de forma y posición a cada instante, en función de los agentes externos que actúan sobre ella. Esto es debido a que una playa, sus contornos existentes y la arena disponible en ella, responden fácilmente por la acción de la dinámica de oleaje, corrientes, marea, vientos y las actividades humanas también inciden en este proceso de acción-reacción. Ejemplo: cuando se extrae arena de la playa para fines de construcción, cuando se posicionan en la playa estructuras invasivas y diseñadas a la ligera, y cuando se desvían los cauces de los ríos (los cuales pueden ser los mayores aportadores de sedimento al sistema playa). Estos fenómenos generan cambios y estos cambios pueden ser estudiados para diferentes escalas de tiempo, desde los pocos segundos de periodo que tiene una ola, hasta la escala de tiempo geológico. También debemos determinar la escala espacial para enmarcar correctamente nuestro estudio.

En nuestro caso, el periodo de estudio ya ha sido anteriormente delimitado en época húmeda y como volumen de control acotamos la zona entre el río Cope (hacia el sur) y una especie de enrocado al norte (cerca de punta caimán) que cierra el sistema sedimentario. Es importante resaltar que dentro del estudio se ha presenciado a lo largo de las campañas los 3 ejemplos anteriormente expuestos; manipulación de estructuras dentro del sistema, desviación de cauces de río (para motivo de riego a plantaciones privadas) y extracción de material de playa (arenas para construcción). En general efectos antropogénicos con influencia en la dinámica y estado actual de la playa.

Durante toda la época húmeda y a lo largo de los 9 perfiles topobatimétricos, encontramos diversos comportamientos, relacionados en algunos sectores con la búsqueda de un perfil de equilibrio, y en otros la clara influencia de las estructuras y efectos de incidencia humana. Adicionalmente para el proceso de análisis de las fotografías aéreas y relación con los perfiles, se establecieron 17 transectos equidistantes cada 100 m, como puntos de control, logrando que coincidiesen en cercanía a los mismos perfiles.

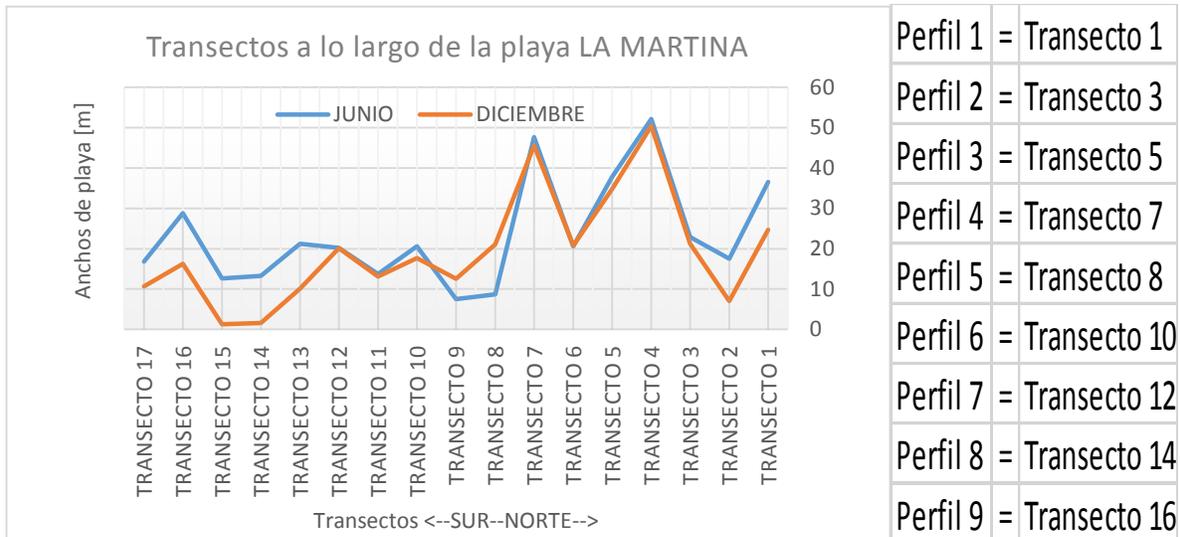


Figura 20. transectos a lo largo de Playa la Martina.

Anteriormente, se mostró una relación establecida en medio del procesamiento, entre los perfiles y los transectos, estos últimos sacados de las fotografías aéreas, para poder tener más puntos de control que nos permitan ver a más detalle la evolución a lo largo de la costa (según el ancho de playa), y para un mejor análisis de estas variaciones geomorfológicas en la zona de estudio, se presentan a continuación las comparaciones temporales de cada perfil. (Figura 25).

Para simplificar toda la información obtenida a continuación en dichos perfiles, tenemos la Tabla 9 que nos muestra el comportamiento de cada uno de los perfiles estudiados en cada una de las 4 campañas (Jul-Sep-Oct-Nov), la comparación entre campañas y entre inicio del proyecto y la resultante a finales de noviembre. Destacable que dentro de la tabla tenemos los perfiles divididos en dos zonas: “Zona 1” es el segmento donde más variación hay en las pendientes y se observa el retroceso o avance de la línea de costa en la horizontal, y la “Zona 2” es el segmento en el cual podemos encontrarnos con barras o escarpes en el fondo y se tiene en cuenta, la pequeña variación que hay entre las campañas en vertical, veamos:

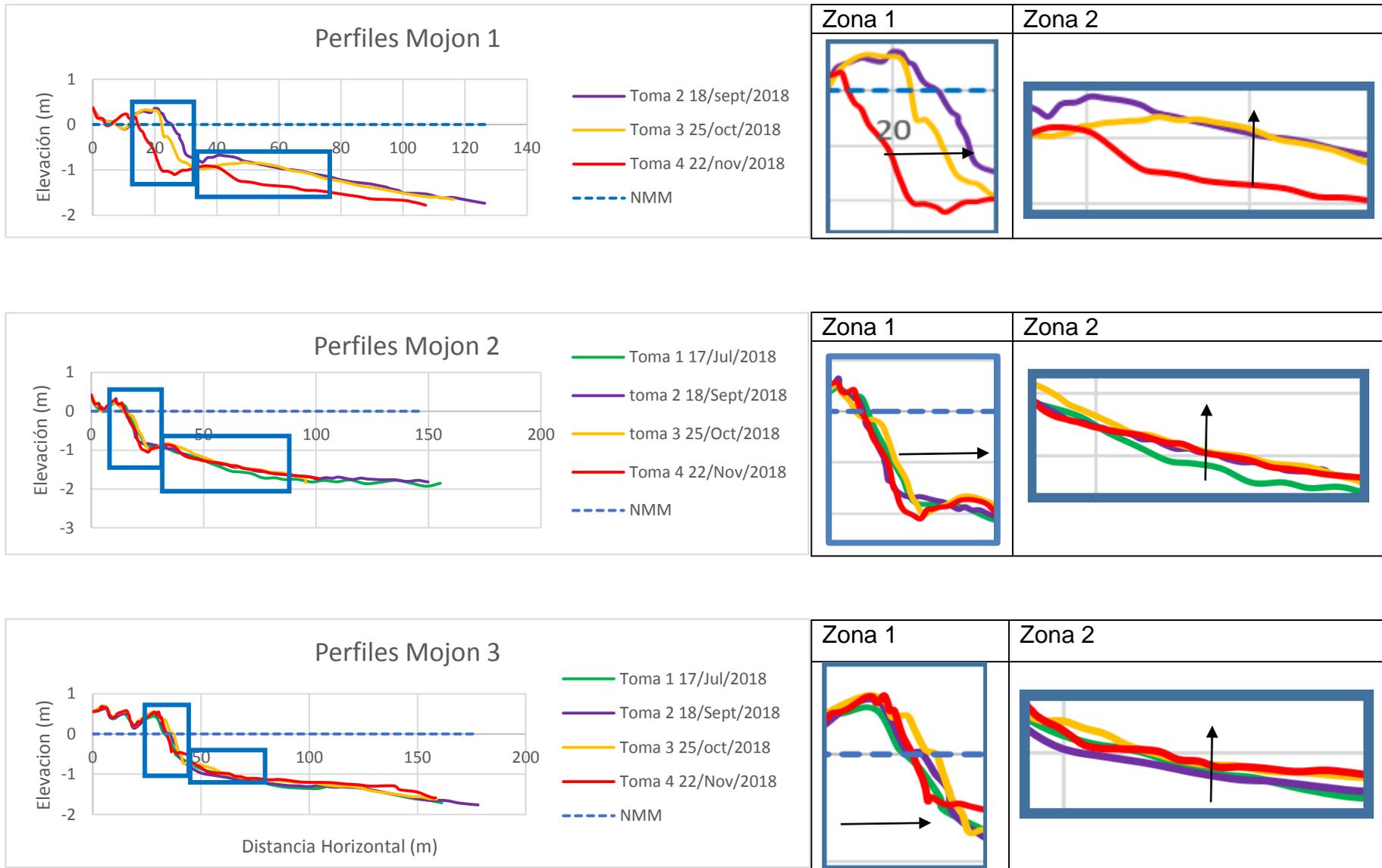


Figura 21. Comparación entre campañas para los perfiles 1, 2 y 3.

