



Evaluación de cambios en la franja costera de Arboletes (Laboratorio costero) en el periodo 2021 - 2022 a través de la metodología de ciencia ciudadana *CoastSnap*

Carmelina Lozano Sariego

Trabajo de grado presentado para optar al título de Oceanógrafa

Director

Vladimir G. Toro-Valencia

Doctor (PhD) en Oceanografía física

Asesor

Laura Ribas de Almeida

Doctora (PhD) en Ciencias y Tecnología para la Gestión de la Costa

Universidad de Antioquia

Instituto Ciencias del Mar.

Oceanografía

Turbo, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Lozano Sariago, 2024)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Lozano Sariago, C. (2024). <i>Evaluación de cambios en la franja costera de Arboletes (Laboratorio costero) en el periodo 2021-2022 a través de la metodología de ciencia ciudadana CoastSnap</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado especialmente a ti, madre, Teresa Sariego, por tu amor y sabiduría, por tus esfuerzos y consejos. Porque me diste todo, aun cuando creías que no era suficiente. Este trabajo es la manifestación de todo lo que reflejas en mí.

Agradecimientos

En primer lugar, te agradezco a ti mamá, porque has sido mi base, mi compañía en todos los momentos, tanto buenos como malos y por ello te doy gracias.

A mi padre, Elkin Lozano por su apoyo y su ejemplo. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este logro es también un reflejo de tu dedicación y sacrificio.

De manera especial, quiero agradecer a Dairon Payares. Tu apoyo ha sido invaluable durante estos años; gracias por estar a mi lado, por tu paciencia y tus consejos. Tu ayuda ha sido clave para que hoy este trabajo sea una realidad. A Dany Payares también le agradezco por su compañía y por formar parte de este camino como mi otra familia.

Agradezco a mi asesor, Vladimir Toro, por su guía, paciencia y por compartir su conocimiento de manera tan especial. Su apoyo ha sido clave en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a mi compañero Diomer Tobón, por su gran ayuda en la realización este trabajo.

De manera especial, quiero agradecer a mis amigas María José González y Andrea Agudelo, quienes me han acompañado con risas, consejos y momentos inolvidables a lo largo de este camino. Agradezco su compañía en este viaje académico y su disposición para ayudarme en los momentos difíciles

A la Universidad de Antioquia, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para mi formación. A la Gobernación de Antioquia y al proyecto PIMECLA "Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la Erosión Costera en el Litoral Antioqueño", así como al semillero SEMOCEA, por el apoyo y las oportunidades que me permitieron crecer y aprender.

Finalmente, quiero agradecer a todos los compañeros de mi cohorte y a aquellos que han sido parte de este camino. Este trabajo no solo es un reflejo de mis esfuerzos, sino también de todos ustedes que me han inspirado a seguir adelante.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción	11
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. Área de estudio y Metodología	15
3.1. Área de estudio.....	15
3.2. Metodología (Fase de campo).....	17
3.2.1. Identificación de la zona	17
3.2.2. Instalación de la estación: estructura y diseño.	18
3.2.3. Parámetros de la estación	19
3.2.4. Puntos de control (GP).....	21
3.3. Procesamiento de imágenes	23
3.3.1. Estructura de carpetas y base de datos	23
3.3.2. Valores del nivel de marea	24
3.3.3. Rectificación de las imágenes	25
3.3.4. Extracción de la línea de costa	26
3.3.5. Análisis de la evolución de la línea de costa.....	26
4. Resultados y discusión.....	27
4.1. Variaciones del ancho de playa (año 2021)	28
4.2. Variaciones del ancho de playa (año 2022)	31
4.3. Variación del ancho de playa entre 2021 y 2022	34

- 5. Conclusiones36
- 6. Recomendaciones37
- 7. Referencias.....38
- 8. Anexos41

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de instalación de la Estación No. 1. 19

Tabla 2. Puntos de control para la estación del Laboratorio costero..... 21

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio.	15
Figura 2. Laboratorio costero. Talud modificado mediante su perfilamiento.....	17
Figura 3. Diseño y dimensiones en (cm) vista frontal y lateral de la estructura para los dispositivos móviles Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 4. Carteles informativos. Ejemplo del cartel de la estación Playa Mundito (municipio de San Juan).	19
Figura 5. <i>Parámetros medidos en las estaciones CoastSnap. Arriba: sentido y signos. Abajo: obtención del Azimut. Fuente: elaboración propia</i>	20
Figura 6. Pasos generales del proceso metodológico para el análisis de imágenes de estaciones CoastSnap.....	23
Figura 7. Esquema de la organización de carpetas para la ejecución del código.....	24
Figura 8. Estructura del archivo de marea para el código de Matlab (tide.mat).	25
Figura 9. Proceso de registro. Izquierda: imagen original. Derecha: imágenes registradas	25
Figura 10. a) Transectos cada ± 5 m con una distancia adecuada para la identificación del ancho de playa teniendo en cuenta la marea. b) Líneas de costa identificadas durante el periodo 2021-2023.....	27
Figura 11. Variación del ancho de playa entre 27 de septiembre y 16 de diciembre de 2021.....	28
Figura 12. Variación del ancho de la playa con y sin corrección por nivel de marea, año 2021..	29
Figura 13. Evolución del ancho promedio de la playa por transecto. A) Septiembre – Octubre; b) Septiembre – Noviembre; c) Septiembre - Diciembre.	31
Figura 14. Variación del ancho de playa entre 28 de enero y 07 de diciembre de 2022	32
Figura 15. Variación del ancho de la playa con y sin corrección por nivel de marea, año 2022..	32
Figura 16. Evolución del ancho promedio de la playa por transecto. A) Enero -Febrero; b) Enero - Marzo; c) Enero - Abril; d) Enero – Junio; e) Enero - Agosto, f) Enero - Octubre; g) Enero - Noviembre; h) Enero - Diciembre.....	34
Figura 17. Variación espacial y temporal de la línea de costa durante los años 2021-2022.....	35

Resumen

El monitoreo frecuente de la franja costera es uno de los retos más importantes que se tiene en la actualidad. Este monitoreo es importante en el estudio de la dinámica de la línea de costa y fundamental para entender los procesos de erosión y sedimentación que afectan la morfología litoral. En la franja costera de Arboletes, Colombia, se ha observado una notable variabilidad en la evolución de la línea de costa con pérdidas de terreno que alcanzan los 4.5 km² lo cual ha tenido impactos importantes en las comunidades locales. Este estudio tiene como objetivo evaluar los cambios en la franja costera de Arboletes utilizando la metodología de ciencia ciudadana *CoastSnap*. Esta permite la participación de la comunidad en monitoreo científico por medio de la toma de fotografías. Con este fin se implementó una estación *CoastSnap* en el Laboratorio costero de la Universidad de Antioquia desde septiembre de 2021. Los resultados indican que la línea de costa ha experimentado un avance general, con variaciones significativas relacionadas con las épocas climáticas de un año. Este estudio resalta la importancia del monitoreo continuo y la participación comunitaria en la gestión de la costa. Los resultados muestran que *CoastSnap* puede ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones adecuadas relacionadas con la erosión costera.

Palabras clave: *CoastSnap*, franja costera, erosión, ciencia ciudadana, Laboratorio Costero.

Abstract

Frequent monitoring of the coastal strip is one of the most important challenges we face today. This monitoring is important in the study of the dynamics of the coastline and fundamental to understand the processes of erosion and sedimentation that affect the coastal morphology. In the coastal strip of Arboletes, Colombia, a remarkable variability has been observed in the evolution of the coastline with land losses reaching 4.5 km², which has had important impacts on local communities. This study aims to evaluate the changes in the coastal strip of Arboletes using the CoastSnap citizen science methodology. This allows the community to participate in scientific monitoring by taking photographs. To this end, a CoastSnap station was implemented at the Coastal Laboratory of the University of Antioquia since September 2021. The results indicate that the coastline has experienced a general advance, with significant variations related to the climatic seasons of a year. This study highlights the importance of continuous monitoring and community participation in shoreline management. The results show that *CoastSnap* can be a valuable tool for making appropriate decisions related to coastal erosion.

Keywords: *CoastSnap*, coastline, erosion, citizen science, Coastal Laboratory.

1. Introducción

La zona costera es uno de los lugares más dinámicos a nivel mundial. Son descritas como “un entorno naturalmente cambiante, frágil y complejo donde múltiples fuerzas y procesos se entremezclan entre sí y como parte del sistema global” (Masalu, 2000, como se citó en Khamis, Kalliola & Käyhkö, 2017, p. 117). Estas zonas son un espacio de importancia social, económica y cultural, caracterizado por proveer sustento a millones de personas. Además, ofrecen protección frente a fenómenos climáticos o eventos extremos y hacen parte del sistema marino costero con funciones de regulación climática, influyen en dinámicas ecológicas y aportan belleza paisajística (Bochev-van der Burgh, 2009; Mohammed, 2012; Cortés -Gómez *et al.*, 2023).

De acuerdo con el informe del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022) 820 millones de personas en todo el mundo tienen su sustento en actividades marino-costeras, lo que se traduce en más de 350 millones de empleos en torno a este sistema (p. 22). Sin embargo, estos lugares están en riesgo debido a factores naturales, antrópicos y al cambio climático, lo que conlleva a una pérdida de biodiversidad costera (UNEP, 2024). Fenómenos como la erosión, el aumento del nivel del mar, la urbanización costera y el turismo masivo, han acelerado el deterioro de estas regiones, poniendo en riesgo su estabilidad ecológica, social y económica (Botello *et al.*, 2017; Bárcena *et al.*, 2020)

A lo largo de los últimos años y con el fin de mitigar estos impactos, se ha incrementado el interés en el monitoreo de estos espacios, con el objetivo de comprender mejor su dinámica y desarrollar estrategias sostenibles. Sin embargo, la medición de datos costeros *in situ* son un gran reto para los análisis, ya que su obtención generalmente conlleva tiempo y costos significativos. Informes de Ministerio de Ambiente de Colombia (Invemar, 2003) mencionan que los principales problemas en la gestión de las zonas costeras es que los datos disponibles *in situ* son insuficientes, dificultando un análisis adecuado. Además, no hay una verdadera integración de los datos biofísicos y socioeconómicos, lo que impide una toma de decisiones más eficaz (Steer *et al.*, 1997). Estudios realizados en Uruguay por Trinchin *et al.* (2021) mencionan que uno de sus inconvenientes para generar datos *in situ* es mantener el estudio en el tiempo debido a los altos costos operativos y el mantenimiento de equipos.

