

<https://doi.org/10.23854/07199562.2021571esp.Barrantes12>

CAMBIOS ESTACIONALES DEL PERFIL DE PLAYA EN CIENEGUITA, LIMÓN, COSTA RICA.

SEASONAL CHANGES IN THE BEACH PROFILE OF CIENEGUITA, LIMÓN, COSTA RICA.

Sr. Gustavo Barrantes Castillo¹; Sr. José Valverde Calderón²; Sra. Doris Rojas Jiménez³; Sra. Nathalia Badilla Ramos⁴; Sra. Diana Paniagua Jiménez⁵; Sr. André Luiz Carvalho da Silva⁶.

RESUMEN

En el Caribe Sur de Costa Rica, se ha reportado un proceso acentuado de erosión en algunas playas arenosas, sin que se haya podido distinguir entre erosión propiamente y la dinámica de la playa que responde al clima de oleaje. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la dinámica morfológica y sedimentaria de la playa Cieneguita, ubicada en Limón. Se realizaron perfiles de playa y análisis granulométricos de la arena, en cuatro puntos, para caracterizar su comportamiento estacional y las características de los sedimentos. Al analizar los perfiles de playa en su conjunto se reconoce una dinámica en el *backshore* que comprende un largo promedio de 40 m, donde la playa es destruida y reconstruida en ciclos anuales acorde con las condiciones del clima marino. Los sedimentos de las playas son predominantemente representados por arena muy fina a lo largo de toda su longitud. Los resultados obtenidos mostraron que la playa de Cieneguita responde rápidamente a los cambios en las condiciones del mar, estrechándose durante el invierno hemisférico y recuperándose paulatinamente a lo largo del año hasta alcanzar su mayor extensión durante el otoño o el verano. Durante las tormentas más severas, las estructuras urbanas cercanas a la playa han resultado dañadas o incluso destruidas.

Palabras clave: Dinámica Litoral. Perfiles de playa. Caribe de Costa Rica. Erosión Costera.

ABSTRACT

In the Southern Caribbean of Costa Rica, an accentuated process of erosion has been reported in some sandy beaches, without being able to distinguish between erosion itself and the dynamics of the beach that responds to the swell climate. This study aimed to characterize, in a pioneering way, the morphological and sedimentary dynamics of Cieneguita beach, located in Limón. In this sense, beach profiles and sand granulometric analyzes were carried out at four points along Cieneguita beach, to characterize its seasonal behavior and the characteristics of the sediments, respectively. When analyzing the beach profiles, a dynamic is recognized in the *backshore* spanning a long of 40 m length on average, where the beach is destroyed and rebuilt in annual cycles according to the conditions of the marine climate. The sediments of the beaches are predominantly represented by very fine sand along their entire length. The results obtained showed that the Cieneguita beach responds quickly to changes in sea conditions, narrowing during the hemispheric winter and gradually recovering throughout the year until reaching its greatest extension during autumn or summer. During the most severe storms, urban structures near the beach have been damaged or even destroyed.

Keywords: Coastal Dynamic. Beach profiles. Caribbean of Costa Rica. Coastal erosion.

¹ Profesor asociado, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica.

² Profesor asociado, Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional.

³ Funcionaria, Empresa de Servicios Públicos de Heredia, Costa Rica.

⁴ Estudiante, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Costa Rica.

⁵ Profesora adjunta, Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional.

⁶ Profesor asociado, Departamento de Geografía, Universidad Estatal de Rio de Janeiro.

Recibido 15 de agosto de 2021

Aprobado 14 de septiembre de 2021

INTRODUCCIÓN

El aumento en el nivel de los océanos, la ocurrencia de eventos océano-meteorológicos extremos y las anomalías en las corrientes marinas producto de la variabilidad climática ocasionan alteraciones significativas en los litorales costeros de todo el mundo. Un ejemplo en este sentido es el incremento en la probabilidad de ocurrencia de ciclones tropicales, particularmente de categorías 4 y 5 durante el periodo 1979–2017 (Kossin et al., 2020). Estos cambios son preocupantes, ya que tienden a contribuir al aumento del proceso de erosión costera, que afecta a alrededor del 24% de las playas de arena del mundo (Luijendijk et al., 2018). En las costas del Caribe, de acuerdo con Becker et al. (2019), Belice, Puerto Rico, Cuba, y Jamaica se encuentran entre los 10 países más vulnerables a los principales impactos físicos esperados del cambio climático y del ascenso del nivel del mar, incluyendo la erosión costera (Syvitski et al., 2005).

El litoral corresponde a la franja resultante de la interacción de la naturaleza y las actividades humanas bajo la influencia del mar (Barragan, 2003). De acuerdo con Ibarra y Belmonte (2017), el litoral constituye uno de los ambientes más frágiles de la Tierra. La playa es uno de los ambientes sedimentarios más afectado por las modificaciones en la costa, debido a que su dinámica característica responde rápidamente a los cambios en las condiciones del mar (Davis y Fitzgerald, 2009; Davidson-Arnott, 2010; Silva et al., 2020). Por otra parte, las intervenciones humanas, como el relleno de litorales, la construcción de infraestructura sobre la costa, los cambios en el uso del suelo en las cuencas hidrográficas y la construcción de represas pueden alterar el balance de sedimentos necesario para mantener el equilibrio de las playas (Posada y Henao, 2008).

Las características del oleaje a escala local están determinadas por olas generadas localmente (mar de viento) y olas de tormentas distantes (*swell*), no obstante, son pocas las mediciones in situ (García, 2015); por lo que se debe acudir a bases de datos globales satelitales para caracterizar sus condiciones medias y externas, así como las variaciones estacionales (Ramos et al., 2017).

Los cambios morfológicos de las playas son el resultado de la hidrodinámica y los patrones de

interacción y retroalimentación entre la zona emergida e inmersa, por medio del transporte sedimentario (Davidson-Arnott, 2010; Ibarra y Belmonte, 2017). De acuerdo con López et al. (2019) en ambientes de playa arenosa dominados por el oleaje, las olas tienden a ser la condición de forzamiento más importante para los procesos costeros, por cuanto son estas las que agitan el sedimento y generan corrientes paralelas y perpendiculares para su transporte, de lo que se desprende la importancia de relacionar el clima de oleaje con los cambios en los perfiles de la playa. Por lo general, la pérdida de sedimentos en la costa es más significativa durante los eventos extremos de oleaje asociados con tormentas (López et al., 2019).

Según Medina et al. (1995) debido a diferentes factores, en la naturaleza no se presenta una condición de equilibrio estrictamente, no obstante, puede admitirse la existencia de una situación nodal o de equilibrio que experimenta variaciones de acuerdo con el clima marino existente. De acuerdo con Valdecantos (1990) la geometría transversal de un perfil de playa es función del clima marino y de las características granulométricas de la playa, donde una condición breve en la que se presente alturas de ola grandes con periodos pequeños, origina un típico perfil de invierno; en sentido contrario, alturas de ola pequeñas y de periodos mayores, estabilizan el perfil y ocasionalmente contribuyen a la formación de bermas; si esta condición prevalece lo suficiente se desarrolla un perfil estable o en equilibrio. Según ambos autores el perfil tarda más en recuperarse que en erosionarse.

Con la disminución de la altura de la ola se presenta una recuperación de la playa, lo que implica que el material que fue colocado en la playa submarina por los temporales que ocurren a lo largo del año (de mayor frecuencia en los meses de invierno), alcanza la zona superior del perfil (Medina et al., 1995; Davis y Fitzgerald, 2009; Davidson-Arnott, 2010).

El presente artículo pretende caracterizar la dinámica de playa en Playa Cieneguita, localizada en el litoral Caribe sur de Costa Rica, por medio de perfiles de playa con la caracterización simultánea de las arenas, con el objetivo de verificar si en esta localidad se presenta un ciclo de playa que evidencie la oscilación entre perfiles de invierno y

verano o si este comportamiento está matizado por condiciones locales particulares.

En Costa Rica no se ha documentado este proceso con anterioridad, a pesar de su relevancia para separar la dinámica de la playa de un proceso propiamente de erosión. Este último proceso se ha venido agudizando en los últimos años en el Caribe de Costa Rica (Lizano y Gutiérrez, 2011) en particular en el Caribe Sur (Barrantes y Sandoval, 2018; Barrantes et al., 2020).