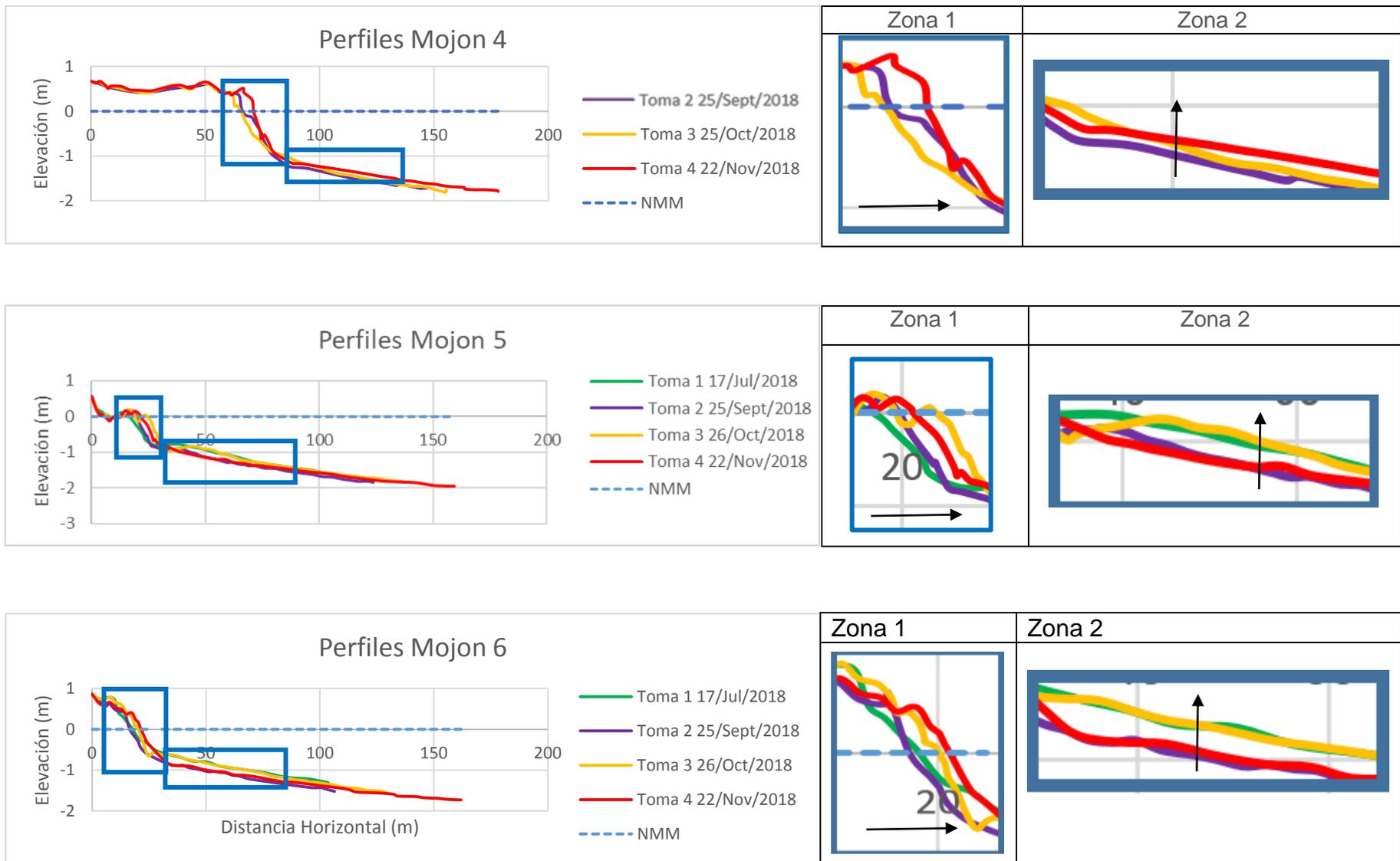


Figura 22. Comparación entre campañas para los perfiles 4,5 y 6.

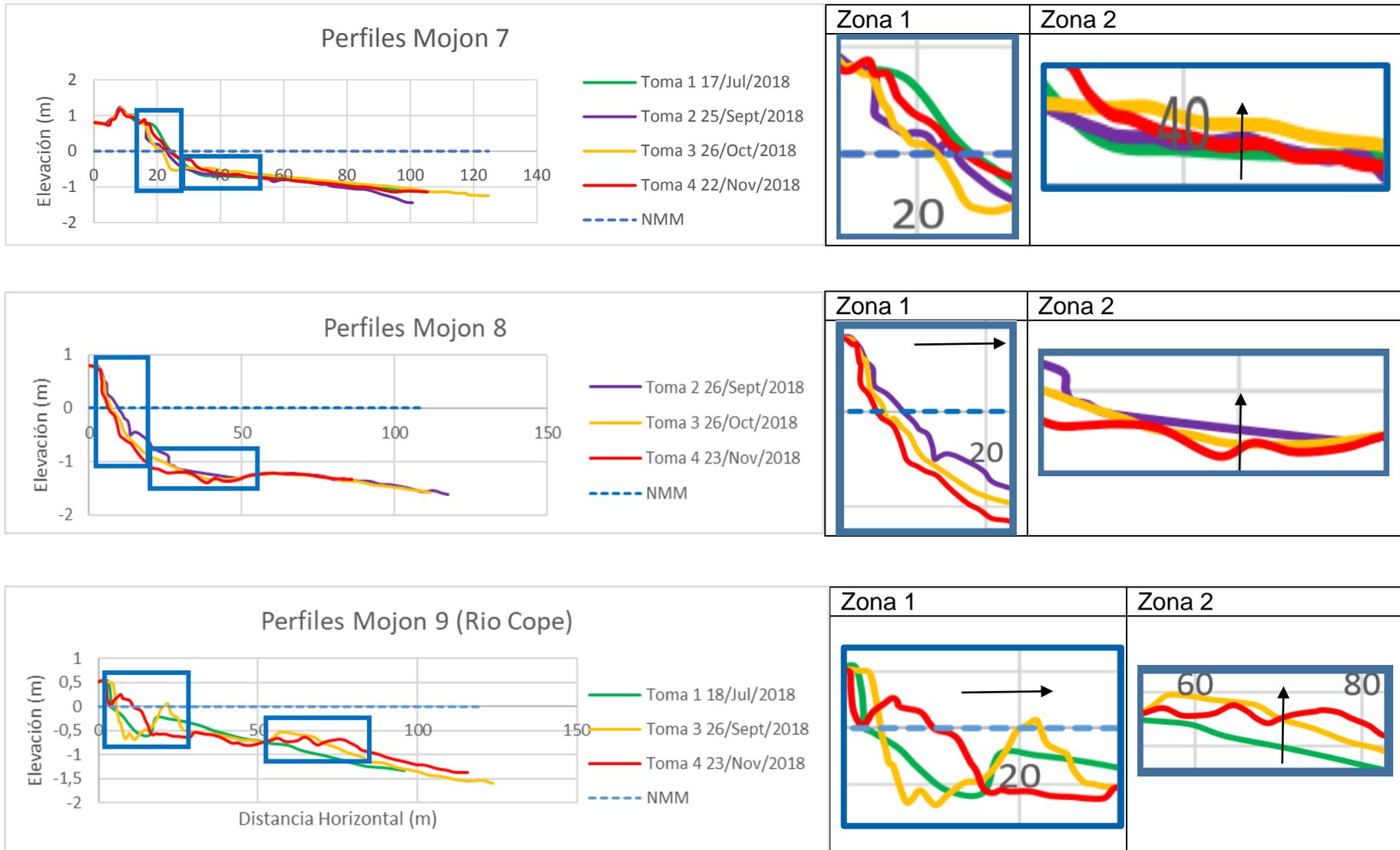


Figura 23. Comparación entre campañas para los perfiles 7,8 y 9.