Como alternativa, en años recientes han emergido herramientas de bajo costo que permiten la medición de variables costeras mediante el análisis de imágenes provenientes de múltiples

fuentes (Harley & Kinsela, 2020). Estas herramientas han incorporado metodologías que incluyen la ciencia ciudadana como un factor clave en su funcionamiento. Esto ha sido validado por Finquelievich & Fischnaller (2014) quienes mencionan que la sociedad civil ha aumentado su participación en actividades de recopilación, validación, análisis y divulgación de datos con fines científicos mediante el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) especialmente a través de dispositivos móviles. Esta participación masiva aporta a los vacíos de información existente, y permite ampliar la cobertura espacial y temporal de los estudios y a la vez fomenta una mayor conciencia sobre la importancia de los ecosistemas costeros.

Un ejemplo destacado de estas iniciativas es *CoastSnap*, un proyecto de ciencia ciudadana que utiliza la tecnología de los teléfonos móviles para capturar imágenes de la franja litoral, con el fin de monitorear los cambios en las líneas costeras a lo largo del tiempo. Los ciudadanos pueden contribuir tomando fotografías desde puntos fijos, las cuales son usadas para identificar tendencias de erosión/sedimentación o eventos de inundación. Esta metodología ha demostrado ser eficaz en diferentes regiones del mundo, facilitando la recolección de datos a bajo costo y con alta frecuencia temporal (Roger *et al.*, 2020; Harley y Kinsela, 2022).

Ahora bien, la erosión es un fenómeno a nivel mundial del cual Colombia no está exento. Con una extensión de más de 3.000 kilómetros de costa entre el océano Pacífico y el mar Caribe, el país enfrenta una serie de desafíos relacionados con la erosión y el incremento del nivel del mar (INVEMAR, 2015). Estos problemas son particularmente críticos en regiones como el litoral antioqueño, el cual ha sufrido durante décadas problemas de erosión de manera intensa. Informes indican que la línea de costa ha retrocedido entre 50 y 100 metros en los últimos 40 años. Las áreas más afectadas incluyen Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes. En el caso de Arboletes, específicamente en el sector de Punta Rey, se han registrado pérdidas de terreno que alcanzan los 4.5 km² (Franco & Gómez, 1996; Correa & Vernet, 2004; Jaramillo, 2016; Universidad de Antioquia y Gobernación de Antioquia, 2018; Grajales, 2021).

Ante este escenario, es necesario diseñar e implementar estrategias que permitan realizar monitoreos adecuados y continuos. Estos son necesarios para comprender la magnitud y dinámica del problema, así como para diseñar e implementar estrategias efectivas que permitan mitigar el impacto de la erosión. En este sentido metodologías como *CoastSnap* ofrecen una oportunidad única para monitorear estos espacios litorales.

Ante los planteamientos mencionados, la presente investigación pretende evaluar los cambios en la franja costera de Arboletes (Laboratorio costero) a través de la metodología *CoastSnap*. Se busca no solo documentar los procesos de erosión y sedimentación que ocurren en la zona, sino también adecuar una herramienta que pueda ser implementada en otras áreas costeras. Asimismo, se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo es la evolución de la línea de costa del sector del Laboratorio costero de Arboletes?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los cambios en la franja costera del Laboratorio Costero (Arboletes) durante los años 2021 – 2022 por medio de una estación *CoastSnap*.

2.2. Objetivos específicos

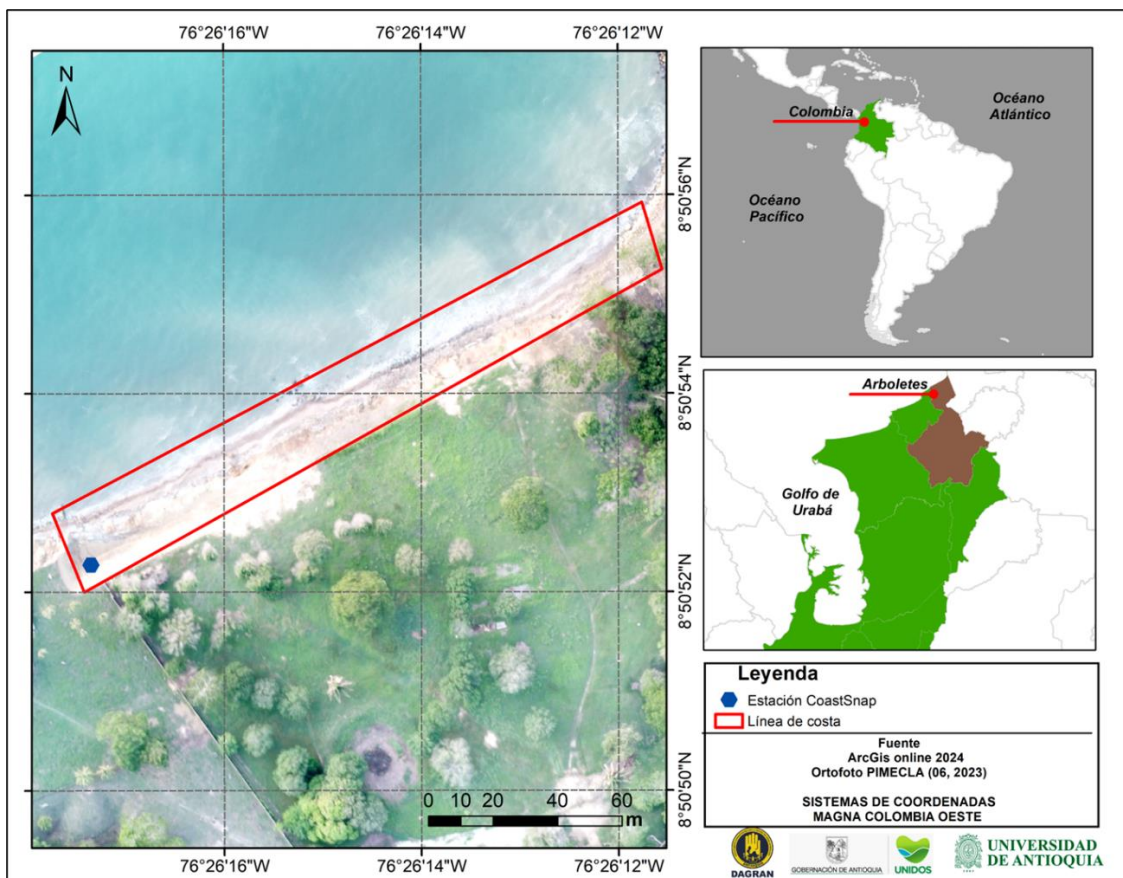
- Caracterizar las condiciones morfológicas de la playa del Laboratorio Costero por medio de mediciones *in situ*.
- Implementar los módulos para el reconocimiento del límite agua-tierra de las fotos tomadas por medio de estaciones *CoastSnap*.
- Evaluar los cambios temporales de acreción y erosión en el Laboratorio Costero.

3. Área de estudio y Metodología

3.1. Área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la franja costera del Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia, municipio de Arboletes ubicado en el extremo norte del departamento de Antioquia. Está ubicado a 1 kilómetro al sur del casco urbano del municipio, limitando al noroeste con el mar Caribe y al noreste con un cuerpo de agua llamado quebrada las Dolencias (Agudelo, 2024).

Figura 1. Área de estudio.



El municipio de arboletes se caracteriza por presentar un clima tropical con una temperatura media anual de 28 °C y una precipitación media anual de 40 mm/ mes, con magnitud de viento de hasta 10 m/s que varían de acuerdo con la época climática (CIOH, 1993; Corre & Vernet, 2004; Thomas *et al.*, 2007; Correa *et al.*, 2007; Correa & Paniagua, 2015). Las épocas climáticas (seca y húmeda) características del Caribe colombiano están regidas por el desplazamiento sur-norte-sur

de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que genera un patrón climático de régimen bimodal. Cuando se encuentra ubicada al sur (entre 0° y 5°) se presentan los vientos alisios del Norte y Noreste que son fuertes y constantes, permitiendo el desarrollo de la época seca (meses de diciembre a abril). Por otro lado, cuando la ZCIT se desplaza hacia el norte, los vientos cambian de dirección, permitiendo la aparición de la temporada lluviosa, con vientos del sur menos intensos (meses de mayo a noviembre) (CIOH, 1993; INGEOMINAS, 1998; INVEMAR, 2003; Correa & Paniagua; Posada *et al.*, 2011).

Respecto a la geomorfología de la zona, ésta se caracteriza por su geografía mixta, con playas arenosas, acantilados de roca sedimentaria y una fuerte dinámica entre el mar y los ríos.

Esta zona costera es especialmente relevante por la presencia de procesos geomorfológicos activos como la presencia de diapiros y terrazas marinas compuestas por arcillolitas, estas juegan un papel crucial en la vulnerabilidad costera. Los diapiros, al estar formados por materiales blandos y poco consolidados, junto con las arcillolitas, que son rocas sedimentarias frágiles y propensas a fracturarse y erosionarse con facilidad, generan condiciones favorables para el retroceso de la línea costera. Estos materiales, sumados a la influencia del oleaje y la erosión subárea, facilitan la ocurrencia de deslizamientos, caídas de rocas y flujos de lodo, lo que contribuye significativamente al avance de la erosión en el litoral. (CIOH, 1993; INGEOMINAS, 1998; UdeA, Gob. ANT, UNAL y UNINORTE 2021; Bravo, 2024).

El Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia tiene aproximadamente 2.6 hectáreas. Cuenta con alrededor de 120 metros de línea de costa y un talud entre 9 y 10 m de altura con una longitud lineal aproximada de 100 metros (**Figura 2**). Como parte de un experimento de protección, el talud tiene un perfilamiento con pendientes de 35° (UdeA, 2021; García, 2022; Pérez, 2023).

Figura 2. Laboratorio costero. Talud modificado mediante su perfilamiento.



3.2. Metodología (Fase de campo)

En el marco del proyecto del Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la Erosión Costera en el Litoral Antioqueño (PIMECLA), se instalaron 8 estaciones *CoastSnap* en los 4 municipios del litoral antioqueño (Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes) como una iniciativa para el monitoreo ciudadano de la evolución de la línea de costa. De éstas, la Estación #1 fue ubicada en el Laboratorio costero, y los datos allí recopilados serán los objetos de estudio de esta investigación.