Área de estudio.

La costa Caribe costarricense tiene una extensión aproximada de 220 km (Vargas, 2006), fisiográficamente puede ser dividida en dos grandes sectores: el norte y el sur. El sector norte se caracteriza por la presencia de playas arenosas, barras de arena, lagunas costeras y un sistema de canales artificiales. La sección sur, por su proximidad al sistema montañoso presenta una menor regularidad. Entre Puerto Limón y Puerto Viejo se localizan playas arenosas extensas, no obstante, a partir de ésta última localidad, la línea de costa se vuelve más intrincada, las playas se acortan hasta desarrollar playas de bolsillo o de herradura (*pocket beaches*) que se intercalan con acantilados rocosos, volviendo a extenderse entre Punta Mona y la desembocadura del río Sixaola (Barrantes et al., 2020) (Figura 1).

El régimen tectónico ha generado una historia estructural diferente entre la cuenca norte y sur de Limón. La sección norte presenta características de un margen continental pasivo y un régimen tectónico extensivo (fallas normales) mientras que el sur presenta un régimen compresivo con ocurrencia de terremotos importantes (Alvarado et al., 2017).

Las cumbres del sistema montañoso cercano a la costa, así como los sectores intermedios de la vertiente del Caribe, se conformaron en gran medida por rocas ígneas (Bergoeing, 2017). En la costa Caribe sur, se localizan promontorios rocosos formados por arrecifes coralinos de origen Pleistoceno u Holoceno (Cortés, 2016) de hasta 100 msnm que alternan con llanuras costeras extensas.

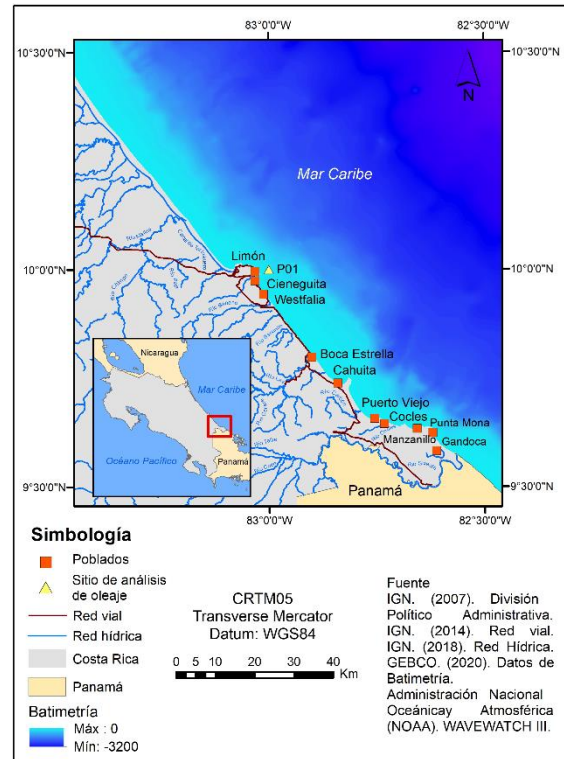


Figura 1. Área de estudio. Elaboración propia.

El régimen climático de la vertiente del Caribe se caracteriza por la ausencia de una estación seca definida, ya que las lluvias se mantienen entre los 100 y 200 mm en los meses menos lluviosos (Instituto Meteorológico Nacional [IMN], 2017). Así mismo, las zonas costeras registran dos periodos relativamente secos que evidencian una importante disminución en las precipitaciones, el primero de febrero a marzo y posteriormente de septiembre a octubre (IMN, 2017). De esta manera, los meses del primer periodo seco coinciden con el periodo seco de la vertiente Pacífica, mientras que el segundo periodo coincide con los meses más lluviosos de dicha vertiente (IMN, 2017).

Por otra parte, se presentan dos periodos lluviosos intercalados entre los secos, que se extienden de noviembre a enero (máximo de lluvias) y seguidamente de mayo a agosto (máximo en julio que coincide con el verano del Pacífico) (IMN, 2017). Del mismo modo, se destaca el mes de diciembre como el más lluvioso, ya que se encuentra influenciado por los efectos de los frentes fríos provenientes del hemisferio norte, los cuales se presentan entre noviembre y mayo, pero

con mayor probabilidad de afectación entre noviembre y marzo (IMN, 2017).

Es importante mencionar que los frentes del norte y los sistemas de alta presión en el Atlántico Norte hacen que en esta región los vientos alisios se intensifiquen desde noviembre hasta abril (Lizano, 2007). Del mismo modo, para el mes de julio se percibe un aumento significativo en la magnitud del viento, que coincide con el "veranillo de San Juan" de la vertiente Pacífica (Lizano, 2007). De acuerdo con este autor, los valores mínimos del viento se registran en los meses de septiembre y octubre, debido a que los oestes ecuatoriales se encuentran bien establecidos en Costa Rica.

La costa Caribe presenta una condición micromareal donde raramente se superan los 30 cm de altura (Murillo, 2001). La principal corriente, a lo largo de la costa caribeña, discurre de noroeste a sureste, debido a la denominada circulación ciclónica del Giro Panamá-Colombia (Andrade et al., 2003).

Lizano (2007) hace una caracterización general del oleaje indicando que sobresale la presencia del componente noreste durante todo el año, con periodos promedio de ola de 7,38 s, lo que sugiere un carácter local del mismo. Destaca un aumento en la energía del oleaje durante los últimos y primeros meses del año, producto de la intensificación de los vientos alisios; indica que en el mes de mayo se registra una disminución en la energía del oleaje, y para el mes de julio se percibe nuevamente un aumento debido a la intensificación de los vientos alisios en esta región; finalmente, señala que el valor mínimo se registra durante los meses de septiembre y octubre, debido a la disminución de los vientos alisios sobre la región.

El área de estudio seleccionada corresponde con la playa de Cieneguita, que para esta investigación ha sido delimitada entre la desembocadura del río Cieneguita y la Pista de Aterrizaje del Aeropuerto Internacional de Limón (Figura 1 y 2). De acuerdo con Acuña et al. (1996) entre Cieneguita y Cahuita la playa es recta, arenosa y con olas de alta energía. Según Barrantes et al. (2020) en esta playa se localiza un punto caliente de erosión costera, al sur del espigón colocado sobre dicha playa.

La playa de Cieneguita se localiza frente al Barrio Cristóbal Colón (conocido como Barrio Cieneguita), el sector norte presenta una configuración curva en la línea de costa que dibuja una concavidad que se continúa con el promontorio de Limón. Es importante resaltar la presencia de un puerto de cruceros denominado Terminal Hernán Garrón Salazar (Terminal de Limón) ubicada entre las coordenadas 83°, 03', 48" longitud oeste y 9°, 59', 30" latitud norte (Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica [JAPDEVA], 2014). Esta concavidad se va perdiendo hacia el sur hasta convertir se en una línea de costa recta frente al Aeropuerto.

El rápido crecimiento urbano y productivo que se viene dando en Limón en las últimas décadas, unido al fuerte turismo de la región, es preocupante, principalmente por tratarse de un litoral muy dinámico. A pesar de la importancia del área estudiada, la investigación relacionada con la dinámica costera aún es escasa en esta costa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los perfiles de playa constituyen un método práctico y económico para caracterizar una playa y hacer monitoreo de sus cambios morfológicos (Navarrete-Ramírez, 2014). Se recomienda realizar perfiles que incluyan la zona sumergida de la playa hasta la profundidad donde el oleaje afecta al fondo (Posada y Rangel, 2009), no obstante, esto aumenta la complejidad y el costo para su levantamiento. El método empleado en esta investigación se basa en el levantamiento de la playa emergida con mira y nivel topográfico, lo cual asegura precisión en el levantamiento. La sección transversal de la playa obtenida permite medir el ancho y pendiente de la playa e identificar las formas propias de este ambiente geomorfológico. Su repetición en el tiempo y posterior superposición permitió registrar la variabilidad temporal y espacial de la playa, así como su respuesta a las condiciones del oleaje.

Los pasos para seguir en cada levantamiento son los siguientes: a) identificación del sitio donde inicia cada perfil, b) definir los cambios en la forma de la playa donde se toman las alturas y la distancia al punto anterior c) registrar los datos de levantamiento del perfil d) construcción del perfil con un programa informático.