Tabla 9. comportamiento de cada uno de los perfiles estudiados en las 4 campañas (Jul-Sep-Oct-Nov).

MESES DE CAMPAÑA PERFILES & ZONA		Niveles ganancia o retroceso de línea de costa entre campañas [m]Aprox.				Ganancia o retroceso de línea de costa (Entre meses)	Resultante al final de las campañas en cada zona (estimado)	
		Jul-Sep	Sep-Oct	Oct-Nov	Jul-Nov			
Perfil 1	Zona 1 (variación en Horizontal)	x	-3,7	-8	-11,7		Se evidencia la creciente erosión en el tiempo sobre este perfil tanto en zona 1 como 2.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	x	-0,23	-0,06	-0,29			
Perfil 2	Zona 1 (variación en Horizontal)	-1,2	2,8	-2,44	-0,84		Entre meses se nota el equilibrio de pérdida y ganancia en horizontal y un desplazamiento de material a la parte sumergida.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	0,09	0,12	-0,03	0,18			
Perfil 3	Zona 1 (variación en Horizontal)	1,12	2,55	-2,06	1,61		A lo largo del tiempo en este perfil se deja en evidencia moderada ganancia de material en horizontal y poca pérdida en vertical.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	-0,1	0,07	0,02	-0,01			
Perfil 4	Zona 1 (variación en Horizontal)	x	-0,65	5,97	5,32		Se evidencia acreción en el paso del tiempo sobre este perfil tanto en zona 1 como 2.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	x	0,08	0,02	0,1			
Perfil 5	Zona 1 (variación en Horizontal)	2,85	5,08	-3,94	3,99		Podemos notar como en este perfil una ganancia en horizontal que puede estar relacionada con la pérdida en vertical	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	-0,13	0,16	-0,23	-0,2			
Perfil 6	Zona 1 (variación en Horizontal)	-0,85	4,2	1,34	4,69		Podemos ver en este perfil un posible desplazamiento de material a la parte emergida desde la parte sumergida.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	-0,09	0,16	-0,18	-0,11			
Perfil 7	Zona 1 (variación en Horizontal)	-1,82	-0,85	2,53	-0,14		Desplazamiento de material a la parte sumergida desde la parte emergida.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	0,02	0,15	-0,11	0,04			
Perfil 8	Zona 1 (variación en Horizontal)	X	-1,77	-1,23	-3		Se evidencian ambas zonas afectadas por pérdida de material.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	X	-0,15	-0,06	-0,21			
Perfil 9	Zona 1 (variación en Horizontal)	2,87	X	-14,31	-11,44		Se tuvo en cuenta la variación de una barra que desplaza en comun entre las diferentes tomas de este perfil y desplazamiento de material a la parte sumergida.	
	Zona 2 (Variación en Vertical)	0,25	X	-0,18	0,07			

Cabe resaltar que el aumento en el ancho de la playa está influenciado por el cambio estacional del año. Una disminución en la altura de la ola resulta en un aumento en la altura y ancho de la berma (Weir, F. et al., 2006), esto se evidencia, al ver que al tener menor poder energético las olas, estas a su vez generan un menor desgaste a la costa y esto se traduce en reducción de la pérdida de sedimentos y a su vez permite mayor acumulación de los mismos.

Por otra parte, tal como se observa en la Tabla 9, en algunas las campañas de medición se tuvieron percances con los equipos de topografía y por ende no fue posible obtener información de campo, por tanto, se realizaron 4 campañas de recolección de datos, con la intención de tener como mínimo tres fechas en cada perfil y poder hacer comparación de la evolución temporal de cada uno durante la época húmeda. Y si analizamos casos puntuales, se deja ver como los perfiles se pueden ubicar en 3 categorías: los que durante las diferentes campañas mantuvieron una búsqueda del perfil de equilibrio, los que alcanzaron ganancia de sedimento y los que tuvieron pérdidas.

De igual forma, se logró estimar que, durante las comparaciones realizadas los perfiles 2 y 3 se mantuvieron en una especie de equilibrio, ya que se deja ver como entre campañas hay ganancia y pérdida equivalentes. Y esto es característico de los perfiles en equilibrio. Aquellos que contaron con ganancia de sedimentos fueron los ubicados en la zona central del área de estudio (perfiles 4, 5 y 6) lo que coincide con los resultados arrojados por los derivadores respecto a las corrientes débiles en ese sector, lo que facilita la acumulación de sedimentos. Y por último los perfiles 1, 7, 8 y 9 fueron clasificados perfiles con pérdidas importantes de sedimentos. Y se acopla a lo que podemos ver en las orto fotos (Figura 25) que se hace evidente la perdida de material de playa.

Luego de concluir los perfiles, se tomaron los datos colectados de estos y se obtuvo la pendiente de playa frontal (promediada) como se muestra en la Tabla 10, esto con la intención que dado como expresa (Bird, 1985) al conocer esta pendiente tengo una correlación con el tipo de grano del cual está constituida esta (Figura 24).

Granulometría y pendiente promedio de las playas	
Granulometría	Pendiente de la playa
Cantos	24°
Grava gruesa	17°
Gravilla	11°
Arena muy gruesa	9°
Arena gruesa	7°
Arena media	5°
Arena fina	3°
Arena muy fina	1°

Fuente: Bird, E. 1985.

Figura 24. promedio de pendientes de playa con relación a su granulometría (Bird.1985)

Tabla 10. Cálculo del promedio de las pendientes de playa.

PENDIENTE (ϕ)		Primera campaña de muestreo (17/08/2018)	Segunda campaña de muestreo (18/09/2018)	Tercera campaña de muestreo (25/10/2018)	cuarta campaña de muestreo (22/11/2018)	(ϕ) PROM
NORTE	PERFIL 1	NAN	1,97	2,01	2,00	1,99
	PERFIL 2	1,42	1,48	2,35	2,14	1,84
	PERFIL 3	1,61	1,51	1,66	1,46	1,56
CENTRO	PERFIL 4	NAN	2,47	2,18	1,85	2,17
	PERFIL 5	1,61	1,89	1,72	1,46	1,67
	PERFIL 6	2,19	2,10	1,93	1,55	1,94
SUR	PERFIL 7	2,46	2,78	2,00	2,27	2,38
	PERFIL 8	NAN	2,06	2,11	2,48	2,32
	PERFIL 9	2,01	NAN	1,74	1,64	1,79
(φ) Promedio		1,88	2,03	1,97	1,87	

Los datos de pendiente como se evidencia, son valores fluctuantes entre 1° y 3°. Esto implica que según (Bird, 1985) la playa ha de estar compuesta en su mayoría por arenas muy finas y arenas finas. Lo que coincide completamente con nuestros resultados de granulometrías de la playa, y a su vez, nos permite clasificar nuestra playa como una playa de tipo disipativa, y se hace evidente entonces que; el ancho y la pendiente de una playa son función de los materiales disponibles en esta, de su granulometría y claro está, de la energía de las olas.

5.3 Granulometría La Martina GRADISTAT

El análisis granulométrico al cuál se somete un suelo es de mucha ayuda para la construcción de proyectos, tanto estructuras como carreteras porque con este se puede conocer la permeabilidad y la cohesión del suelo y parámetros realmente importantes. En este caso se puede analizar las características del suelo para un posible relleno de playa como alternativa conjunta para solventar el problema de erosión presente en algunos sectores de la zona de estudio, o para comprender relaciones entre el tamaño de grano y el tipo de playa, o en caso de analizar que la relación significativa entre la pendiente de la cara de la playa y la clasificación puede ser resultado de la concentración de arenas de bien a moderadamente clasificadas, etc.

Para este análisis se escogió el método grafico/geométrico ya que este permite representar los pesos acumulados de las diferentes fracciones granulométricas y agrupar los datos mediante una o varias rectas que se tratan de ajustar lo mejor posibles y cada una de estas obtenidas asocia un rango de tamaños a un modo de transporte una mejor interpretación de un ambiente sedimentario según (Folk y Ward, 1957).

A continuación, en las Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos de las 3 campañas granulométricas para las zonas (infra, meso y supra mareal) en la época húmeda del 2018, en los perfiles (1, 3, 4, 5 y 7), los cuales para efectos prácticos fueron representados en 5 secciones: Norte, Norte-Centro, Centro, Centro-Sur y Sur.