3.2.1. Identificación de la zona

Para la selección del lugar donde fue ubicada la estación *CoastSnap*, se tuvieron en cuenta los parámetros establecidos por Harley *et al.* (2019):

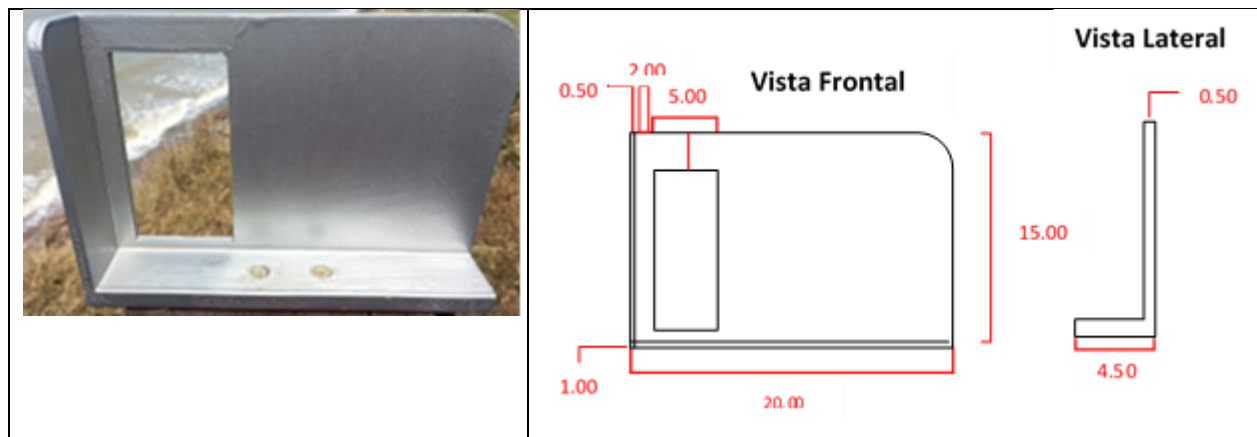
- Ubicación en la parte extrema de la playa con perspectiva oblicua, con esto se busca que la fotografía pueda abarcar completamente la visual y ancho de la playa, permitiendo observar el nivel medio de marea de la zona.
- Altura o posición elevada superior a 1 m por encima de la playa, para garantizar un mayor campo visual y evitar la distorsión de las zonas más alejadas de la estación en el proceso de rectificación.

- Facilidad de acceso y visualización de puntos de control, los cuales permitirán la transformación de las coordenadas del terreno a las coordenadas del sistema de la imagen. Deben poder visualizarse completamente en la imagen y mantener una distribución heterogénea a diferentes alturas, para que el algoritmo de rectificación funcione correctamente.
- Zona concurrida y de fácil acceso, de acuerdo con la finalidad de utilizar imágenes capturadas por múltiples usuarios.

3.2.2. Instalación de la estación: estructura y diseño.

Para la instalación física de la estación, se diseñaron estructuras rígidas en plástico cubiertas con pintura con protección UV, tal como se muestra en la Figura 3. Se diseñaron con base en dimensiones adecuadas para dispositivos móviles de diferentes tamaños, incluyendo tabletas.

Figura 3. Diseño y dimensiones en (cm) vista frontal y lateral de la estructura para los dispositivos móviles Fuente: Elaboración propia.



Además, se diseñaron carteles informativos con el objetivo del proyecto. En el cartel se presentan las indicaciones para las tomas fotográficas e instrucciones del envío de las imágenes por medio de redes sociales y correo electrónico (Figura 4).

Figura 4. Carteles informativos. Ejemplo del cartel de la estación Playa Mundito (municipio de San Juan).



La estación se ubicó sobre un soporte de madera compuesto por una base cilíndrica vertical de 150x15 cm. Sobre esta base, se colocó una segunda una tabla rectangular de 75x15x3 cm. Este sistema proporciona mayor estabilidad a la estructura y aumenta su resistencia frente a movimientos bruscos.

3.2.3. Parámetros de la estación

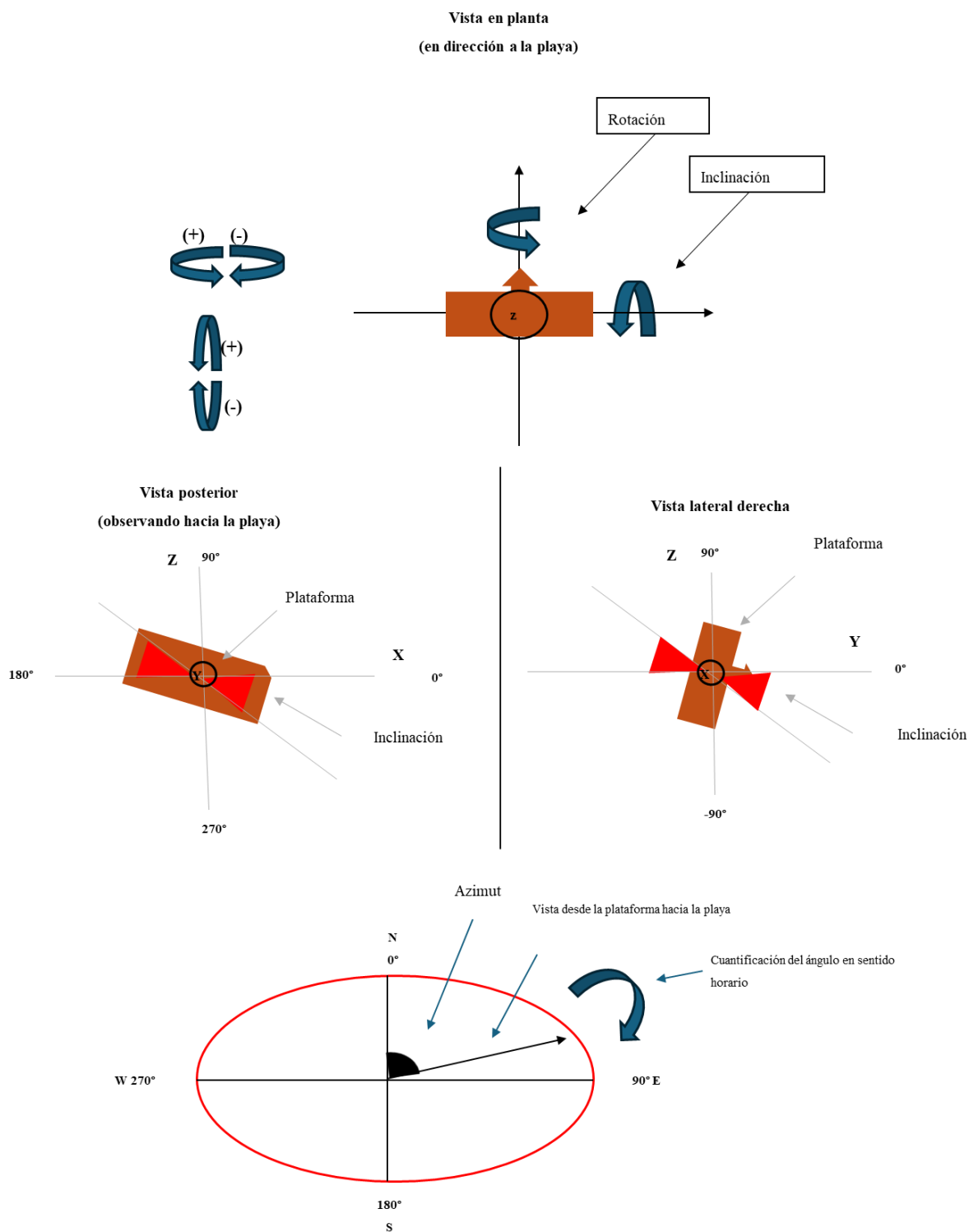
Para asegurar consistencia y precisión en las fotos tomadas y determinar la posición exacta de la cámara o lente del móvil, se midieron parámetros como inclinación, rotación, coordenadas y azimut con respecto al norte geográfico (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de instalación de la Estación No. 1.

<i>Estación</i>	<i>Inclinación (°)</i>	<i>Rotación (°)</i>	<i>Azimut (°)</i>
<i>Laboratorio Costero</i>	-1	1	53

Las estaciones se colocaron de forma que permitieran capturar fotografías oblicuas de las playas, manteniendo fija la posición, el ángulo y el campo de visión (Figura 5). Esto permitió observar de manera continua los cambios geomorfológicos de las playas a lo largo del tiempo, con intervalos variables (Pimecla, 2021)





Figura 5. *Parámetros medidos en las estaciones CoastSnap. Arriba: sentido y signos. Abajo: obtención del Azimut. Fuente: elaboración propia*








3.2.4. Puntos de control (GCP)

Con el fin de realizar una rectificación geográfica de las fotografías tomadas, se instalaron diferentes puntos de control (o de referencia), cuyas coordenadas se midieron utilizando GPS diferencial i50 de la marca CHCNAV, modelo GNSS RTK. Estos puntos permiten ajustar la distancia focal y mejorar la precisión en la determinación de los parámetros extrínsecos de la cámara. Estos puntos sirven como referencia para resolver con mayor exactitud la orientación de las fotos. Para cada uno de los puntos, se instalaron tabloncillos con dianas (círculos rojos), esto debido a que en la zona del Laboratorio Costero no existen estructuras artificiales o naturales que se pudieran utilizar como GCP (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021).

Tabla 2. Puntos de control para la estación del Laboratorio costero.

GCP	N°	Coordenada (m) MAGNA-SIRGAS	Foto
<i>Estaca con diana</i>	1	N: 1470252.264 E: 1070328.435 H: 11.015	
<i>Estaca con diana (playa)</i>	2	N: 1470283.752 E: 1070382.663 H: 3.401	
<i>Tablón con diana</i>	3	N: 1470275.431 E: 1070387.138 H: 9.591	
<i>Estaca con diana</i>	4	N: 1470287.897 E: 1070415.18 H: 9.967	

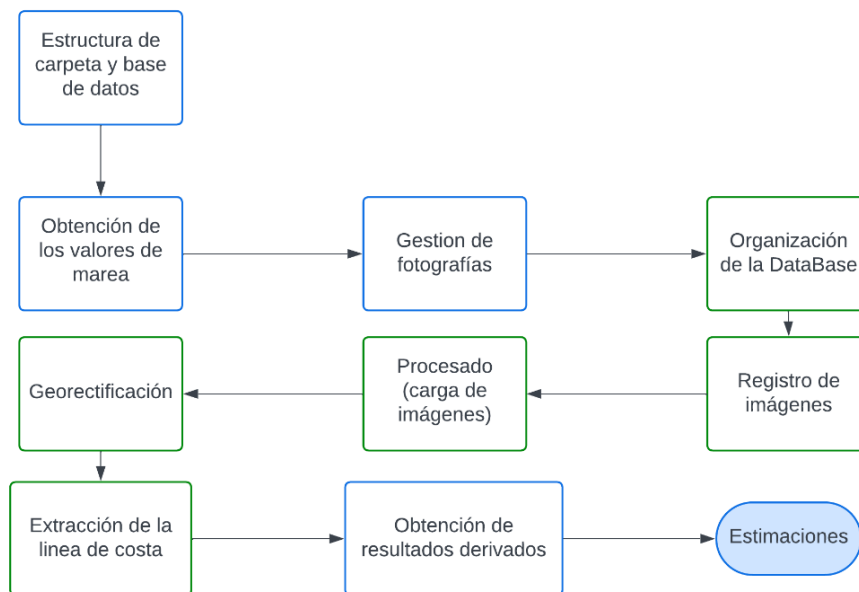
<i>GCP</i>	<i>N°</i>	<i>Coordenada (m)</i> <i>MAGNA-SIRGAS</i>	<i>Foto</i>
<i>Sendero vecino - estación con diana</i>	5	N:1470349.885 E:1070491.334 H: 2.6	
<i>Tablón con diana en el deck</i>	6	N:1470298.275 E:1070432.914 H: 9.416	
<i>Valla del espolón – tablón con diana</i>	7	N:1470405.788 E: 1070496.23 H: 2.909	
<i>Punta espolón – tablón con diana</i>	8	N:1470471.948 E:1070476.229 H: 2.888	
			

3.3. Procesamiento de imágenes

Para el procesamiento y obtención de resultados se siguieron los pasos sugeridos por Harley *et al.* (2019), además de las consideraciones del Manual de MONCOSTA (García *et al.*, 2022) para la instalación y procesamiento de las imágenes medidas por medio de las estaciones *CoastSnap* (Figura 6).