Para registrar la variación de la playa de Cieneguita se seleccionaron cuatro sitios distribuidos a lo largo de la playa, tres frente a la comunidad de Cieneguita y uno frente al Aeropuerto de Limón (Figura 2). En cada sitio se levantaron perfiles en un periodo comprendido entre 2016 y 2020, el detalle aparece en la Tabla 1.

Finalmente, se analizan los perfiles en conjunto, en busca de comportamientos que se relacionen con la estacionalidad del clima marino en la región. De esta forma se logra diferenciar procesos propios de la dinámica sedimentaria de la playa (en sentido transversal) y de procesos de erosión, que pueden ser fácilmente confundidos en observaciones ocasionales.

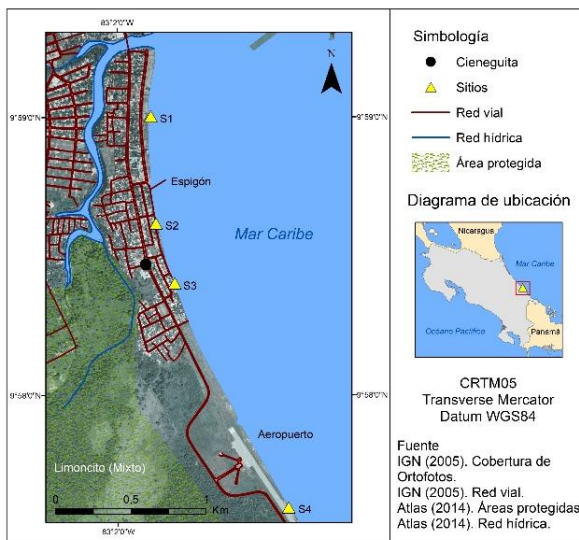


Figura 2. Ubicación de los perfiles sobre la playa de Cieneguita. Elaboración propia.

La información anterior se complementa con el análisis granulométricos a partir de muestras de arena tomadas durante los levantamientos, en los perfiles 2, 3 y 4, entre 2019 y 2020. Se trata de muestras compuestas por sedimentos de la sección superficial de la playa, tomadas a lo largo del perfil, hasta completar una muestra total de 500 g, tanto para la sección seca (*backshore*) como para la sección húmeda (*foreshore*) de la playa. Posteriormente, por medio de cuarteo, se obtuvo una submuestra de 50 g que fue procesada con el analizador granulométrico de partículas CAMSIZER P4 (*Particle Analyzer: CAMSIZER P4: Microtrac.com, s. f.*). La información granulométrica fortalece el análisis de los cambios en cada perfil, pero también aportar en la comprensión de los

procesos relacionados con la distribución y características de los sedimentos a lo largo de la playa.

Tabla 1: Perfiles levantados por sitio de monitoreo. Elaboración propia.

Sitio	Cantidad de perfiles	Mes y año
P1	4	dic-16
		mar-17
		jun-17
		sep-17
P2	10	dic-16
		mar-17
		jun-17
		sep-17
		may-19
		sep-19
		dic-19
		mar-20
		sep-20
		nov-20
P3	12	dic-16
		mar-17
		jun-17
		sep-17
		dic-17
		may-19
		sep-19
		dic-19
		ene-20
		mar-20
sep-20		
nov-20		
P4	7	dic-17
		mar-19
		may-19
		sep-19
		dic-19
		mar-20
sep-20		

RESULTADOS

A continuación, se exponen, los perfiles levantados en los cuatro sitios seleccionados (Figura 2), en relación con su comportamiento estacional, así como los resultados del análisis granulométrico de los sedimentos de la playa.

SITIO 1

Se localiza en el extremo más norte de la playa, próximo a la ciudad de Limón (Figura 2, 3A), entre la desembocadura del río Cieneguita y un espigón construido para mitigar la erosión costera (Barrantes et al., 2017). De acuerdo con Barrantes et al. (2020) se trata de un sector que experimenta un proceso leve de acreción como resultado de la construcción del espigón, no obstante, en este sitio es frecuente la entrada de oleajes severos más allá de la playa (Figura 3B y C).

El perfil realizado a principios de diciembre de 2016 representa las condiciones del otoño hemisférico (septiembre-octubre-noviembre). La playa emergida mide 37,3 m de longitud y la zona de *swash* muestra una pendiente de aproximadamente $4,2^\circ$. Las bermas registradas en los perfiles de playa representan una fase de construcción de la playa que se alterna con tormentas que ocasionan una retirada de sedimentos en lapsos cortos (Figura 4).

El perfil levantado en marzo de 2017 correspondiente con el perfil formado durante el invierno hemisférico (diciembre-enero-febrero). El mismo resulta estrecho, escarpado y cóncavo, lo que es típico de un perfil de invierno o perfil de tormenta. Su inicio fue posiblemente modificado para evitar la penetración del oleaje (Figura 3B). la zona de *swash* muestra una pendiente de aproximadamente 7° y la longitud de playa es de 12,1 m (Figura 4).

El perfil de junio 2017, correspondiente con el perfil formado durante la primavera (marzo-abril-mayo) presenta una importante recuperación de la playa emergida que alcanza una longitud de 43,4 m (Figura 4). Las dos bermas, una larga y una corta, indican un periodo marcado por el predominio de las olas constructoras sostenido por la disminución del oleaje, la zona de *swash* muestra una pendiente de aproximadamente $2,3^\circ$.



Figura 3. Fotos del sitio 1. A) Sitio donde se levantan los perfiles. B) Obra de mitigación (muro de tierra) construida para proteger el bulevar de la inundación marina durante oleajes severos. C) Depósitos de *washover* que muestra el alcance de olas durante tormentas extremas. Elaboración propia.

El perfil de septiembre 2017 corresponde con el perfil formado durante el verano (junio-julio-agosto). Este presenta un perfil convexo típico de una condición de acreción o bonanza sedimentaria. Se registra una longitud de playa emergida de 43,6 m, con una berma no muy bien definida (Figura 4). La zona de *swash* muestra una pendiente de aproximadamente $2,3^\circ$.