En estas tablas (11, 12 y 13), están incorporados datos representativos de cada una de las zonas antes mencionadas, así como sus respectivas curvas granulométricas, los porcentajes de finos, arenas y gravas, y los parámetros estadísticos de tamaño de grano (media, clasificación, asimetría y curtosis) tal como se muestra a continuación:

Tabla 11. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Norte y Norte-Centro).

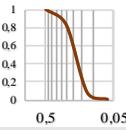
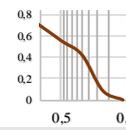
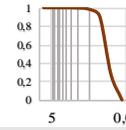
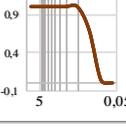
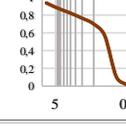
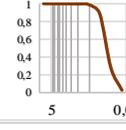
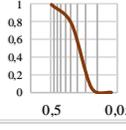
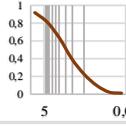
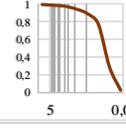
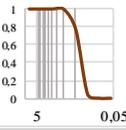
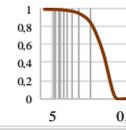
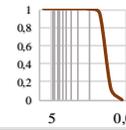
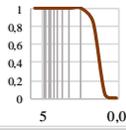
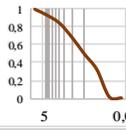
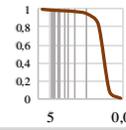
Resultados GRADISTAT		NORTE						NORTE-CENTRO					
		PERFIL 1 (µm)						PERFIL 3 (µm)					
		Supra	Folk & Ward	Meso	Folk & Ward	Infra	Folk & Ward	Supra	Folk & Ward	Meso	Folk & Ward	Infra	Folk & Ward
Primera campaña de muestreo (17/08/2018)	Finos	0,70%		0,80%		1,10%		x		x		x	
	Arenas	99%		81,9%		98,8%	x		x		x		
	Gravas	0%		17,30%		0,10%	x		x		x		
	D50	153,8		309		142,1	x		x		x		
	Media	173,2	Arena Fina	461,4	Arena Media	123,9	Arena muy Fina	x	x	x	x	x	x
	σ	1,471	Moderadamente bien clasificada	4,157	Muy pobremente clasificada	1,537	Moderadamente bien clasificada	x	x	x	x	x	x
	Sk	0,287	Alta asimetría	0,415	Muy alta asimetría	-0,252	Poca asimetría	x	x	x	x	x	x
	K	2,349	Alta angulosidad	0,932	Medianamente angulosa	0,967	Medianamente angulosa	x	x	x	x	x	x
Segunda campaña de muestreo (25-26/10/2018)	Finos	0,2%		0,9%		1,8%		0,2%		0,2%		1,8%	
	Arenas	99,8%		81,8%		98,1%		99,8%		62%		96,3%	
	Gravas	0%		17,30%		0,10%		0%		37,5%		1,9%	
	D50	161,8		170,3		143,1		156,4		1172		146,5	
	Media	185,9	Arena fina	364,6	Arena Media	124,4	Arena muy Fina	178,3	Arena Fina	1163,7	Arena Muy Gruesa	149,5	Arena Fina
	σ	1,417	Moderadamente bien clasificada	4,157	Muy pobremente clasificada	1,552	Moderadamente bien clasificada	1,465	Moderadamente bien clasificada	3,629	Pobremente clasificada	2,129	Pobremente clasificada
	Sk	0,504	Muy alta asimetría	0,728	Muy alta asimetría	-0,257	Poca asimetría	0,334	Muy alta asimetría	-0,005	Simétrica	0,228	Alta asimetría
	K	0,627	Muy poco angulosa	1,285	Angulosa	0,988	Medianamente angulosa	2,148	Alta angulosidad	1,094	Medianamente angulosa	1,553	Alta angulosidad
Tercera campaña de muestreo (23/11/2018)	Finos	0,2%		0,1%		0,2%		0,1%		0,1%		0,4%	
	Arenas	99,8%		98,5%		99,7%		99,9%		84,1%		97,9%	
	Gravas	0,0%		1,4%		0,1%		0,0%		15,8%		1,7%	
	D50	311,7		177,3		147,7		154		504,4		153,2	
	Media	358,6	Arena media	231,0	Arena Fina	147,7	Arena Fina	154	Arena Fina	470,9	Arena Media	171,9	Arena Fina
	σ	1,399	Bien clasificada	1,795	Moderadamente bien clasificada	1,304	Bien clasificada	1,245	Muy bien clasificada	2,978	Pobremente clasificada	1,575	Moderadamente bien clasificada
	Sk	0,554	Muy alta asimetría	0,612	Muy alta asimetría	-0,066	Simétrica	0,280	Alta asimetría	0,069	Simétrica	0,397	Muy alta asimetría
	K	1,639	Alta angulosidad	0,900	Poca angulosidad	2,328	Alta angulosidad	1,678	Alta angulosidad	0,741	Poca angulosidad	3,178	Muy alta angulosidad

Tabla 12. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Centro y Centro-Sur).

Resultados GRADISTAT		CENTRO						CENTRO-SUR					
		PERFIL 4 (µm)						PERFIL 5 (µm)					
		Supra	Folk & Ward	Meso	Folk & Ward	Infra	Folk & Ward	Supra	Folk & Ward	Meso	Folk & Ward	Infra	Folk & Ward
Primera campaña de muestreo (17/08/2018)	Finos	0,5%		0,8%		1,6%		x		x		x	
	Arenas	99,0%		97,7%		98,4%		x		x		x	
	Gravas	0,50%		1,50%		0%		x		x		x	
	D50	161,0		179,4		75,59		x		x		x	
	Media	187,6	Arena Fina	232	Arena Fina	75,59	Arena muy Fina	x	x	x	x	x	x
	σ	1,547	Moderadamente bien clasificada	2,02	Pobrementemente clasificada	1,118	Muy bien clasificada	x	x	x	x	x	x
	Sk	0,606	Muy alta asimetría	0,503	Muy alta asimetría	0	Simétrica	x	x	x	x	x	x
	K	0,937	Medianamente angulosa	1,266	Angulosa	0,738	Poca angulosidad	x	x	x	x	x	x
Segunda campaña de muestreo (25-26/10/2018)	Finos	0,3%		0,2%		0,20%		0,1%		0,2%		1,1%	
	Arenas	99,3%		86,2%		99,40%		99,8%		83,5%		98,8%	
	Gravas	0,40%		13,60%		0,40%		0,1%		16,3%		0,1%	
	D50	168,7		274,6		144,3		154,8		295,2		146,5	
	Media	194,1	Arena Fina	365,8	Arena Media	126,5	Arena Fina	173,7	Arena Fina	441,6	Arena Media	129,7	Arena Fina
	σ	1,534	Moderadamente bien clasificada	3,013	Pobrementemente clasificada	1,488	Moderadamente bien clasificada	1,359	Bien clasificada	3,374	Pobrementemente clasificada	1,493	Moderadamente bien clasificada
	Sk	0,543	Muy alta asimetría	0,48	Muy alta asimetría	-0,302	Muy poca asimetría	0,545	Muy alta asimetría	0,502	Muy alta asimetría	-0,272	Poca asimetría
	K	0,823	Poca angulosidad	1,015	Medianamente angulosa	2,267	Alta angulosidad	1,69	Alta angulosidad	1,053	Medianamente angulosa	2,443	Alta angulosidad
Tercera campaña de muestreo (23/11/2018)	Finos	0,1%		0,2%		1,4%		0,3%		0,4%		0,2%	
	Arenas	99,5%		85,8%		97,4%		98,5%		70,7%		99,7%	
	Gravas	0,4%		14,0%		1,2%		1,2%		28,9%		0,1%	
	D50	170,6		271,1		147,5		152,7		573,4		163,9	
	Media	198,2	Arena Fina	369,2	Arena Media	131,4	Arena Fina	170,6	Arena Fina	706,1	Arena Gruesa	189,8	Arena Fina
	σ	1,587	Moderadamente bien clasificada	2,98	Pobrementemente clasificada	1,500	Moderadamente bien clasificada	1,48	Moderadamente bien clasificada	4,077	Muy pobrementemente clasificada	1,433	Moderadamente bien clasificada
	Sk	0,566	Muy alta asimetría	0,486	Muy alta asimetría	-0,250	Poca asimetría	0,288	Alta simetría	0,185	Alta simetría	0,519	Muy alta asimetría
	K	0,885	Poca angulosidad	0,723	Poca angulosidad	2,520	Alta angulosidad	2,513	Alta angulosidad	0,569	Muy poca angulosidad	0,628	Muy poca angulosidad

Tabla 13. Resultados obtenidos en la granulometría de las muestras de los perfiles y detalles del sedimento según algunos parámetros de la metodología de Folk y Ward. (Sur).