El código para el análisis de las fotografías se obtuvo de la paquetería de *CoastSnap* disponible en el repositorio abierto GitHub. Este encuentra en el perfil de usuario *Coastal Imaging Research Network (CIRN)* y se puede consultar en el siguiente link (<https://github.com/Coastal-Imaging-Research-Network/CoastSnap-Toolbox>).

Figura 6. Pasos generales del proceso metodológico para el análisis de imágenes de estaciones *CoastSnap*.



3.3.1. Estructura de carpetas y base de datos

Para la organización de la información, se consolidó una base de datos con todas las fotografías tomadas por los diferentes usuarios. Inicialmente se descargaron las fotos enviadas a los diferentes canales de recepción (Gmail, Facebook, Instagram y X). Posteriormente, de manera manual, se realizó un filtro de selección de las imágenes más adecuadas. De esta manera se descartaron fotos tomadas por fuera de la base, selfies, imágenes repetidas, de poca visualización, o con aplicación de filtros.

Una vez identificadas las imágenes válidas, se obtuvo de cada foto la información de fecha, hora y marca del dispositivo usado con el fin de asignar una etiqueta que incluyó fecha, hora y nombre de la estación (aaaammdd_hhmm_NombreEstación). Con el objetivo de cumplir con los requerimientos del código Matlab para la fase de ejecución del código, se generó una estructura de carpetas (Figura 7), en las que se incluyeron las imágenes, la base de datos, los códigos y los resultados.

Figura 7. Esquema de la organización de carpetas para la ejecución del código.

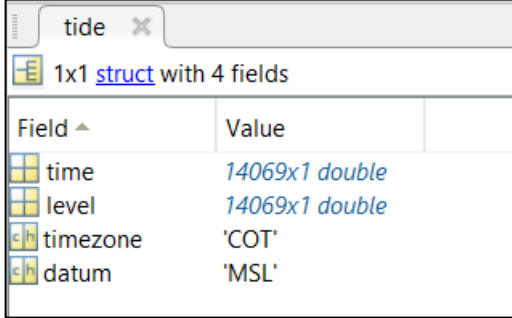


3.3.2. Valores del nivel de marea

Estos datos fueron obtenidos de las estaciones Mareográficas de DIMAR más cercanas al Laboratorio Costero. Para estos se usaron datos del mareógrafo de la estación guardacostas de Turbo, ubicada aproximadamente a 123 km y datos medidos por el programa PIMECLA en un sector de Puerto Rey a unos 5 km. Los datos analizados sugieren una marea mixta principalmente semidiurna con valores de ± 40 cm.

Teniendo en cuenta las especificaciones del código, se realizó un procesamiento a los datos del nivel de mar con el fin de adaptarlos al formato requerido:

- Información del nivel de marea (*level*) en intervalos de 15 minutos (*time*),
- Hora estándar de Colombia (*timezone*)
- Datum vertical correspondiente a las coordenadas tanto de la base como de los puntos de control de la estación (*datum*).

Figura 8. Estructura del archivo de marea para el código de Matlab (*tide.mat*).


Field ^	Value
time	14069x1 double
level	14069x1 double
timezone	'COT'
datum	'MSL'

3.3.3. Rectificación de las imágenes

Las imágenes fueron registradas y rectificadas. Para esto es necesario alinear las imágenes y asegurar que todas tengan el mismo tamaño, de modo que el mismo píxel en las coordenadas de la imagen (número de fila y columna) corresponda al mismo objeto observado en las coordenadas del terreno específicas (Sánchez *et al.*, 2022). En primer lugar, se hizo el registro (alineación) de las fotos por medio del software Adobe Photoshop (Figura 9).

Figura 9. Proceso de registro. Izquierda: imagen original. Derecha: imágenes registradas

Posteriormente, se realizó el proceso de rectificación transformando la imagen desde las coordenadas original a las coordenadas de terreno las cuales son proyectadas sobre un plano $Z=msnm$ correspondiente al momento de la captura. Este paso se llevó a cabo utilizando la interfaz gráfica de Matlab de código de CoastSnap, específicamente con el código CSP.m. Este permitió

cargar las imágenes y asociarlas con puntos de control georreferenciados. Esta rectificación generó imágenes las cuales se almacenaron en la carpeta "Rectified" en formato .jpg y .mat.

3.3.4. Extracción de la línea de costa

Una vez realizado el proceso de rectificación, se mapeó la línea de costa de cada una de las imágenes. Con este fin se usó la imagen tomada el 30 de noviembre de 2021 como referencia, debido a la calidad de la toma, y sobre ella se definieron transectos equidistantes a lo largo de toda la línea. Posteriormente, se definió el límite entre agua y la arena como indicador de la posición de la línea de costa y de esta manera la extracción automatizada de las demás fotografías. Con este fin se usó la técnica de detección de bordes basada en los componentes de color rojo y azul (*Red minus Blue*). Esta técnica permite distinguir entre la superficie del agua, que refleja principalmente en la banda azul, y la arena, que se refleja más en la banda roja. Sin embargo, aunque esta técnica es implementada automáticamente por el sistema CoastSnap, en nuestro caso no funcionó de manera efectiva debido al color oscuro del sedimento de la playa y del agua en la zona de estudio. Harley (2020) menciona que en este tipo de playas el código no funciona bien por la similitud cromática, y, por tanto, recomienda utilizar la técnica Red Green Blue, que no se consideró en este trabajo. Como alternativa, aplicamos un filtro a las fotografías para resaltar el agua de color azul, lo que mejoró significativamente los resultados, aunque algunas imágenes aún requirieron ajustes manuales.

Por último, se calculó la variación del ancho de la playa usando todas las líneas de costa obtenidas de la base de datos, tomando como referencia el nivel de marea en el momento de la captura. El desplazamiento vertical entre los datos de marea y el nivel de marea en la zona de la base se calculó a partir de la altura significativa del oleaje, medida en campo por el programa PIMECLA

3.3.5. Análisis de la evolución de la línea de costa

Finalmente, se realizó el análisis temporal de la línea de costa utilizando dos métodos:

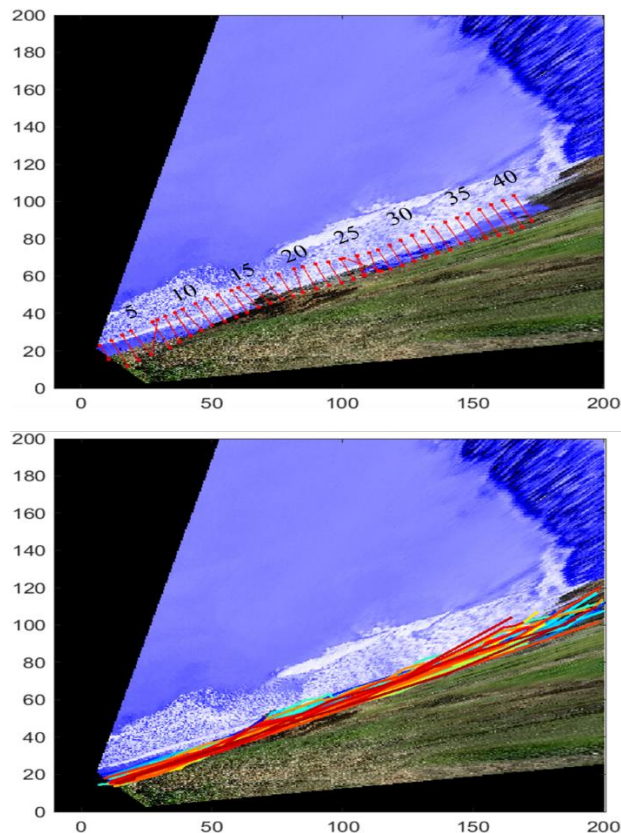
1. Análisis de tendencias, donde se evaluó la evolución del ancho de playa durante todo el periodo de estudio.
2. Análisis de cambios entre imágenes, donde se compararon líneas de costa consecutivas con el fin de detectar variaciones en el ancho de la playa.

4. Resultados y discusión

Con el fin de establecer el ancho inicial de la playa, para evaluar la variación de la línea de costa en el periodo de estudio, se realizó una división de la zona. Ésta se llevó a cabo a través de transectos equidistantes de aproximadamente 5 m cada uno. La distancia perpendicular de cada transecto se escogió de tal manera que incluyera la variación del nivel entre marea alta y baja en un intervalo entre 190 y 200 m. De esta manera establecer la variación de la línea de costa considerando los cambios del nivel de marea y la anchura de la playa.

En el caso nuestro, la longitud de los transectos (tierra-mar) se escogieron de manera tal que abarcaran partes iguales de agua y tierra. Esto lo recomendó Mitchell D. Harley en su webinar *CoastSnap user workshop* (https://www.youtube.com/watch?v=fhKgE__vONA). Sin embargo, el ancho de la playa en el Laboratorio Costero es considerablemente reducido, por lo que la proyección de la imagen no evidenció esta diferencia de manera adecuada. La definición de los transectos permitió la identificación masiva de la línea de costa de todas las fotografías recolectadas (Figura 10 b).