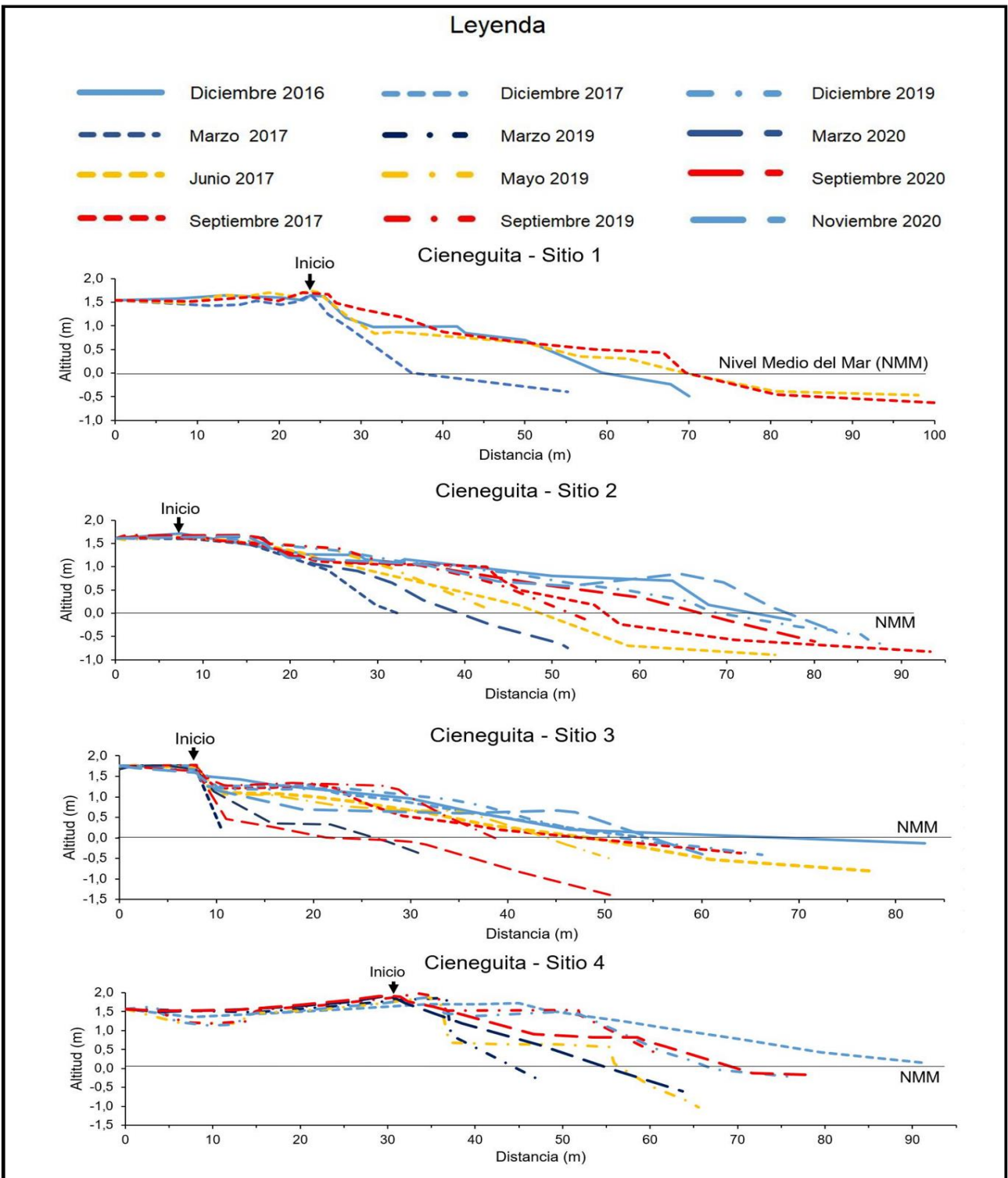


Figura 4. Perfiles correspondientes a los sitios 1, 2, 3 y 4. En todos los sitios es posible observar que la playa emergida se acorta durante el invierno hemisférico, para reconstruirse posteriormente como resultado de la disminución de la energía del oleaje, alcanzando su mayor longitud entre el verano y el otoño. Elaboración propia.

SITO 2

Se localiza al sur del espigón (Figura 2 y 5A) donde se ubica infraestructura recreativa y turística sobre la playa (Figura 5B). De acuerdo con Barrantes et al. (2017) es posible inferir que la corriente litoral en este arco de playa tenga una dirección sureste debido a la acumulación de sedimentos en el sector noroeste del espigón, lo que implicaría que esta obra representa una irrupción en el suministro de sedimento para los sitios ubicados al sureste de la misma. Mediciones realizadas en playa de Mohín, unos 9 km al noroeste del área de estudio (Figura 1) registran una dirección de las corrientes mayoritariamente hacia el sureste, con magnitudes que no superan los 0,5 m/seg (Lizano, 2018).

Los perfiles del otoño (diciembre de 2016, 2019 y noviembre de 2020; sitio 2 en la Figura 4) se constituyen en los más largos en cuanto a la playa emergida, con una morfología convexa características de condiciones de acreción. En algunos casos se presentan bermas antecedidas por pequeños escarpes, lo que indica acumulación de sedimentos con eventos de oleaje mayores aislados. La longitud de la playa emergida varía en el rango de 65 a 70 m con pendiente suave en la zona de swash. Resalta el caso del perfil de noviembre de 2020, cuando se presentó una acumulación de sargazo en la orilla de la playa que aumentó la pendiente localmente.

Para el invierno (marzo del 2017 y marzo 2020; sitio 2 en la Figura 4), al igual que en el perfil 1, se registran los perfiles más cortos, con una longitud de playa emergida que variaron entre 25 y 32 m y una pendiente pronunciada en la zona de swash.

En la primavera (junio 2017 y mayo 2019; sitio 2 en la Figura 4) la playa emergida se recupera, variando entre 36 y 41 m, con una disminución en la pendiente de la zona de swash. Los perfiles muestran una mayor convexidad reflejando mejores condiciones de oleaje, con una respectiva recuperación de sedimentos en la playa.

Para el verano (septiembre 2017, 2019 y 2020; sitio 2 en la Figura 4) el perfil exhibe entre una o dos bermas de escarpes pronunciados, indicando la ocurrencia de tormentas (que en el caso del perfil 1 parecen haber disminuido su longitud). La longitud de la playa emergida varió entre los 49 y 60 m, con una pendiente leve en la zona de swash.

La longitud promedio de los perfiles de la playa emergida, acorde con cada estación muestra que la playa se acorta en el invierno y se va reconstruyendo a lo largo del año, hasta alcanzar su máxima longitud en el otoño (Figura 6).



Figura 5. Fotos del sitio 2. A) Sitio donde se levantan los perfiles. B) Obras recreativas y otras infraestructuras próximas a la costa, en el fondo la terminal de Cruceros de Limón. Elaboración propia.

SITO 3

El Sitio 3 se localiza al sur del barrio de Cieneguita (Figura 2 y 7C). En este punto el bulevar actúa como límite de la playa (Figura 7A). De acuerdo con Barrantes et al. (2020), el retroceso de la línea de costa, en esta sección de la playa, ha sido contenido por medio de gaviones, a manera de un revestimiento inclinado sobre la playa (Figura 8B), construido para proteger la infraestructura pública.

En el otoño (diciembre 2016, 2017 y 2019 y noviembre 2020; sitio 3 en la Figura 4) la longitud de la playa emergida varió en el rango de 44 a 59 m, estableciéndose como los perfiles más largos, al igual que en el sitio 2. La morfología es convexa, con poca pendiente en la zona de swash, y presentó en noviembre de 2020 una acumulación de sargazo en la orilla de la playa.

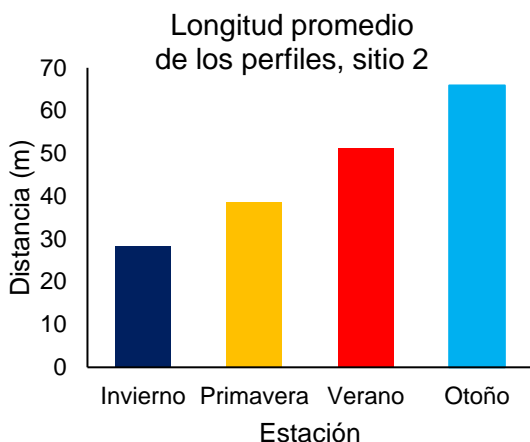


Figura 6. Longitud promedio de la playa emergida en el sitio 2, acorde con las estaciones del año. Nótese el incremento en la longitud de la playa a lo largo del año. . Elaboración propia.

Para el invierno (marzo 2017 y 2020), disminuye notoriamente la playa emergida variando entre 3 y 19 m con fuerte pendiente en la zona de swash que supera los 20°. En el caso de marzo de 2017 la arena apenas recubre la obra de protección (expuesta en algunos sectores, figura 7B). Tanto en el sitio 2 como en el 3 el bulevar y las viviendas reciben sedimentos y restos de vegetación durante las tormentas más severas (Rojas, 2020).

En primavera (junio 2017 y mayo 2019) la playa se recupera con respecto al invierno aumentando su largura entre 41 y 36 m a la vez que disminuye la pendiente en la zona de swash a poco más de 2°. La morfología del perfil se va haciendo convexa, pero con menor cantidad de sedimentos con respecto al verano.

Finalmente, en el verano (septiembre 2017, 2019 y 2020), se identifica una berma y un escarpe pronunciado en 2017 y 2019, lo que sugiere la ocurrencia de oleajes de tempestad que retiraron arena de la playa emergida. Llama la atención el caso del perfil de septiembre 2020 que no se recupera luego de dos oleajes severos seguidos separados por menos de un mes (Barrantes et al., 2020). Excluyendo este caso particular, el perfil de la playa emergida ronda entre los 31 y 40 m, lo que sugiere un predominio de condiciones de oleaje de baja energía.