Resultados GRADISTAT		SUR					
		PERFIL 8 (μm)					
		Supra	Folk & Ward	Meso	Folk & Ward	Infra	Folk & Ward
Primera campaña de muestreo (17/08/2018)	Finos			1,0%			
	Arenas	100%		97,3%		92,9%	
	Gravas	0%		1,7%		7,1%	
	D50	155,7		176,5		138	
	Media	176,2	Arena Fina	228,8	Arena Fina	145,7	Arena Fina
	σ	1,372	Bien clasificada	2,036	Pobremente clasificada	2,701	Pobremente clasificada
	Sk	0,546	Muy alta asimetría	0,513	Muy alta asimetría	0,381	Muy alta asimetría
	K	1,654	Alta angulosidad	1,306	Angulosa	1,306	Alta angulosidad
Segunda campaña de muestreo (25-26/10/2018)	Finos	0%		0,5%		1,5%	
	Arenas	100%		63,8%		98,4%	
	Gravas	0%		35,7%		0,1%	
	D50	156,0		626,3		139,7	
	Media	177,6	Arena Fina	730,4	Arena Gruesa	121,2	Arena muy Fina
	σ	1,462	Moderadamente bien clasificada	4,859	Muy pobrementemente clasificada	1,419	Moderadamente bien clasificada
	Sk	0,337	Muy alta asimetría	0,133	Alta simetría	-0,523	Muy poca asimetría
	K	2,169	Alta angulosidad	0,706	Poca angulosidad	0,645	Muy poca angulosidad
Tercera campaña de muestreo (23/11/2018)	Finos	0,0%		0,3%		0,9%	
	Arenas	99,9%		92,5%		97,7%	
	Gravas	0,1%		7,2%		1,4%	
	D50	153,3		160,2		148,9	
	Media	153,3	Arena Fina	223,7	Arena Fina	148,9	Arena Fina
	σ	1,335	Bien clasificada	2,415	Pobremente clasificada	1,357	Bien clasificada
	Sk	0,064	Simétrica	0,661	Muy alta asimetría	0,021	Simétrica
	K	2,431	Alta angulosidad	1,985	Alta angulosidad	2,714	Alta angulosidad

Para efectos prácticos de análisis y comparación podemos ver la Tabla 14 con un resumen de las características encontradas y como interpretarlas.

Tabla 14. Resumen de los parámetros encontrados en cada muestra según la metodología de Folk y Ward 1957.

Resultados GRADISTAT		Primera campaña de muestreo (17/08/2018)					Segunda campaña de muestreo (25-26/10/2018)					Tercera campaña de muestreo (23/11/2018)				
		D50	Media	So	Sk	Kt	D50	Media	So	Sk	Kt	D50	Media	So	Sk	Kt
NORTE	Supramareal	153,8	173,2	1,471	0,287	2,349	161,8	185,9	1,417	0,504	0,627	311,7	358,6	1,399	0,554	1,639
	Mesomareal	309	461,4	4,157	0,415	0,932	170,3	364,6	4,157	0,728	1,285	177,3	231,0	1,795	0,612	0,900
	Inframareal	142,1	123,9	1,537	-0,252	0,967	143,1	124,4	1,552	-0,257	0,988	147,7	147,7	1,304	-0,066	2,328
NORTE-CENTRO	Supramareal	x	x	x	x	x	156,4	178,3	1,465	0,334	2,148	154	154	1,245	0,280	1,678
	Mesomareal	x	x	x	x	x	1172	1163,7	3,629	-0,005	1,094	504,4	470,9	2,978	0,069	0,741
	Inframareal	x	x	x	x	x	146,5	149,5	2,129	0,228	1,553	153,2	171,9	1,575	0,397	3,178
CENTRO	Supramareal	161,0	187,6	1,547	0,606	0,937	168,7	194,1	1,534	0,543	0,823	170,6	198,2	1,587	0,566	0,885
	Mesomareal	179,4	232	2,02	0,503	1,266	274,6	365,8	3,013	0,48	1,015	271,1	369,2	2,98	0,486	0,723
	Inframareal	75,59	75,59	1,118	0	0,738	144,3	126,5	1,488	-0,302	2,267	147,5	131,4	1,500	-0,250	2,520
CENTRO-SUR	Supramareal	x	x	x	x	x	154,8	173,7	1,359	0,545	1,69	152,7	170,6	1,48	0,288	2,513
	Mesomareal	x	x	x	x	x	295,2	441,6	3,374	0,502	1,053	573,4	706,1	4,077	0,185	0,569
	Inframareal	x	x	x	x	x	146,5	129,7	1,493	-0,272	2,443	163,9	189,8	1,433	0,519	0,628
SUR	Supramareal	155,7	176,2	1,372	0,546	1,654	156,0	177,6	1,462	0,337	2,169	153,3	153,3	1,335	0,064	2,431
	Mesomareal	176,5	228,8	2,036	0,513	1,306	626,3	730,4	4,859	0,133	0,706	160,2	223,7	2,415	0,661	1,985
	Inframareal	138	145,7	2,701	0,381	1,306	139,7	121,2	1,419	-0,523	0,645	148,9	148,9	1,357	0,021	2,714
Sorting (Grado de selección)					Skewness (Asimetría)					Kurtosis (Angulosidad)						
Muy bien seleccionado					<1,27					Muy buena asimetría - 0,3 a - 1,0						
Bien seleccionado					1,27 - 1,41					Buena asimetría - 0,1 a - 0,3						
Moderadamente bien seleccionado					1,41 - 1,62					Asimétrico - 0,1 a + 0,1						
Moderadamente seleccionado					1,62 - 2,00					Asimetría tosca + 0,1 a + 0,3						
Mal seleccionado					2,00 - 4,00					Asimetría muy tosca + 0,3 a + 1,0						
Muy mal seleccionado					4,00 - 16,00					Extremadamente leptocurtico > 3,00						
Extremadamente mal seleccionado					> 16,00											

De la tabla de parámetros anterior, y gracias a los resultados obtenidos, podemos deducir que la clasificación es un producto de las fuerzas del transporte, lo que se traduce en que, una fuerza de energía poco variable produce una buena clasificación. Lo cual, es evidente en los resultados y a través las diferentes campañas. En promedio, la clasificación de las arenas en la playa La Martina es bien clasificada, lo que indica que las muestras tienen semejanzas en el tamaño de grano y por ende los agentes dinamizadores de estos sedimentos son fuerzas constantes y posiblemente de baja energía.