Figura 10. a) Transectos cada ± 5 m con una distancia adecuada para la identificación del ancho de playa teniendo en cuenta la marea. b) Líneas de costa identificadas durante el periodo 2021-2023

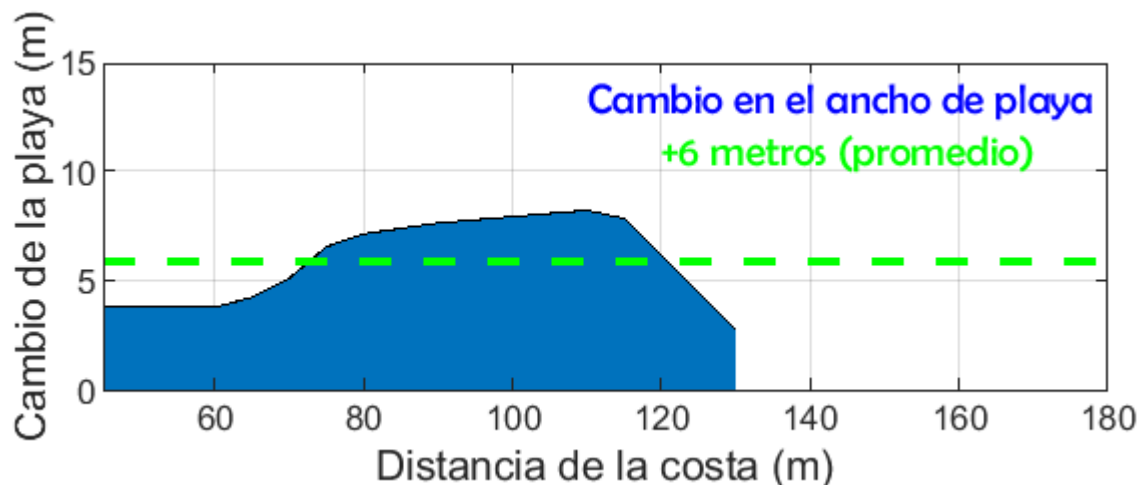


Es importante destacar que el ancho de la playa se calcula con base en una línea de costa de referencia (la última obtenida en el periodo de tiempo analizado) y a partir de la posición de la línea de costa de cada fotografía. Por tanto, las variaciones positivas observadas indican avance de línea de costa hacia el mar (acreción) y las negativas hacia tierra (erosión) con respecto a la línea de referencia. Adicionalmente, en los análisis se consideraron dos opciones con y sin corrección del nivel de marea, con el fin de evaluar la influencia de este factor en los resultados.

4.1. Variaciones del ancho de playa (año 2021)

Del año 2021 se obtuvieron 27 líneas de costa entre septiembre y diciembre. Entre el 27 de septiembre y 16 de diciembre de 2021 los resultados evidencian una variación promedio de 6 m en el ancho de la playa. Para un análisis detallado de las líneas de costa y su variación a lo largo de la costa, se incluyen en el anexo figuras adicionales que muestran las diferencias tanto con corrección de marea como sin ella ([ver Anexo](#)). Se observó una variación promedio de 4 m en la zona natural del talud (0 y 70 m) y de hasta 8 m promedio en la zona perfilada (70 a 120 m), considerando el nivel de marea en los análisis. Para la zona de 120 – 200 m no se evidenció variación. Los resultados sugieren que la forma del talud (natural o perfilado) hará que sea más o menos propenso a la erosión. En este sentido, el perfilamiento contribuyó a un mayor avance en comparación con el talud natural (Figura 11). Es de notar que todo el talud del laboratorio costero está constituido por materiales arcillolíticos y limos y con gran diaclasamiento, que se caracterizan por ser propensos a la erosión o meteorización (García, 2020)

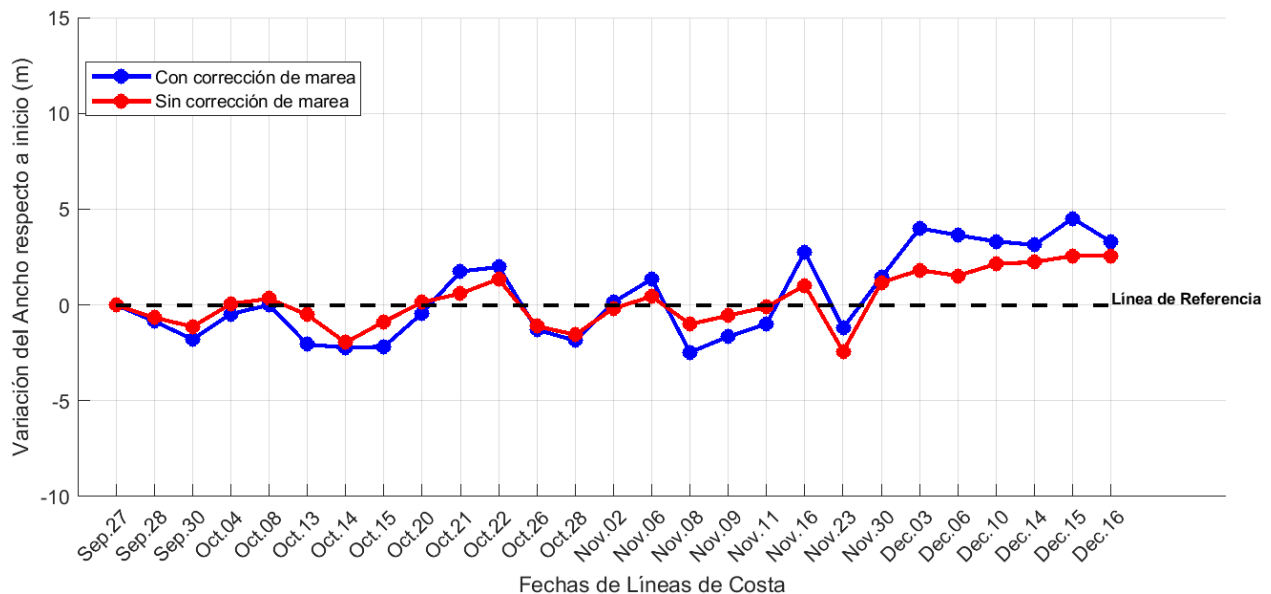
Figura 11. Variación del ancho de playa entre 27 de septiembre y 16 de diciembre de 2021.



Teniendo en cuenta el nivel de marea, los valores promedios del ancho de playa de los transectos revelan un comportamiento dinámico, marcado por ciclos de retroceso y avance con respecto a la línea de costa del 27 de septiembre (Figura 12). Entre septiembre y mediados de octubre, se observa una tendencia negativa, es decir, un retroceso de la línea de costa hacia tierra de hasta 2 m. Entre mediados de octubre y noviembre hay variaciones negativas y positivas de ± 2 m, lo que indica un periodo estable. Sin embargo, para el mes de diciembre se observa una tendencia positiva con puntos máximos de aproximadamente 4 m, indicando avance de la línea de costa.

Es de notar que diciembre es el inicio de la época seca, caracterizada por fuertes vientos provenientes del Norte con velocidades promedio que superan los 4 m/s y puntos máximos de hasta 10 m/s (Thomas *et al.*, 2007). Esto genera oleajes energéticos que podrían estar influyendo en sitios débiles del talud perfilado y en zonas no protegidas como la desembocadura de las Dolencias.

Figura 12. Variación del ancho de la playa con y sin corrección por nivel de marea, año 2021.



Para el escenario sin marea, se observan variaciones menos pronunciadas en el rango de -2 y 2 respecto a la línea base. En general, se evidencia un comportamiento similar a los datos corregidos con marea, con un periodo de tendencia positiva para el mes de diciembre. Estos resultados sugieren que el nivel de marea, a pesar de ser micromareal, modula el ancho de marea en este tipo de análisis, por lo que, para toma de decisiones a partir de este método, debe considerarse.

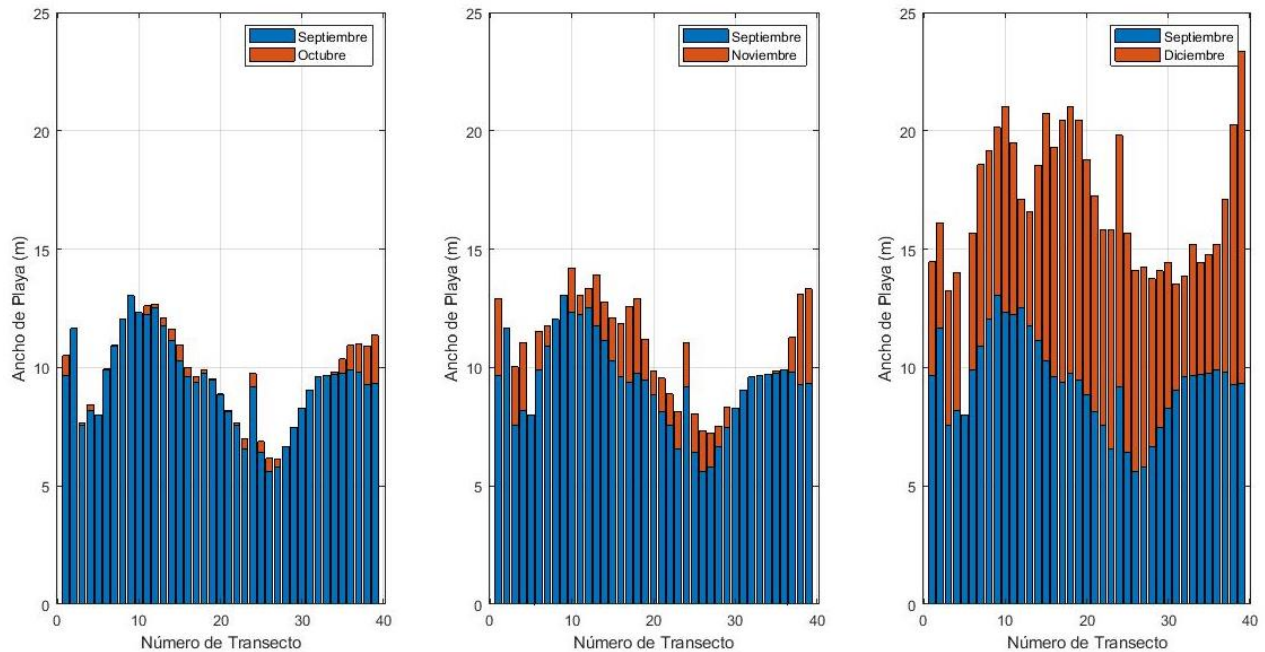
Estos resultados coinciden con estudios previos que subrayan la importancia de la corrección por marea al analizar la evolución del ancho de playa. Según García (2003) en playas con poca pendiente, incluso un ligero aumento del nivel del mar puede provocar un retroceso significativo de la línea de costa. Esto se debe a que la energía de las olas se distribuye de manera diferente en estos perfiles menos abruptos, haciendo que los cambios sean más evidentes, por lo tanto, se hace evidente la importancia de la corrección de marea.

Se realizó un análisis detallado de cada uno de los transectos definidos longitudinalmente. Se hizo una comparación de los valores del mes de septiembre con respecto a los valores de octubre a diciembre (Figura 13).