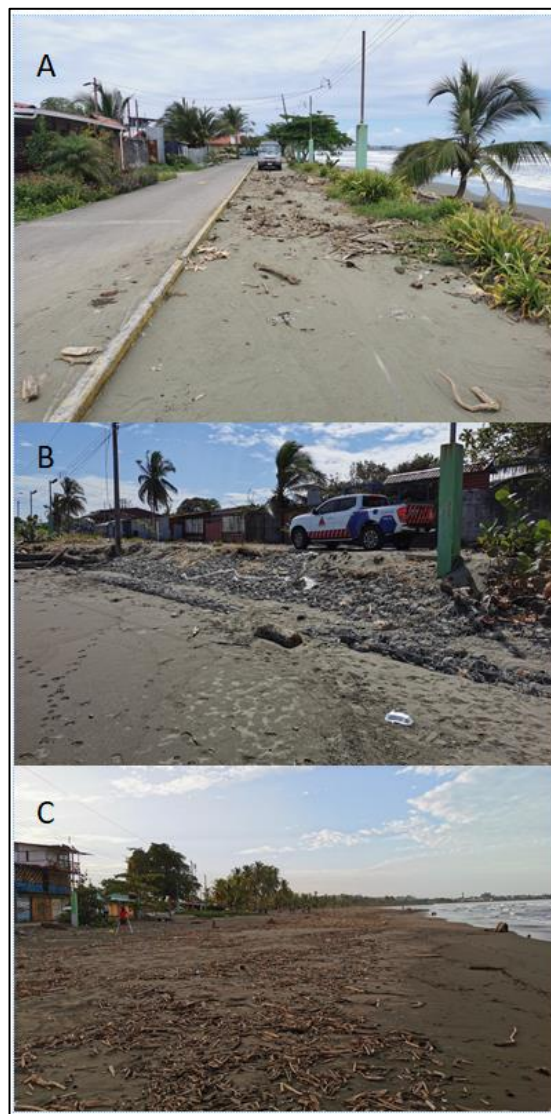


Figura 7. Fotos del sitio 3. A) Proximidad de la infraestructura pública y viviendas a la línea de costa. B) Obra de mitigación construida para proteger el bulevar. C) Sitio donde se levantan los perfiles. Elaboración propia.

En la figura 8 se observa la variación de la longitud promedio de la playa emergida en cada estación del año. Los perfiles más cortos se presentan en invierno, se recuperan en primavera, para disminuir nuevamente en el verano. Finalmente, la playa alcanza su mayor largura en el otoño.

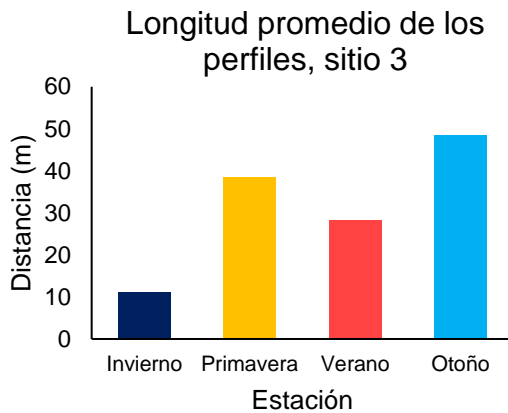


Figura 8. Longitud promedio de la playa emergida en el sitio 3, acorde con las estaciones del año. Nótese que la menor longitud se presenta en el invierno y la mayor en el otoño. Elaboración propia.

SITIO 4.

El sitio 4 se localiza al sur de los anteriores, en el sector de playa frente al Aeropuerto Internacional de Limón (Figura 2 y 9B). El inicio del perfil se ubicó al borde de la pista de aterrizaje, en un sector identificado por Barrantes et al. (2020) como afectado por fuerte erosión de playa, que ha requerido de la intervención con gaviones para proteger la pista (Figura 10A).

En el otoño (diciembre 2017 y 2019) se registran longitudes de la playa emergida que varían entre 66 y 38 m. Para diciembre de 2017 la morfología es convexa con una pendiente suave en la zona de swash, contrariamente para diciembre de 2019 la playa se acorta y presenta dos bermas separadas por escarpes y una pendiente en la zona de swash de $5,0^\circ$. Así mismo se registra un retroceso en el inicio de la playa.

Para el invierno (marzo de 2019 y 2020) la playa se acorta, con una longitud emergida que varía entre 35 y 41 m. En marzo de 2019 se observa la presencia de una berma característica de un perfil de retroceso, formando una playa de tormenta, con un escarpe de 1 m de altura (Figura 10C) y una pendiente de $6,6^\circ$ en la zona de swash. En 2020, retrocede en el inicio de la playa (Figura 4), se suavizando el escarpe y aumentando la largura de la playa.



Figura 9. Fotos del sitio 4. A) Punto de inicio de los perfiles, nótese la ubicación de la pista de aterrizaje del Aeropuerto de Limón y la obra de mitigación colocada para proteger la pista. B) Sitio donde se levantan los perfiles C) Escarpe de berma formada en el verano de 2019. Elaboración propia.

Para la primavera (mayo 2019), el perfil comienza a recuperarse del invierno 2019 con la construcción de una nueva berma en la anterior zona de swash de 18,3 m de longitud, que finaliza en un escarpe de 45 cm de altura. La extensión de la playa emergida se incrementa a 21 m, con una pendiente en la zona de swash de $8,1^\circ$.

En el verano (septiembre 2019 y 2020) se observa una notoria recuperación en la longitud de la playa emergida, que varía entre 35 y 41 m, así como una tendencia a formar un perfil más convexo (Figura 4) de lo que se infieren condiciones de acreción. La longitud de la playa emergida es 35,3 m con una pendiente en la zona de swash que ronda los 6° .

En cuanto a la largura promedio de la playa emergida, los perfiles se acortan en el invierno, se alargan progresivamente en la primavera y en el

verano, hasta alcanzar su mayor longitud en el otoño (Figura 10), comportamiento similar al sitio 2.

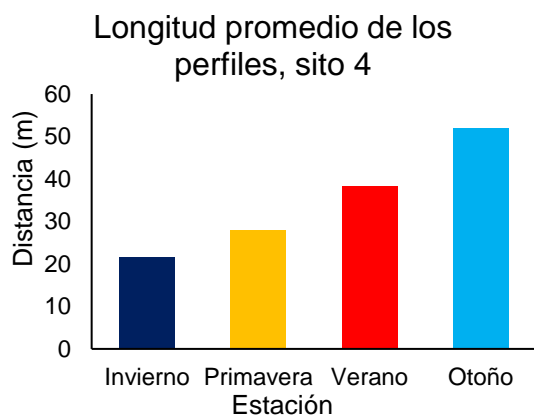


Figura 10. Longitud promedio de la playa emergida en el sitio 4, acorde con las estaciones del año. Nótese el incremento en la longitud de la playa a lo largo del año. Elaboración propia.

En todos los perfiles, ya sean en el *backshore* como en el *foreshore*, predomina la arena muy fina (en porcentajes entre el 60 y el 83 %) seguido por arena fina (entre el 40 y el 12%) (Figura 11). Las otras fracciones aparecen en cantidades más pequeñas, que oscilan entre el 1 y el 15% (Figura 11). Los resultados muestran similitudes en el tamaño de los granos de arena entre la playa emergida y la zona de *swash*. A lo largo del arco de la playa, se observa un leve incremento en la presencia de arena fina, con una disminución en la cantidad de arena muy fina, del sitio 2 (norte) al 4 (sur), posiblemente como resultado de un cambio en la dirección de incidencia de las olas en este sector de la playa que resulta más recta y menos cóncava que la sección norte (Figura 2 y 11).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Hasta hace unos 5 años, los estudios sobre la dinámica de las playas en el Caribe de Costa Rica, basados en el monitoreo estacional, eran inexistentes, a pesar de la gran importancia económica, ambiental y cultural de esta región. Por su parte, los trabajos más recientes con perfiles de playas en Costa Rica (Vargas y Barrantes, 2018; Rojas, 2020; Acosta et al, 2020) apenas esbozan una relación entre la dinámica de la playa y el clima marino.

Según el análisis realizado en Lizano (2007), el oleaje en el Caribe presenta una dirección noreste durante todo el año. Es importante señalar que Badilla (2020) realiza un análisis de clima de oleaje para tres puntos próximos a la costa, en el periodo 1979-2009, con base en datos de reanálisis del oleaje, uno de los cuales se localiza en la coordenada 10° 0' 0" N 83° 0' 0" W a 4 km frente al arco de la playa Cieneguita (Figura 1). Los datos indican una dirección promedio del oleaje este-noreste, durante todo el año (Tabla 2) para este punto del litoral, lo cual difiere levemente con lo indicado por Lizano (2007).

Tabla 2. Dirección del oleaje frente a la ciudad de Limón

Estación	Dirección media (°)	Dirección
Invierno	64,5	ENE
Primavera	66,37	ENE
Verano	64,92	ENE
Otoño	62,14	ENE

Fuente: Modificado de Badilla (2020).