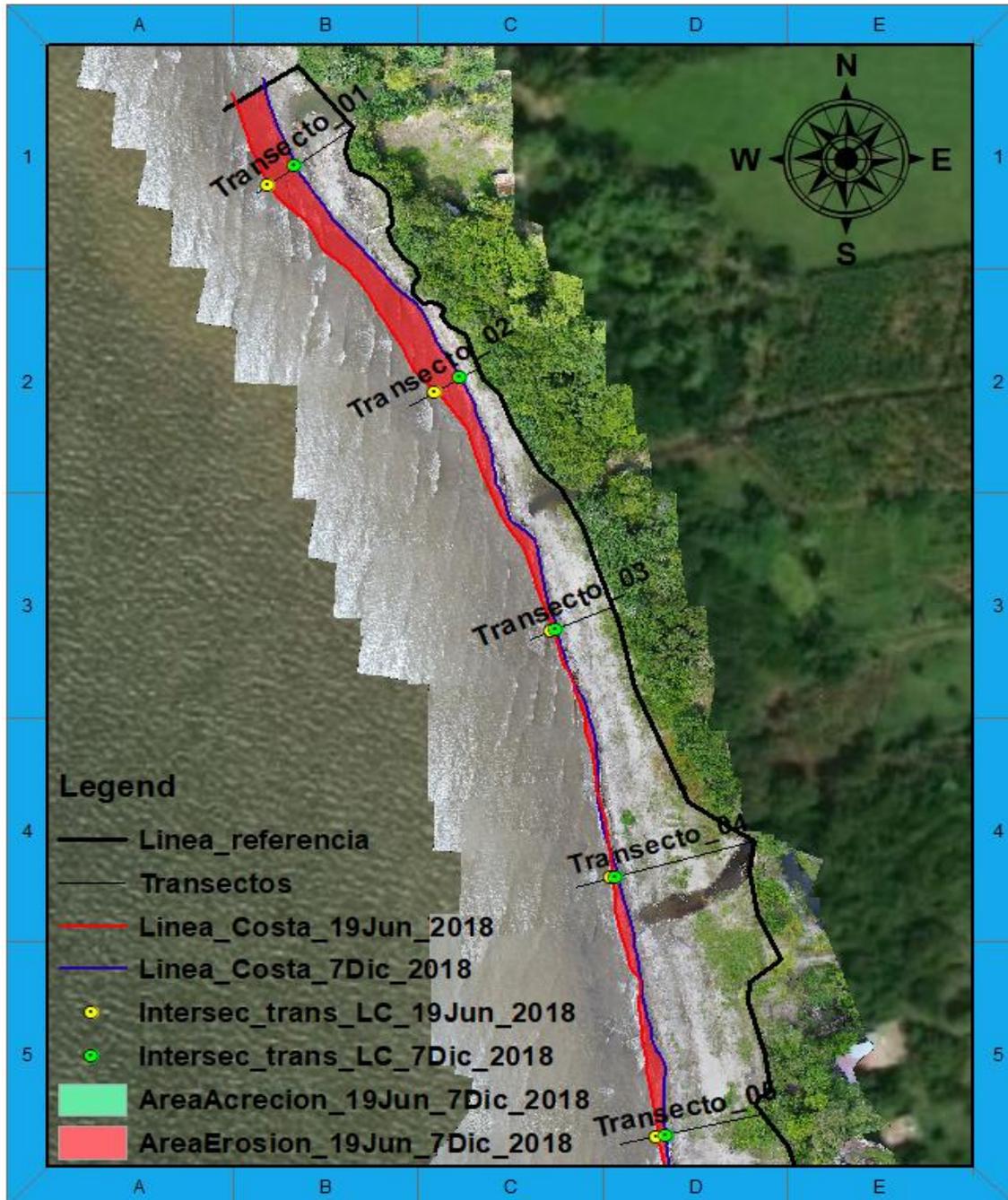
Por otra parte, entre los resultados también resalta la curtosis, lo cual es también concebido como el sesgo vertical de las muestras estudiadas, es decir, cuando tenemos poca angulosidad, esto nos dice que la muestra con respecto a una distribución normal, las partículas se encuentran alejadas de la media, tomando esta curva una forma achatada. Y cuando tenemos una Alta curtosis (Angulosidad en la curva gaussiana), la muestra se comporta de forma acorde a la distribución normal, solo que la campana es más alargada, es decir, son mucho más cercanos a la media.

Es decir, podemos concluir que, al obtener los parámetros de tamaño de grano; su clasificación, asimetría y su curtosis, podemos hacernos una idea de cómo se está transportando el sedimento longitudinalmente y poder incluso rastrear hacia que sitios se generan cúmulos de ese material transportado.

5.4 Fotointerpretación y digitalización de parámetros costeros

Se realizaron vuelos de dron para obtener ortofotos de la playa La Martina durante la época húmeda (junio y diciembre de 2018), para determinar diferencias posteriormente entre los fotomosaicos. Y así estimar la cantidad de material movilizado.

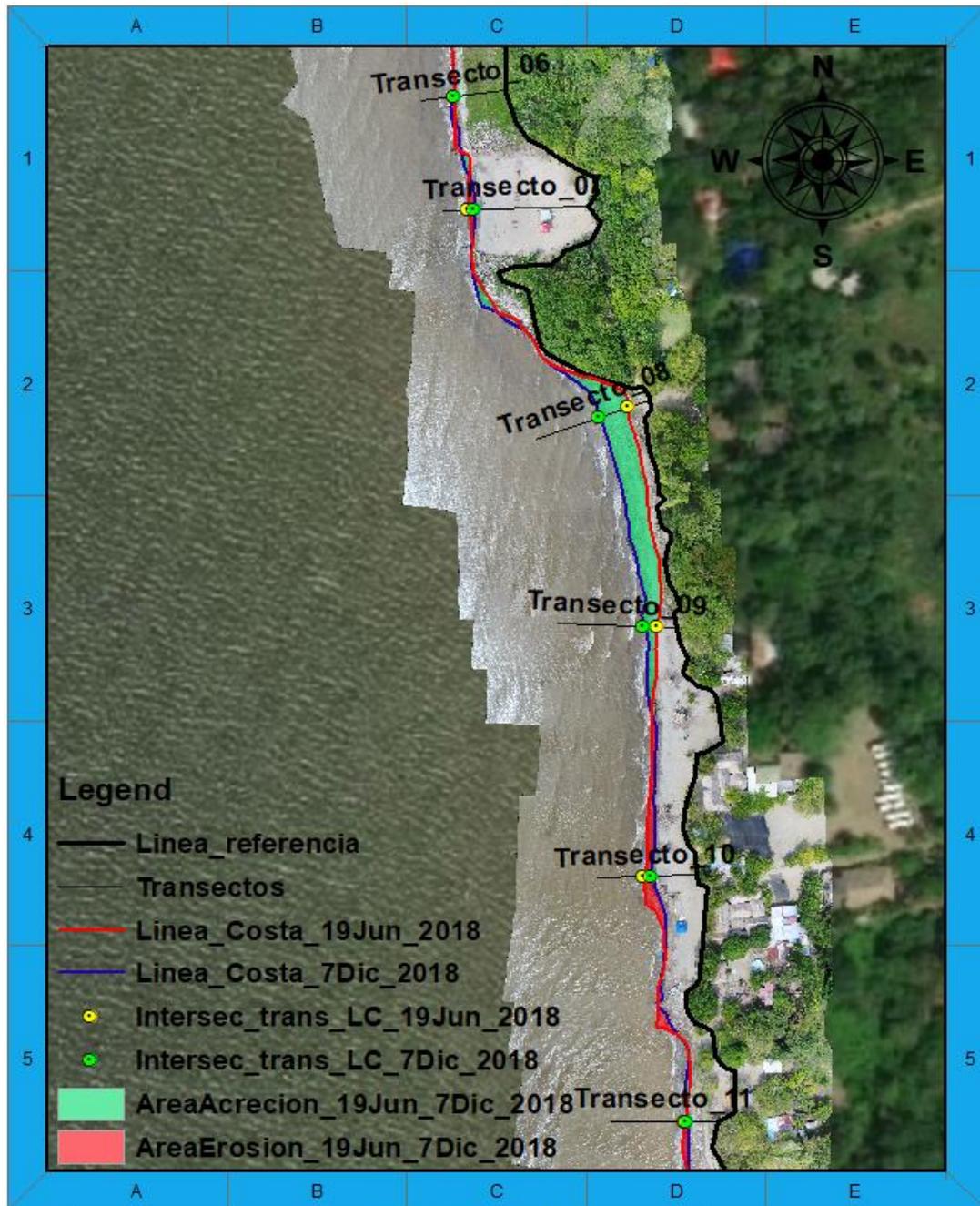
Durante los vuelos y el pos procesamiento (mediante ArcGis) se manejó una escala no superior a 1:2500 para que los datos tuvieran el suficiente detalle para la correcta determinación de línea de costa y elementos propios de la playa. Mediante el procesamiento de las ortofotos, se determinó la variación del área disponible de playa entre junio y diciembre de 2018, identificando así las zonas de mayor afectación por la erosión y que zonas se vieron beneficiadas con aportes de sedimentos., tal como se observa en las siguientes figuras.



NORTE	TRANSECTOS	Ancho de playa [m]		
		Junio	Diciembre	Acreción-Erosión
	TRANSECTO 1	36,5027	24,7076	-11,7951
	TRANSECTO 2	17,5527	7,0700	-10,4827
	TRANSECTO 3	22,8944	21,2326	-1,6618
	TRANSECTO 4	52,1053	50,3731	-1,7322
	TRANSECTO 5	37,8096	34,7410	-3,0686



Figura 25. Layout descriptivo de la parte NORTE de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.



CENTRO	TRANSECTOS	Ancho de playa [m]		
		Junio	Diciembre	Acreción-Erosión
	TRANSECTO 6	20,6230	20,7261	0,1031
	TRANSECTO 7	47,6567	45,5991	-2,0576
	TRANSECTO 8	8,7127	21,0303	12,3176
	TRANSECTO 9	7,5424	12,5757	5,0333
	TRANSECTO 10	20,5964	17,6936	-2,9028
	TRANSECTO 11	13,7068	13,1394	-0,5674



Figura 26. Layout descriptivo de la parte CENTRO de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.