En promedio, los resultados muestran una variación similar del ancho de playa entre septiembre y octubre con variaciones leves principalmente en los últimos transectos (desembocadura las dolencias), en el caso de septiembre respecto a noviembre se observa un incremento general del ancho promedio con una variación mayor en los transectos 36 - 40. La diferencia mayor se presenta en Diciembre, el talud muestra un avance general, con máximos en la zona natural (transectos 5 a 15) y en la desembocadura de las Dolencias (transectos 35 a 40). Esta última zona tiende a cerrarse durante la época seca (de diciembre a abril), lo que provoca un ancho mayor en la playa. Además, el aporte de sedimentos influye en este comportamiento, lo que podría estar relacionado con el ancho de la playa observado.

Estos resultados sugieren valores de la diferencia similares o positivos en la zona del perfilamiento del talud y la desembocadura de la quebrada las Dolencias (transectos 15 a 40). Mientras que valores mínimos respecto septiembre están asociados a zonas con el talud natural o zona no intervenida (transectos 0 a 10). Esto sugiere que la intervención realizada en el Laboratorio está mitigando el proceso erosivo.

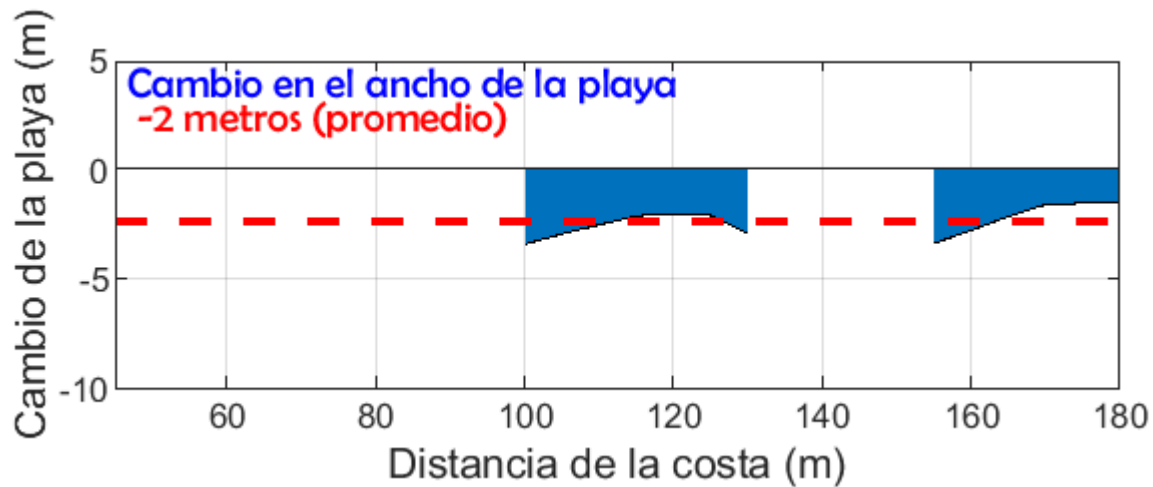
Figura 13. Evolución del ancho promedio de la playa por transecto. A) Septiembre – Octubre; b) Septiembre – Noviembre; c) Septiembre - Diciembre.



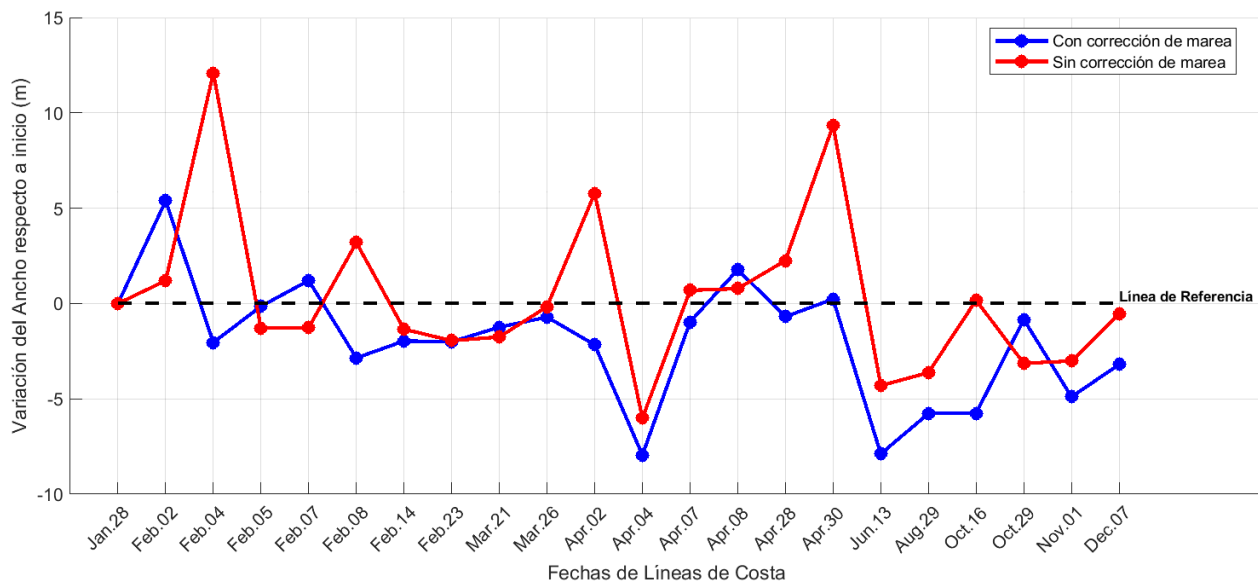
4.2. Variaciones del ancho de playa (año 2022)

Se evaluó la variabilidad temporal y espacial de la línea de costa entre el 28 de enero al 7 de diciembre. La Figura 14 muestra la diferencia entre la línea de referencia de diciembre 07 y enero 28.

Para los sectores entre 100 y 130 m y 155 a 180 m se evidencia retroceso de línea de costa del orden de 2 m (valores negativos). El primer sector está asociado a una zona del talud perfilado y el segundo en la zona de la quebrada Las Dolencias. En los demás sectores no se observó variación. Este comportamiento puede estar modulado por diferentes factores que no se consideraron en este estudio como el análisis de parámetros del oleaje y la incorporación de sedimento por los ríos.

Figura 14. Variación del ancho de playa entre 28 de enero y 07 de diciembre de 2022

En el escenario con corrección por marea, se evidencia un comportamiento general de retroceso respecto a la línea de costa de enero 28. Solo hay dos momentos con valores positivos que sugieren un avance medio en los transectos a inicio de febrero y en abril (época de transición de seca a húmeda) (Figura 15). Factores como oleaje energético principalmente en los meses de diciembre a abril y escasos de sedimento litoral podrían estar influyendo en este comportamiento. Por lo tanto, la tendencia general de la playa es hacia el retroceso, con algunos momentos puntuales de recuperación.

Figura 15. Variación del ancho de la playa con y sin corrección por nivel de marea, año 2022.

Con respecto al escenario sin corrección por nivel de marea, las variaciones del ancho de la playa son más pronunciadas respecto al escenario con corrección, estas diferencias se evidencian en la graficación de todas las líneas de costas obtenidas para el año 2022 en ambos escenarios ([Ver anexo](#)). Variaciones tan grandes respecto a ambos escenarios pueden estar relacionados con valores altos de marea. El comportamiento general de la línea de costa a lo largo del año tiende a seguir patrones similares en algunos puntos en ambos escenarios, con ciclos claros de retroceso y avance. Con una tendencia mayor a la erosión durante los meses de enero a abril, lo que sugiere un ciclo de erosión temporal.

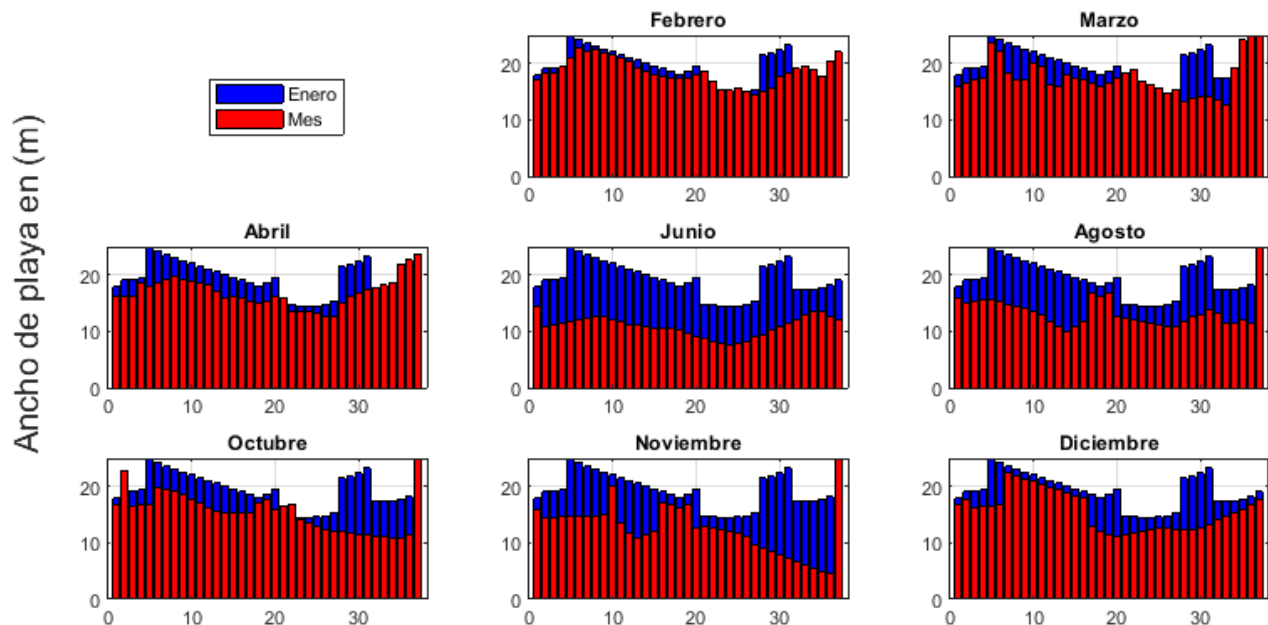
En la Figura 16 se muestran las diferencias del ancho de playa de los meses de 2022 en los que se obtuvieron datos con respecto al mes de enero. De nuevo, valores positivos y negativos de la diferencia están asociados a avances y retrocesos de la línea de costa.