Al analizar los perfiles topográficos en su conjunto resalta el hecho de que en marzo se presenta una longitud corta y una morfología cóncava de la playa, típico de un perfil construido en condiciones de tormenta. Lizano (2007) señala un aumento en la energía del oleaje durante el invierno, como resultado de la intensificación de los vientos alisios, esto es debido a la ocurrencia de tormentas tropicales en el Caribe que generan oleajes de tempestad sobre la costa. Estas condiciones se registran típicamente entre febrero y marzo y eventualmente a inicios de abril.

Por su parte, Badilla (2020) reporta que la máxima altura promedio del oleaje, próximo a Cieneguita, se da en invierno, con altura de ola significativa máxima de 3,48 m y promedio de 1,48 m (Tabla 3). Adicionalmente, Rojas (2020) indica que, durante las primeras cuatro campañas realizadas para el levantamiento de los perfiles entre diciembre 2016 y septiembre 2017, en los sitios 1, 2 y 3; en marzo se estimaron la mayor altura promedio de los oleajes con 0,6 m de alto en la zona de surf, dato obtenido mediante observaciones directamente sobre las condiciones del mar al momento de levantar los perfiles.

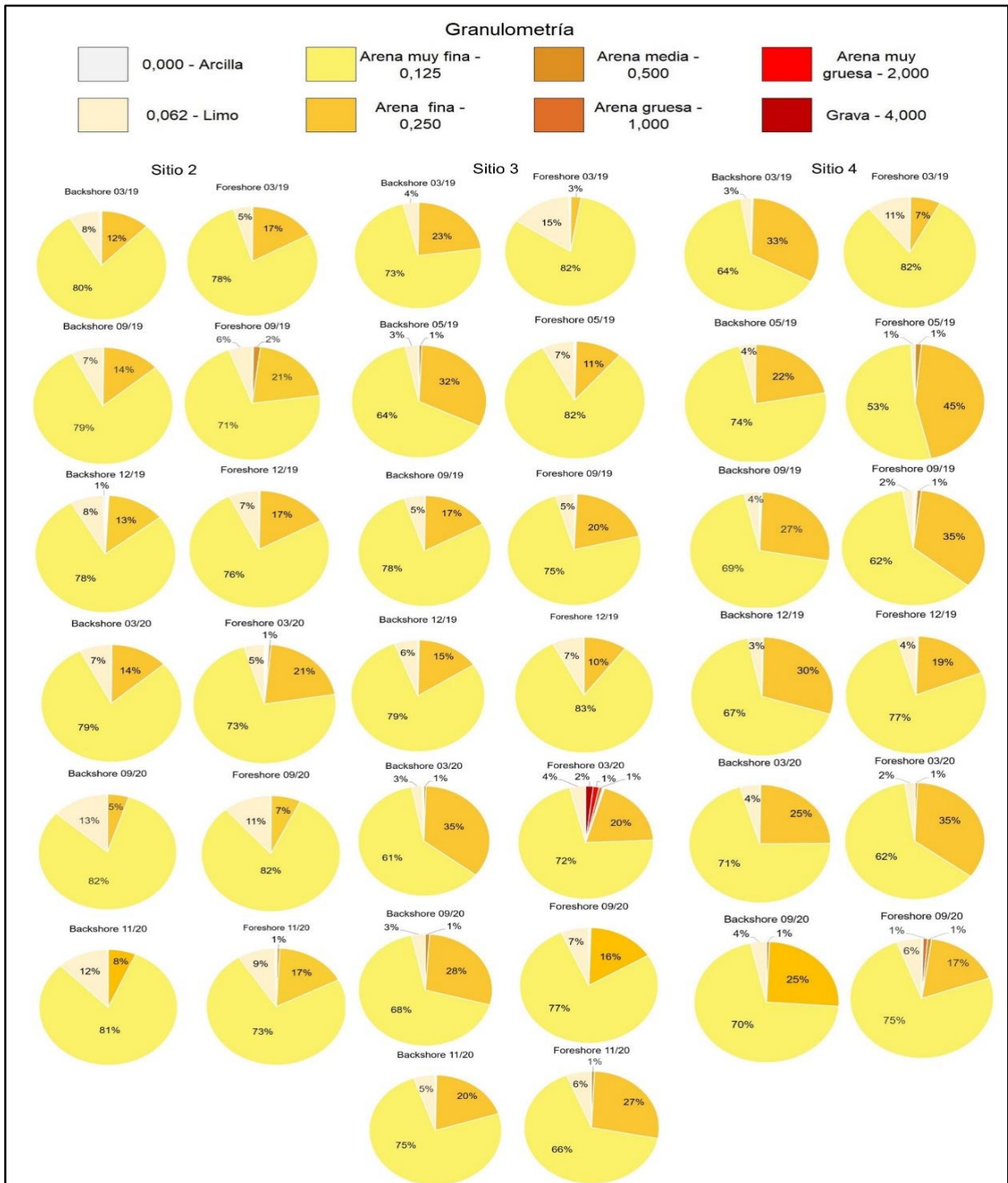


Figura 11. Granulometría de los sedimentos de la playa de Cieneguita. Las muestras están alineadas de norte a sur en columnas (sitio 2, 3 y 4), cada columna se conforma por un par de muestras (backshore y foreshore respectivamente) ambas identificada por una fecha. Obsérvese el predominio de arena muy fina en todos los sitios, seguida por la arena fina. Elaboración propia.

Tabla 3. Periodo y altura del oleaje frente a Limón

Fuente: Modificado de Badilla (2020).

Estación	Periodo (s)			Altura (m)		
	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio
Invierno	13,59	4,38	8,57	3,48	0,3	1,48
Primavera	11,33	2,81	8,05	3,31	0,14	1,15
Verano	20,02	4,52	8,67	2,93	0,25	1,31
Otoño	20,13	1,9	7,65	3,08	0,1	0,88

En cuanto a la primavera, se registra una notoria recuperación de las playas adoptando, en general, un perfil convexo, lo que sugiere oleajes de baja altura. Según Lizano (2007), a partir de mayo se registra una disminución en la energía del oleaje. No obstante, en algunos casos se presentan bermas con escarpes discretos que indican el predominio de buenas condiciones meteorológicas, intercaladas con tormentas moderadas. De acuerdo con los datos de Badilla (2020) en primavera disminuye la altura significativa de la ola máxima, promedio y la mínima (Tabla 3), aun así, la altura máxima es la segunda mayor del año.

En el verano, en términos generales, aumenta o se mantienen la largura de la playa, con formas del perfil similares a las de la primavera. De acuerdo con Badilla (2020) en el verano se presenta la menor altura de ola significativa, pero mantiene tamaños promedio y mínimas mayores que en la primavera. Por su parte, Lizano (2007) afirma que para el mes de julio aumenta el oleaje debido a la intensificación del viento alisio en esta región, no obstante, vuelve a disminuir para alcanzar su mínimo en septiembre y octubre. Esta combinación de condiciones explica la presencia de importantes bermas y escarpes en varios de los perfiles, pero con una notoria recuperación del volumen de sedimentos de la playa. Tales variaciones resultan del comportamiento dinámico de las playas (equilibrio dinámico) y no necesariamente indican la ocurrencia de un proceso erosivo. La erosión de las playas se refiere a un proceso de remoción de sedimentos sin su reemplazo posterior, lo que resulta en una pérdida efectiva (Bird, 2008).

Considerando el comportamiento de la mayoría de los sitios donde se levantaron los perfiles, se puede afirmar que los perfiles más largos se presentan en el otoño, lo que se explica en el hecho de que, durante esta estación, se registra la menor altura

de ola significativa promedio y mínima (Tabla 3), lo que permite el desarrollo de perfiles de acreción. No obstante, la altura máxima del oleaje aumenta respecto al verano (Tabla 3) lo que es consecuente con los sitios donde los perfiles de esta estación no son los más largos. Así mismo, Lizano (2007) afirma que la mayor energía del oleaje también se presenta durante los últimos meses del año, lo que se percibe en la presencia de escarpes importantes en varios de los perfiles del mes de diciembre.