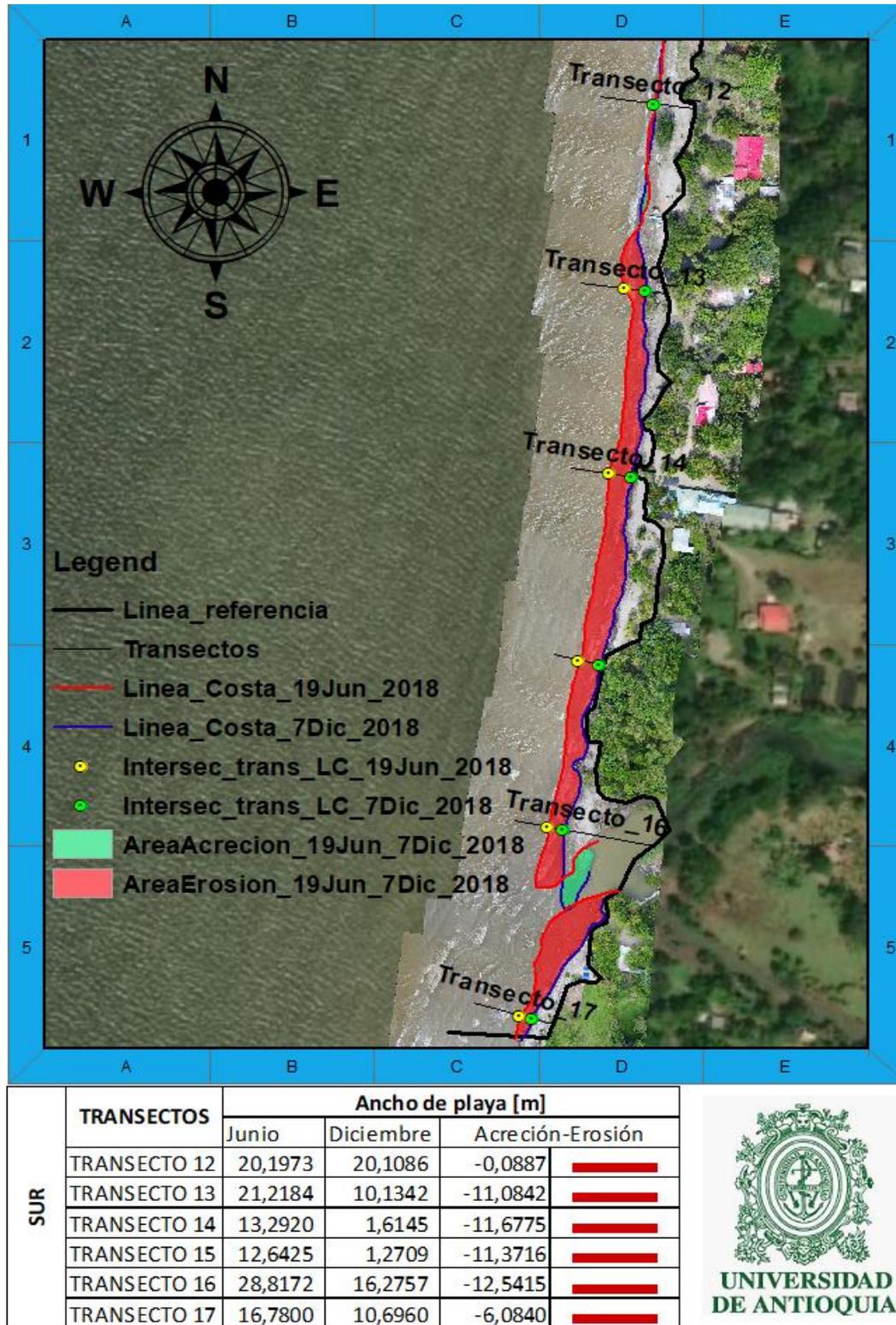


Figura 27. Layout descriptivo de la parte SUR de Playa la Martina y su área de ganancia o pérdida según ortofotos analizadas.

Analizando las Figura 25, Figura 26 y Figura 27 y las tablas conjuntas que las respaldan, se puede razonar con respecto a zonas de mayor material sedimentario dinamizado en toda la playa (siendo la zona norte y sur. Las evidentemente más afectadas) y las posibles razones de estos desplazamientos de arenas tan relevantes. Por ende se hace necesario calcular las cantidades estimadas de ganancia y pérdida, definir zonas críticas y detallar más las particularidades que cada zona nos presenta.

Para ello, se dispone de la información contenida en las Tabla 15 y Tabla 16, en las cuales se identifica características cuantitativas del área de estudio, para las cuales se tuvo en cuenta el promedio de la variación vertical obtenida en los 9 perfiles topográficos entre el periodo de tiempo analizado, dicha variación vertical tuvo un promedio de 0.113 m. Esta variación vertical permitió estimar del cambio de volumen (ya sea de pérdidas o ganancias) de la parte emergida de la playa en estudio a partir de la fotogrametría, multiplicando la diferencia de área por la diferencia vertical promedio estimada en los perfiles topográficos.

Tabla 15: Áreas (inicial y resultante) para la época húmeda

	Áreas de interés [m ²]	Área [m ²]/ [m] lineal	Volumen [m ³] / [m]
Área Jun del 2018	35.779,10	22,93	2,59
Área Dic del 2018	30.062,65	19,27	2,18
Diferencia entre áreas	5.716,45	3,66	-0,41

Para hacer práctica la comprensión de estos resultados, se promedió la variación vertical en el norte (perfil 1, 2 y 3) con resultado de 0.12 m; en la zona centro (perfiles 4, 5 y 6) con un resultado de 0.133 m y en el sur (perfiles 7, 8 y 9) con resultado de 0.09 m. Los cuales equivalen puntualmente a la pérdida promedio que se venía presentando en la vertical de los perfiles, la cual nos servirá para calcular los estimados presentados en la siguiente tabla. Y de esta manera se presenta con mayor detalle la variación de la cantidad de la playa.

Tabla 16: Áreas totales por sectores.

Zona	Áreas de interés [m ²]		Volumen [m ³]	Equivalencias en Volquetas (JAC 3251)
Norte	Área Jun del 2018	12.224,12	1.466,89	
	Área Dic del 2018	9.988,16	1.198,58	
	Diferencia entre Área/Vol	-2.235,96	-268,31	14,90
Centro	Área Jun del 2018	10.897,7	1.449,39	
	Área Dic del 2018	11.663,3	1.551,22	
	Diferencia entre Área/Vol	765,6	101,82	5,65
Sur	Área Jun del 2018	12.657,27	1.139,15	
	Área Dic del 2018	8.411,19	757,00	
	Diferencia entre Área/Vol	-4.246,08	382,14	21,23

Para la información clasificada en la Tabla 16, se tuvo en cuenta también que al tener el volumen de material ganado o perdido se facilitaría para el entendimiento de los mismos resultados, poder compararlos o tratar de hacer una relación con la carga media de una volqueta doble troque para este ejemplo práctico (JAC 3251), que en promedio transporta unas 28 toneladas, aproximadamente 18 [m3] de material.

6. Conclusiones

Es importante resaltar que la dinámica de la zona es dependiente de época en la que se encuentra. Y para este caso los resultados corresponden a la época húmeda del año 2018, lo cual nos ayuda a deducir que, para concluir con mayor certeza, se debe dar continuidad a los estudios oceanográficos y costeros de este tipo durante época seca, para nutrir la información espacio temporal con la que se cuenta de la zona, teniendo en cuenta que esta zona de estudio es solo una parte de lo que es un sistema aún más extenso y complejo.

Por parte de la dinámica de las corrientes y el transporte de sedimento, se infiere que su comportamiento está influenciado por el oleaje y la geomorfología del área de estudio, con lo cual, se plantea una hipótesis en la parte norte, en la cual se encuentra una punta de roca (punta Caimán), la cual puede estar generándole una especie de sombra a la corriente de deriva, llevando a que esta se desplace mar afuera paralela a la costa, pero a una mayor distancia de lo normal; esta es una singularidad en la parte norte, pero con posibles efectos a lo largo de la playa.

Con respecto a las corrientes, se encuentran mayores velocidades hacia el sur y menores hacia el norte, sin importar el horario del día, por ende, hay mayor energía de arrastre en el sur que en el norte, lo que explica la erosión que se presenta en época húmeda en la parte sur.