Las figuras muestran como en los meses de febrero a abril, se presentan las variaciones en los anchos ligeramente menores a enero correspondiente a la época de transición de seca a húmeda, exceptuando los transectos 28 a 33 aproximadamente, en los que se observa una disminución de 3 m. Correspondiente al mes de Junio, se observa una disminución de 10 m en los primeros transectos (zona natural) y 5 m en la zona perfilada del talud. Para los meses de agosto a octubre, se observa una recuperación a lo largo de los transectos, con mayor inclinación en los transectos 20 – 30 (zona perfilada) y una disminución en los transectos 30 – 40 (desembocadura de las Dolencias). Esta disminución se proyecta hasta noviembre con una diferencia de hasta 15 m en la zona, este comportamiento está moderado por la intermitencia del flujo de agua de la quebrada.

En cuanto al mes de Diciembre, se observa una recuperación aparente del ancho de playa, con diferencias mayores en los transectos 17- 40.

Estas observaciones sugieren un periodo de retroceso frente al mes de enero con una dinámica costera estacional, posiblemente influenciada por patrones de oleaje y procesos de sedimentación. Se aprecian variaciones mayores en los transectos de la zona natural y desembocadura las Dolencias y menores en la zona perfilada del talud, sugiriendo que la obra, contrarresta los procesos erosivos.

Figura 16. Evolución del ancho promedio de la playa por transecto. A) Enero -Febrero; b) Enero - Marzo; c) Enero - Abril; d) Enero – Junio; e) Enero - Agosto, f) Enero - Octubre; g) Enero - Noviembre; h) Enero - Diciembre.

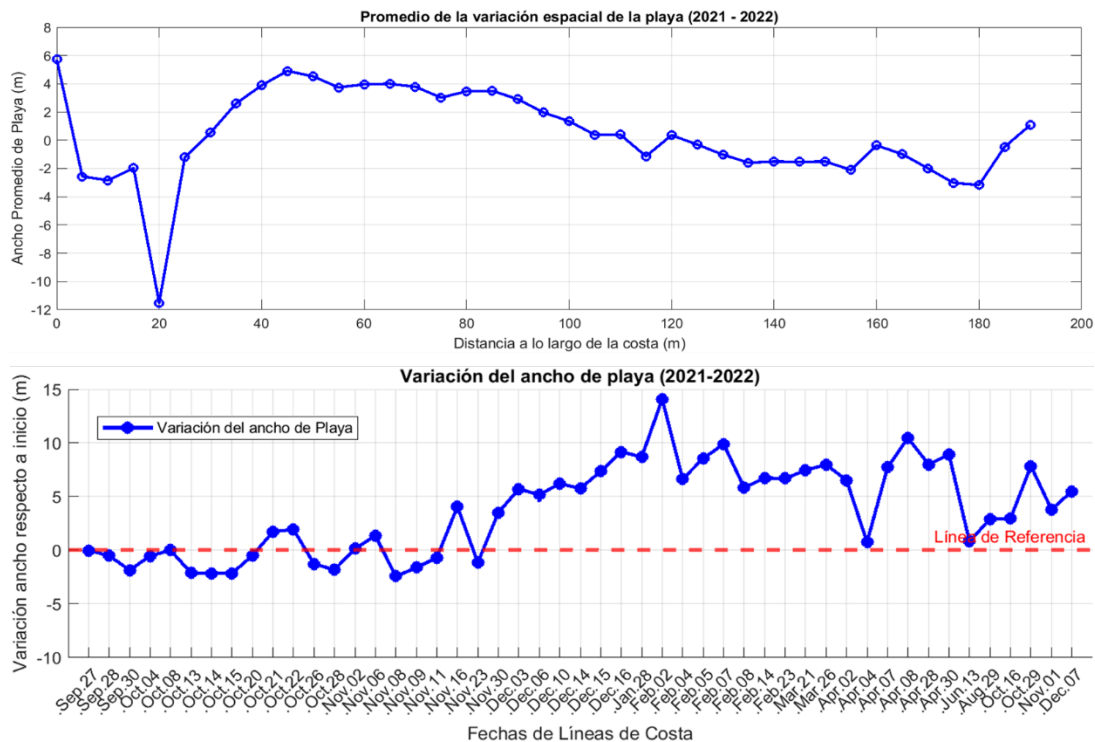


4.3. Variación del ancho de playa entre 2021 y 2022

Se realizó un análisis de la variación del ancho de playa entre 27 de septiembre de 2021 y 07 de diciembre de 2022. En primer lugar, se calculó la variación espacial de anchura de playa a lo largo de cada uno de los transectos. Entre los 5 y 25 m se observan valores negativos asociados a la erosión en estos transectos. Sin embargo, esta cerca del punto base de la medición lo cual podría generar errores, y, por tanto, no se tendrá en consideración. En el intervalo entre 20 y 100 m se evidencian valores positivos de hasta 5 m lo que evidencia mayor ancho de la línea de costa. Este comportamiento está en la zona correspondiente al talud natural.

Para la zona entre 100 y 160 m, se observan valores entre 2 y -2 m, lo que sugiere una zona con menor variación y que está asociada al talud perfilado. Y en el intervalo entre 160 y 180 m se observan valores ligeramente negativos que dan cuenta de variación tenues de la línea de costa. Este resultado sugiere que el perfilamiento está mitigando la erosión en esa zona.

En los últimos transectos se observan de nuevo valores positivos que dan cuenta de una mayor anchura de playa promedio en la zona de la desembocadura de la quebrada las Dolencias, lo que concuerda con los registros fotográficos de la zona en donde se evidencia erosión.

Figura 17. Variación espacial y temporal de la línea de costa durante los años 2021-2022.

Finalmente, respecto a la variación temporal del ancho de playa, se evidencia que para los 3 meses del año 2021 se presentaron oscilaciones entre -3 y 3 m con referencia al mes de septiembre de 2021, comportamiento que indica un comportamiento estable de todo el transecto. Entre diciembre de 2021 y 2022, se observan valores máximos de hasta 15 m y promedios de 5 m que indican un acrésimo promedio en toda la línea de costa respecto a septiembre de 2021. Para una comprensión más completa de las variaciones del ancho de playa a lo largo del tiempo, se recomienda revisar las Figura A y B del Anexo, que proporcionan un contexto visual de las fluctuaciones observadas en ambos años

Este comportamiento puede estar modulado por el comportamiento de la energía del oleaje durante el año 2022. Así como por la climatología en términos de la precipitación e incorporación de sedimentos al sistema.

Es necesario aclarar que los valores promedio de la línea de costa podrían enmascarar comportamientos de mitigación a la erosión como los mencionados antes. Para esto es necesario hacer comparaciones entre transectos como los realizados para cada año.

5. Conclusiones

El monitoreo de la línea de costa mediante estrategias de ciencia ciudadana como *CoastSnap* permiten realizar seguimientos espaciales y temporales del litoral. Esta herramienta es de bajo costo y efectiva para la toma de decisiones.

Se pudo evidenciar variaciones significativas en el comportamiento de la línea de costa y modificaciones en la anchura de la playa, destacándose procesos intensificados de erosión durante los meses correspondientes a la temporada seca principalmente para el año 2022. Correspondiente al año 2021, se observó una tendencia de aumento en la variación del ancho de la playa. Además, se estableció una tendencia general de aumento de la línea de costa respecto a la línea de referencia del 27 de septiembre de 2021.

La configuración morfológica y sedimentaria del talud tuvieron un rol importante en los procesos de avance y retroceso de la línea de costa, especialmente en la zona perfilada. Se observó una menor variación promedio de la línea de costa entre 2 y 3 m en la zona correspondiente al perfilamiento del talud. Los resultados sugieren que el perfilamiento hace menos vulnerable el talud a la erosión.

En cuanto a la metodología empleada, es necesario mencionar que presenta ciertas limitaciones, especialmente en playas estrechas o con arenas de colores rojizos o cafés. Esto dificultó la precisión en la detección de cambios del ancho de playa. Otros factores podrían ser la necesidad de calibración con más frecuencia de la estación de *CoastSnap*.

6. Recomendaciones

Para investigaciones futuras, se recomienda implementar la metodología en áreas con zonas de playa de mayores anchos. Así como un monitoreo más intensivo y continuo de la dinámica costera, complementando estos análisis con datos de drones e imágenes satelitales que permitan capturar datos a una mejor escala espacial y temporal.

Además, se sugiere realizar estudios integrados que consideren diferentes factores climáticos como patrones de oleaje y ampliar la cobertura espacial de los transectos, abarcando áreas más diversas de la costa.

7. Referencias

- Alonso D., Sierra-Correa P., Arias-Isaza, F. y M. Fontalvo. 2003. Conceptos y Guía Metodológica para el Manejo Integrado de Zonas Costeras en Colombia, manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de Documentos Generales de INVEMAR No.12, 94p.
- Bárcena Ibarra, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?*. Cepal.
- Botello A.V., S.Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (Eds.). (2017). Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. *UJAT-UNAM-UAC*. 476 p.
- Bravo, E. J. (2024). *Caracterización granulométrica de una playa en presencia de acantilados y afluentes estacionarios entre la quebrada Las Dolencias y el río Hobo, Arboletes - Antioquia* [Universidad de Antioquia].
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/40205/1/JulioBravoEsneider_2024_Caracterizaci%20b3nGranulom%20a9tricaSedimentos.pdf
- Brommer, M. B., & Bochev-van der Burgh, L. M. (2009). Sustainable coastal zone management: a concept for forecasting long-term and large-scale coastal evolution. *Journal of Coastal Research*, 25(1), 181-188.
- CIOH. (1993). Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. 14, 79-90. Boletín Científico, CIOH. <https://doi.org/https://doi.org/10.26640/22159045.62>
- Correa, I. D., & Vernet, G. (2004). *INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LA EROSIÓN LITORAL EN URABÁ (SECTOR ARBOLETES - TURBO) COSTA CARIBE COLOMBIANA*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 33(1), 07-28. Retrieved September 17, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612004000100001&lng=en&tlng=es.
- Correa, I., Ríos, A., González, D., Toro, M., Ojeda, G., & Restrepo, I. (2007). Erosión litoral entre Arboletes y Punta San Bernardo, costa caribe colombiana. *Boletín de Geología*, 29(2), 115-129.
- Cortés-Gómez, C., Cervantes-Martínez, A., & Arce-Ibarra, A. M. (2023). Sociocultural valuation of the ecosystem services in coastal areas of the Mexican Caribbean. *Economía, sociedad y territorio*, 23(73), 961-990.
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). *ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LOS MUNICIPIOS COSTEROS*. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Portal%20Territorial/Bioceanica/EstrategiaMunicipiosCosteros.pdf>