Es importante resaltar la ausencia de publicaciones en las que se analice la deriva litoral y células de transporte sedimentario en esta playa (y en general en el Caribe costarricense, con excepción de los datos aportados por Lizano (2018) para Playa Moín, antes de la construcción de la nueva Terminal de Contenedores de Limón. No obstante, se puede realizar una inferencia al observar la dirección de incidencia del oleaje sobre la playa, la presencia de una playa con mayor longitud al norte del espigón y la dirección de la pluma de sedimentación del río cieneguita (Figura 12). Así mismo son frecuentes las corrientes de resaca en esta playa (*rip current*). Estas corrientes son más prominentes cuando las olas ocurren perpendicularmente a la costa y tienen una gran capacidad para transportar sedimentos entre las partes emergida y sumergidas de la playa (Bird, 2008; Davis y Fitzgerald, 2009; Davidson-Arnott, 2010; Silva et al., 2020).

Considerando la potencial contribución de la deriva litoral, no se puede dejar de lado el papel de estas en el transporte lateral de sedimentos. Sin embargo, los perfiles levantados en una misma fecha no muestran variaciones que puedan ser claramente vinculados con aportes sedimentarios de la deriva litoral. En este sentido resalta la importancia de estudios que caractericen las corrientes costeras en el Caribe y en particular en la playa de Cieneguita.

Si bien, la penetración de los oleajes severos afecta a todos los sitios, solo en los sitios 3 y 4 resulta evidente un proceso erosivo. Lo que parcialmente se asocia con la obstrucción que representa el espigón al tránsito de la corriente de deriva. Es importante recalcar que en esta zona la erosión se intensifica a consecuencia de oleajes extremos (Barrantes et al., 2020; Rojas, 2020), como fue el caso de las pérdidas en la infraestructura próxima a la playa ocurrido el enero de 2015 (Castro, 2015).

Sumado a lo anterior hay que considerar el aumento local del nivel del mar (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2013), los cambios en el uso del suelo, particularmente el aumento del área urbana en la cuenca del río Cieneguita y en el frente de playa (Sandoval y Barrantes, 2021) y finalmente la geodinámica local que implica serios desequilibrios sedimentarios como respuesta a la ocurrencia de terremotos (Barrantes et al., 2021).



Figura 12. Dirección de incidencia del oleaje respecto a la playa de Cieneguita. Las líneas punteadas indican la posición del tren de olas. Nótese que las olas arriban primero en la sección norte de la playa lo que debe general un corriente de deriva en dirección sur. Fuente: Google Earth, imagen tomada el 23/02/2018. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Las playas expuestas al oleaje directo, en el Caribe sur de Costa Rica, experimentan cambios en su perfil debido al transporte de sedimento en sentido transversal, estos cambios son el resultado del transporte inducido fundamentalmente por el clima marino. Con una dirección promedio de oleaje constante durante todo el año (en respuesta a los vientos alisios del noreste) son los cambios en la energía del oleaje lo que mejor explican las variaciones en la largura y morfología de la playa.

La variación temporal de la morfología encontrada en los cuatro sitios analizados en playa Cieneguita, confirman la presencia de un perfil de tormenta durante el invierno hemisférico, con perfiles cortos,

cóncavos y con mayor pendiente en la zona de swash. A partir de esta estación comienza un proceso de recuperación de la playa que se va incrementando a lo largo del año hasta alcanzar su mayor largura generalmente en el otoño, cuando se presentan perfiles de acreción o bonanza sedimentaria, como resultado de la disminución en la energía del oleaje.

La playa de Cieneguita presenta una zona de alta dinámica que experimenta cambios significativos en la largura y el volumen de sedimentos, representados en gran parte por arena muy fina, acorde con un comportamiento cíclico estacional. Esta zona comprende, en promedio, una extensión de 40 m. Esto indica que el sedimento de la playa (en algunos puntos la playa completa como en el sitio 3) es retirado por el oleaje de alta energía y llevado a la zona submarina, posiblemente almacenada como barras de arena. Posteriormente, y conforme disminuye la energía del oleaje, este material es devuelto a la playa emergida.

Si se asume un retroceso de la línea de costa en este sector, que según Barrantes & Sandoval (2021) ocurre a una tasa de -1.6 m por año en Cieneguita, la playa se irá aproximando paulatinamente a la infraestructura local. Ante este escenario y los riesgos de pérdidas económicas derivados de daños a la infraestructura pública y privada, es necesario adoptar medidas encaminadas a estabilizar el litoral. En este sentido, la alimentación artificial de arena de playa (Staudt et al., 2021) puede representar una posibilidad de intervención a considerar. Este tipo de medida consiste en añadir arena con un tamaño de partícula similar al que se encuentra en la playa, que para el caso de Cieneguita corresponde a arena muy fina y fina; de forma que se incrementa el volumen de sedimento disponible y tiende a aumentar el ancho de la franja de arena en dirección al mar. Según Staudt et al. (2021) este tipo de intervención ya se ha realizado en varias playas de todo el mundo y tiene como objetivo aumentar el stock de arena, preservar las estructuras de la parte trasera de la playa, así como la fauna y flora local. Sin embargo, el mismo autor advierte que muchos de los efectos a largo plazo de este tipo de intervenciones aún no se comprenden del todo.

En este contexto, los resultados de este trabajo podrán contribuir sustancialmente a análisis de la vulnerabilidad y del riesgo en el litoral, en función de un análisis de costos-beneficios para la toma de decisiones sobre alternativas de intervención o adaptación.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Nacional, por el financiamiento parcial a esta investigación por medio del concurso FIDA. A la Escuela de Ciencias Geográficas por facilitar un laboratorio, equipos y un automóvil para la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- ACOSTA, C., BARQUERO, E., y DOMÍNGUEZ, F. "Caracterización de los procesos de erosión costera en el Caribe Sur: el caso de playa Gandoca, Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo, Limón, Costa Rica". [Tesis de Licenciatura]. 2020. <http://www.opac.una.ac.cr>
- ACUÑA, J., CORTÉS, J., & MURILLO, M. "Mapa de sensibilidad ambiental para derrames de petróleo en las costas de Costa Rica". *Revista de Biología Tropical*, vol 43, 1996, p. 463-470.
- ALVARADO, G. E., GÁMEZ Lobo, R., KAPPELLE, M., LOVEJOY, T. E., & CÁRDENAS, G. Geology, "Tectonics, and Geomorphology of Costa Rica: A Natural History Approach". *Costa Rican Ecosystems*, 2017, p. 30–63.
- ANDRADE, C. A., BARTON, E. D. & MOOERS, C. N. "Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast". *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol 108, 2003.
- BADILLA, N. "Clima marino y su relación con las playas del Caribe sur de Costa Rica". [Práctica profesional supervisada]. 2020.
- BARRAGAN, J. 2003. *Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales*. Cádiz, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. 306p.
- BARRANTES, G., VALVERDE, J. F., PIEDRA, L., QUESADA, A., CASTILLO, M., SANDOVAL, L., y AROZARENA, I. 2017, 13-17 de noviembre). *Cambios en la línea de costa en playa Cieneguita, Limón* [ponencia]. 17º Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar (págs. 1212-1214). Balneário Camboriú, Brasil: Associação Latino-Americana de Pesquisadores em Ciências do Mar.
- BARRANTES, G., y SANDOVAL, L. F. (2018). Erosión costera en el Caribe Sur de Costa Rica. *Memoria*. IV Congreso Nacional de Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático, San José, Costa Rica.
- BARRANTES, G., & SANDOVAL, L. F. "Cambios en la línea de costa en el Caribe Sur de Costa Rica durante el periodo 2005-2016". *Revista de Ciencias Ambientales*, vol 55 n, 2021, p. 111-140.
- BARRANTES, G., AROZARENA, I., SANDOVAL, L. F., y VALVERDE, J. F. "Playas críticas por erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005-2016". *Revista Geográfica De América Central*, vol 1 n 64, 2020, p 95-122.
- BARRANTES, G., VALVERDE, J., PANIAGUA, D., y MORALES, N. "Gira de reconocimiento del efecto del oleaje severo ocurrido entre el 13 y 20 de enero de 2020 en el Caribe Sur, Costa Rica" [Informe Interno]. Programa de Geomorfología Ambiental, Universidad Nacional. 2020, p. 21.
- BARRANTES, G., VAHRSON, W. G., & MORA, S. "Cambios geomorfológicos e hidrológicos inducidos por el terremoto (Mw 7,7) del 22 de abril de 1991 en la provincia de Limón, Costa Rica". *Revista Geológica de América Central*, vol 65, 2020, p. 1-19.
- BATTISTINI, R., y BERGOEING, J. P. "Geomorfología de la costa Caribe de Costa Rica". *Revista Geográfica*, vol. 99, 1984, p. 167-188.
- BECKER, M., KARPITCHEV, M., & PAPA, F. "Chapter 7—Hotspots of Relative Sea Level Rise in the Tropics. En V. Venugopal, J. Sukhatme, R. Murtugudde, & R. Roca (Eds.)", *Tropical Extremes* 2019, p. 203-262.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. 2013. *Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino-costeras de Costa Rica frente al cambio climático*. [Informe técnico N° 6] San José. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