En general, la variación de pendientes a lo largo de toda la playa es muy poca, sin embargo, en el sector norte se alcanzan las mayores profundidades (4,5 m) a menor distancia desde la costa, lo que se puede explicar a partir de la cercanía al elemento estructural de punta Caimán; de igual forma, el sector sur, aunque presenta menor pendiente en sus perfiles, se encuentran algunos frentes de playa con escarpes significativos en los primeros 90 cm de profundidad, lo cual se puede deber a la alta tasa de retroceso de la línea de costa en este sector, estos escarpes pueden generar procesos de reflexión y por ende transporte offshore de sedimentos.

Los resultados relacionados con las fotografías aéreas y perfiles de playa realizados, nos muestran al momento de digitalizar y comparar las líneas de costa de las ortofotos, que es evidente la pérdida de volumen de material sedimentario en la zona sur y norte y una pequeña ganancia en la zona centro. Dichas cantidades fueron estimadas a partir de los resultados gracias al relacionamiento entre las imágenes aéreas y los perfiles topográficos permitiendo una interpretación conjunta con los resultados de las corrientes y la granulometría pertenecientes a la época húmeda del 2018.

7. Recomendaciones

En primer lugar, se propone aprovechar los sedimentos que llegan y se acumulan en la playa a través del río Cope y el río Cirilo en los momentos que mayor caudal presentan y disponerlos en el sector norte para que sean redistribuidos de forma natural por las corrientes evidenciadas en el presente estudio.

En segundo lugar, se recomienda llevar a cabo pequeñas obras piloto en la línea de costa más afectada por la erosión, de tal manera que sean permeables, visualmente estéticas, seguras con los bañistas y fácilmente removibles en caso de ser necesario, para ello se recomienda hacer uso del material maderable presente en la zona y alternar las conformaciones geométricas u orientaciones de las mismas para evaluar las mejores respuestas ante la dinámica de la zona.

En tercer lugar, se plantea un relleno de playa, con un D50 y unas propiedades fisicoquímicas adecuadas para un uso turístico de playa, con el fin de poder proporcionarle a dicho sistema una fuente aportante de sedimentos y de cierta manera, poder mitigar el problema erosivo en las áreas más afectadas y poder permitirle al sistema encontrar su equilibrio (de perfil y planta), dentro de esta opción se recomienda que el relleno sea depositado en la parte norte centro de la zona, teniendo como referente lógico las dirección de las corrientes de la época.

Por último, sería ideal mantener un programa de monitoreo para tener más información tal que nos permita conocer la evolución y respuesta de la playa ante los diferentes agentes dinamizadores (oleaje, viento, tormentas, descargas fluviales, etc) y durante las diferentes épocas climáticas, favoreciendo así la toma de decisiones que respectan a la gestión costera. Dentro de las metodologías que se recomiendan tener en cuenta en el programa de monitoreo, están: los perfiles topo batimétricos (en los mismos puntos de referencias que se midieron en este proyecto y con las mismas direcciones), sobrevuelos de toda la playa la Martina incluyendo zonas aledañas, tanto en el norte (Punta caimán), como en el sur (Camerún), levantamiento batimétrico con ecosonda mono haz de toda la zona hasta al menos una isobata de 6 m de profundidad y Medición de variables hidrodinámicas, como corrientes y oleaje.

Es importante que estas alternativas sugeridas anteriormente vayan ligadas a un proceso de recuperación y futura consolidación del terreno de vegetación tipo manglar. Ya que se sabe que los manglares y semejantes son importantes para la protección costera de varias formas: su vegetación atenúa la acción de las olas ya que obstaculiza el flujo oscilante de las mismas y estos atenúan también las ráfagas de viento.

8. Referencias Bibliográficas

- Andrés., Barragán (2016). Expansión urbana en las áreas litorales de América Latina y Caribe. Rev. Geogr. Norte Gd. no.64 Santiago set. version On-line ISSN 0718-3402.
- Blott, S. (2000). Gradistat. London.
- Bird, E. C. F. (1985). Coastline Changes. Nueva York: Wiley & Sons.
- Carter, R.W.G. 1988. Coastal environments and introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London; New York: Academic Press. 617 p.
- Corrales, I., Rosell, J., Sánchez, L. Vera, J.A y Vilas, L. 1977. Estratigrafía. Rueda. Madrid, 718 p.
- Ekman, V. W. 1905. On the influence of the Earth's rotation on ocean currents. Arkiv for Matematik, 2(11), 1-53.
- Erosion, 2004. Tesaurus de la Costa. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 75p.
- Gómez, J. (2016). Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio Ambiente: un estado del arte. Facatativá, 81p. Trabajo de grados (Administrador Ambiental y de los Recursos Naturales). Universidad santo Tomás. Facultad de ciencias y tecnologías. Cundinamarca.
- Gutiérrez, O., (2011). Desarrollo de una metodología para el estudio de la morfología de playas basado en mapas auto-organizativos de imágenes digitales. Santander.
- Gutiérrez, M., Montaña, Y. (1985). control de perfiles de playa en el área de Mazatlán, Sinaloa, México. Contribución 513 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Guzmán, W., Posada, B., Guzmán, G. & Morales, D. (2008). Programa Nacional de Investigación para la Prevención, Mitigación y Control de la Erosión Costera en Colombia – PNIEC – Plan de Acción 2009 – 2019. Invemar, Santa Marta. 72 p.
- Liste, M. 2009. Patrones de circulación oceánica en el Litoral Español. España: Universidad de Cantabria.
- Manjarres, Y., Montoya, G., Sabalza, D. (2015). Análisis del comportamiento de los perfiles de playa por efectos de estructuras costeras construidas para mitigar el problema de erosión. caso de estudio: zona nororiental de la isla de tierra bomba en el distrito de Cartagena. Universidad de Cartagena, facultad de ingeniería, programa de ingeniería civil. Cartagena de indias, d. t. y c. – bolívar.
- Montoya, L. (2010) Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos, Medellín, Colombia.

- Neshyba, S., Fonseca, T. (19981). Corrientes costeras Manual de medición y análisis. Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de ciencias del mar y de alimentos. INV. MAR. Valparaíso suplemento al vol. 7: 132 pp.
- Ortiz Royero, J. C. (2015). Introducción a la oceanografía física. Barranquilla, Col.: Universidad del Norte.
- Posada, B. O y W. Henao. 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. Inveemar. Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta. 200 p.
- Ramírez T. (2006). Corrientes oceánicas, Revista de investigación en ciencias matemáticas, Universidad Interamericana de Puerto Rico.
- Robledo, A. K. (2018). PATRONES DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN PLAYA LA MARTINA DURANTE LA ÉPOCA HÚMEDA. Turbo, Antioquia.
- Small, C., Nicholls, R.J. A global analysis of human settlement in coastal zones. Journal of Coastal Research, 2003, Vo. 19, N° 3, p. 584-599.
- Toscano, K. A. 2012. Estudio histórico de corrientes marinas en bahía naufragio- Isla Galapagos empleando los métodos Euleriano y lagrangiano de medición de corrientes. Escuela superior politécnica del litoral, 20-40.
- UNEP., United Nations Environment Programme. Marine and coastal ecosystems and human well-being: A synthesis report based on the findings of the Millennium Ecosystem Assessment. 2006. Extraída de http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3792.
- Velásquez, Liliana. Modelación del transporte de sedimentos en el golfo de Urabá, Colombia. Universidad EAFIT Escuela de Ingeniería. Departamento de geología. Medellín. 2013.
- Vidal, César. Losada, Miguel A. Modelo de morfo dinámica de playas. Grupo de ingeniería Oceanográfica y de Costas. Universidad de Cantabria. Dto. de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. Ingeniería del Agua. Vol. 2 Num. Extraordinario (abril 1995) p. 55
- Yañez-Arancibia, A. y J, Day. 2010. La zona costera frente al cambio climático – Vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en manejo costero. (p: 12– 35). En: Yañez-Arancibia, A. (Ed). Impactos del cambio climático sobre la zona costera. Instituto de Ecología A.C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México D. F. 200 p. 15
- Weir, F., Hughes, M. y Baldock, T. (2006). Beach face and berm morphodynamics fronting a coastal lagoon. Geomorphology. Vol. 82. pp. 331-346.
- Wright, L.D. and Short, A.D., 1983. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: P.D. Komar (Editor), Handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press, Boca Raton, Fla., pp. 35--64.e