- Finquelievich, S., & Fischnaller, C. (2014). Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 9(27), 11-31.
- Franco, E., & Gómez, J. (1996). Evolución de la Línea de Costa del Litoral Antioqueño. Aspectos Geomorfológicos, sector Rio Necoclí - Turbo. Facultad Nacional de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín
- García, A. E. S., Soriano-González, J., & González-Villanueva., R. (2022). *Manual para la puesta en marcha y explotación de las estaciones CoastSnap. Proyecto MONCOSTA Monitoreo satelital de la dinámica y evolución de la costa chilena*. Eomapping.com. https://eomapping.com/assets/pdf/MANUAL_COASTSNAP.pdf
- García, O. L. A. (2022). *Seguimiento de cambios topobatimétricos: Informe cuantitativo de la evolución topobatimétrica en el periodo 2021 - 2022 en el Laboratorio costero de la universidad de Antioquia (Arboletes Antioquia)* [Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/30551>
- García Ramos, S. (2003, March). Predicción de los cambios en el perfil de playa mediante parámetros simples (Tesina). UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/6000>
- Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y Universidad del Norte (2021). Erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Compilación de resultados.
- Grajales, Y. A. (2021). Laboratorio costero, un nuevo esfuerzo para mitigar la erosión. *UdeA*.
- Harley, M., Kinsela, M., Sánchez-García, E. S., & Vos, K. (2018, December). CoastSnap: crowd-sourced shoreline change mapping using smartphones. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2018, pp. EP52D-26).
- INVEMAR. (2015). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2014. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 176 p.
- Jaramillo-Vélez, Alfredo. (2016). Panorama de la erosión costera en el Golfo de Urabá. Evidencia de la necesidad de un programa de monitoreo costero regional.
- Khamis, Z. A., Kalliola, R., & Käyhkö, N. (2017). Geographical characterization of the Zanzibar coastal zone and its management perspectives. *Ocean & Coastal Management*, 149, 116–134. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.003>
- Mohammed, E. (2012). *Pagos para servicios ecosistémicos marinos y costeros: prospectos y principios*. . Available at <https://www.iiied.org/es/17132siied>

-
- Osorio, A. F., Pérez, J. C., Ortíz, C. A., & Medina, R. (2007). Técnicas basadas en imágenes de video para cuantificar variables ambientales en zonas costeras. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (16), 51-64.
- Pérez., A. M. R. (2023, junio 11). El PIMECLA, una apuesta por las costas de Antioquia. *Territorios Sostenibles*. <https://territoriosostenibles.com/biodiversidad-y-ecosistemas/el-pimecla-una-apuesta-por-las-costas-de-antioquia/>
- Posada Posada, B. O., Morales Giraldo, D. F., & Henao Pineda, W. (2011). *Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.
- Roger, E., Tegart, P., Dowsett, R., Kinsela, M. A., Harley, M. D., & Ortac, G. (2020). Maximising the potential for citizen science in New South Wales. *The Australian Zoologist*, 40(3), 449–461.
- Thomas, Y. F., Cesaraccio, M., García-Valencia, C., & Ménanteau, L. (2007). Contribution of historical hydrography to the sea bottom cinematic study: Evolution of the Urabá Gulf Colombia. *Bol Cient CIOH*, 25, 110-119.
- Trinchin, R., Manta, G., Santana, R., Rubio, L., Horta, S., Passadore, C., ... & Barreiro, M. (2021). Hacia un monitoreo continuo de variables oceanográficas en el Parque Nacional Isla de Flores, Uruguay. *Innotec*, (21).
- UNEP. (2024). *Ocean, Seas and Coasts*. <https://www.unep.org/topics/ocean-seas-and-coasts>
- Universidad de Antioquia y Gobernación de Antioquia. (2018). Informe final del proyecto "Investigación para reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia". Medellín

8. Anexos

Figura A. Líneas de costa calculadas a partir del número de imágenes colectadas para el año 2021. Se presenta el cálculo de variación a lo largo del transecto sin corrección de marea.

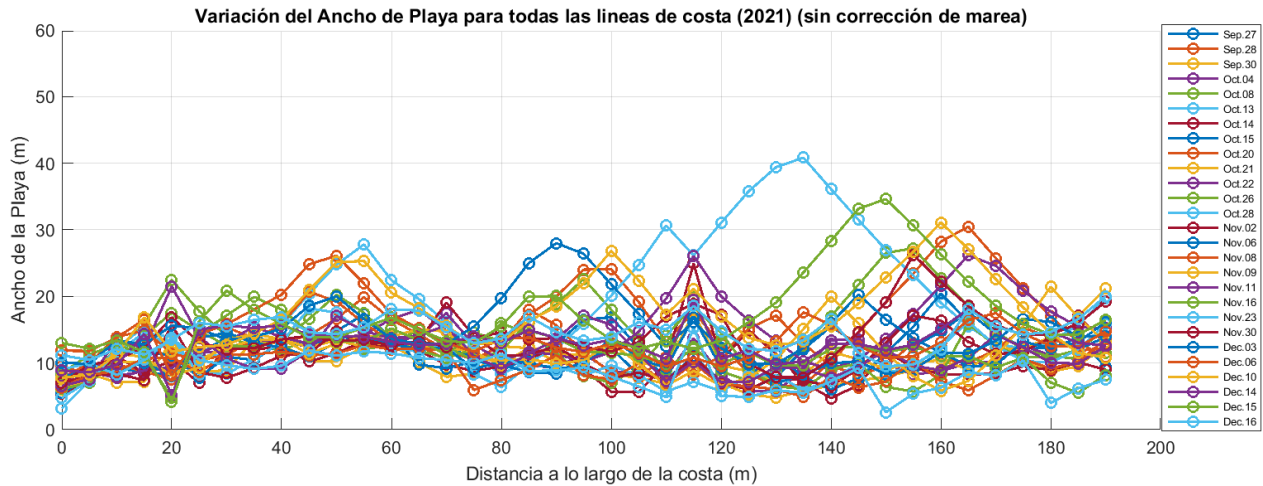


Figura B. Líneas de costa calculadas a partir del número de imágenes colectadas para el año 2021. Se presentan el cálculo de variación a lo largo del transecto con corrección de marea.

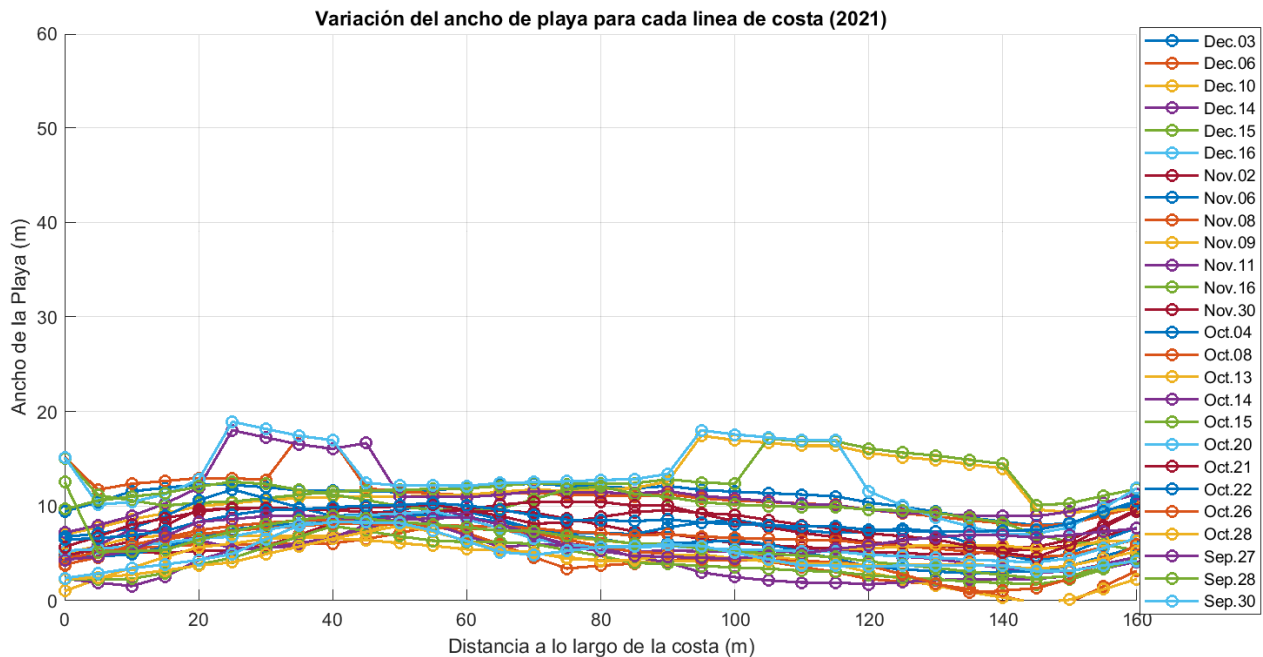


Figura C. Líneas de costa calculadas a partir del número de imágenes colectadas para el año 2022. Se presentan el cálculo de variación a lo largo del transecto sin corrección de marea.

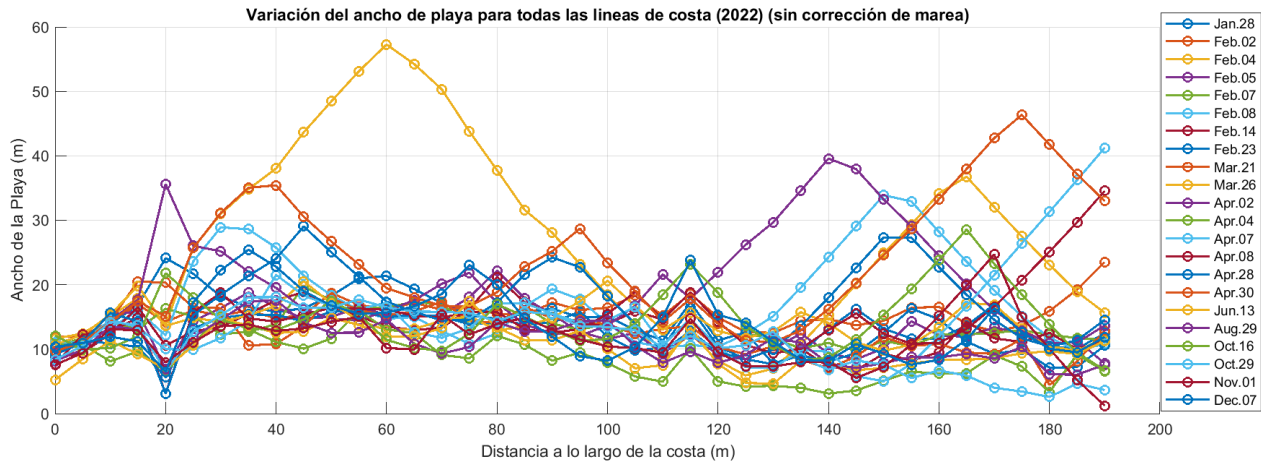


Figura D. Líneas de costa calculadas a partir del número de imágenes colectadas para el año 2022. Se presentan el cálculo de variación a lo largo del transecto con corrección de marea