- BIRD, E. C. F. 2008. "Coastal Geomorphology: An Introduction". England: Wiley, 411 p.
- BERGOEING, J. 2017. "Geomorphology and Volcanology of Costa Rica. San José, Costa Rica" Elsevier. 261p.
- CASTRO, C. 2015. Oleaje falsea nuevo bulevar de Cieneguita. *Diario Extra*.
<https://www.diarioextra.com/Noticia/detalle/250573/oleaje-falsea-nuevo-bulevar-de-cieneguita>
- CORTÉS, J. "The Caribbean coastal and marine ecosystems., En Keppelle, M." *Costa Rican Ecosystems*. 2016, Chicago Scholarship Online
- DAVIS, A y FITZGERALD, D. "Beaches and Coasts. Malden, USA", *Blackwell Publishing*, 2019, p. 419.
- DAVIDSON-Arnott, R. "Introduction to Coastal processes and Geomorphology". *New York: Cambridge University Press*, 2019, p.442.
- FERNÁNDEZ, W. "Cambios Climáticos: El Calentamiento Global". *Tecnología en Marcha*. vol 11, 1991, p. 11-12.
- GARCÍA, J. 2015. *Metodologías para el análisis de la climatología del oleaje: Pasado, presente y futuro* [Tesis de doctorado]. Universidad de Cantabria.<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/am/handle/10902/7801/TesisJPG.pdf?sequence=1>
- IBARRA, D y BELMONTE, F. *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos*. Murcia: edit.um. 66p. 2017.
- Instituto Meteorológico Nacional [IMN]. 2017. Clima de Costa Rica: el clima y las regiones climáticas de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. Sitio web: <https://www.imn.ac.cr>
- Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica [JAPDEVA]. 2014. *Información General C.P.L.M. (Complejo Portuario Limón Moín)*. Información general C.P.L. (Complejo portuario de Limón). http://www.japdeva.go.cr/administracion_portuaria/informacion_portuaria/informacion_general_clp.html
- KOSSIN, J. P., KNAPP, K. R., OLANDER, T. L., y Velden, C. S. "Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020.
- LIZANO, O. "Climatología del viento y oleaje frente a las costas de Costa Rica". *Ciencia y Tecnología*, vol 25, 2007, p. 43-56.
- LIZANO, O. G., y GUTIÉRREZ, A. "Erosión en las costas de Costa Rica, un problema de todos". *Entorno a la prevención*, vol 7, 2011, p. 14-16.
- LIZANO, O. G. "La dinámica de las corrientes marinas frente al Caribe de Costa Rica". *Ambientico*, vol 1,2018, p. 6-12.
- LOPEZ, L., BALLARD, B., SIMM, J., BRAMPTON, A., SUTHERLAND, J., GOULDBY, B., & ROSSINGTON, K. "Coastal morphological modelling for decision-makers (SC090036/R; p. 164)". *Environment Agency, UK*. 2019. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/>
- LUIJENDIJK, A., HAGENAARS, G., RANASINGHE, R., BAART, F., DONCHYTS, G., y AARNINKHOF, S. "The State of the World's Beaches". *Scientific Reports*, vol 8, n1, 2018, p. 1-11.
- MASSELINK, G., y PATTIARATCHI, C. B. "Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia". *Marine Geology*, vol 172, n 3, 2001, p. 243-263.
- MAUL, G. (1993). *Climatic Change in the Intra Americans Sea*. Edward Arnold. Nueva York. 389 p.
- MEDINA, R., LOSADA, I. J., LOSADA, M. Á., y VIDAL, C. "Variabilidad de los perfiles de playa: Forma y distribución granulométrica". *Ingeniería del agua*, vol 2, n 1, 1995, p. 133-142.
- MURILLO, L. M. "Las mareas en Costa Rica". *Inter Sedes*, vol 2, n 2-3, 2001, p. 93-108.
- NAVARRETE-RAMÍREZ, S. M. 2014. *Protocolo Indicador Variación línea de costas: Perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)*. Invemar, GEF y PNUD. Serie de publicaciones

generales del Invermar N° 73. Santa Marta. 36p.
ISBN: 978-958-8448-81-7.

Particle Analyzer: CAMSIZER P4: Microtrac.com.
(s. f.). Recuperado 31 de agosto de 2021, de
<https://www.microtrac.com/products/particle-size-shape-analysis/dynamic-image-analysis/camsizer-p4/>

POSADA, B. O., y HENAO, W. 2008. *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano: Manejo de la erosión costera.* Invermar. 123 p.

POSADA, B. O., y RANGEL, N. 2009. Metodología para el levantamiento de perfiles de playa (p: 55–63). En: Alcántara-Carrió, J., I.D. Correa-Arango, F. I. Mendy, M. Alvarado-Ortega, A.H.F. Klein, A. Cabrera-Hernández y Sandoval-Barlow, R. (Eds.). *Métodos en Teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral.* Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Madrid. 297 p.

RAMOS, C., GUZMÁN, E., SARANGO, D., y CARBONEL, C. “Determinación del clima de olas en aguas profundas, frente a las costas del Perú mediante calibración de reanálisis numérico e información instrumental”. *Revista de investigación de física*, vol 20, n 1, 2017, p.1-18.

ROJAS, D. 2020. *Caracterización de la dinámica costera en la zona de playa del barrio Cieneguita, Limón, Costa Rica* [Tesis de Licenciatura]. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional. <http://www.opac.una.ac.cr/>

SANDOVAL, L., y BARRANTES, G. “Cambios en la cobertura de la tierra en los puntos calientes de erosión costera en el caribe sur de Costa Rica, durante el periodo 2005 – 2017”. *Uniciencia*, vol 35 n 2, 2021, p.1-23.

SILVA, A., GRALATO, J., BRUM, T., SILVESTRE, C., BAPTISTA, E., & PINHEIRO, A. “Dinâmica de praia e susceptibilidade às ondas de tempestades no litoral da Ilha Grande (Angra dos Reis - RJ)”. *Journal of Human and Environment of Tropical Bays*, vol 1, n 1, 2021, p. 9-44.

STAUDT, F.; GIJSMAN, R.; GANAL, C.; MIELCK, F.; WOLBRING, J.; HASS, H.C.; GOSEBERG, N.;

SCHUTTRUMPF, H.; SCHLURMANN, T. & SCHIMMELS, S. “The sustainability of beach nourishments: a review of nourishment and environmental monitoring practice”. *Journal of Coastal Conservation*, vol 25, n 2 p.1-24.

SYVITSKI, J. P. M., HARVEY, N., WOLANSKI, E., BURNETT, W. C., PERILLO, G. M. E., GORNITZ, V., ARTHURTON, R. K., BOKUNIEWICZ, H., CAMPBELL, J. W., COOPER, L., DUNTON, K., GAO, S., HESP, P. P., SAITO, Y., SALISBURY, J., SNOUSSI, M., & YIM, W. W.-S. “Dynamics of the Coastal Zone”. *Coastal Fluxes in the Anthropocene*, 2005, p. 39-94.

VALDECANTOS, V. N. “La variabilidad de los perfiles de playa. Perfiles de verano e invierno. Análisis histórico (Primera parte)”. *Revista Digital del Cedex*, vol 74, 1990, p. 63-63.

VARGAS, G. 2006. *Geografía de Costa Rica.* San José: EUNED. 348p.

VARGAS-HERNÁNDEZ, A., y BARRANTES-CASTILLO, G. “Impacto de la construcción de la Terminal de Contenedores (APM Terminals) en Playa de Moín, Costa Rica”. *Revista Geográfica de América Central*, vol 3, n 61E, 2018, p.583-595.

VIDAL, C., LOSADA, M.A., MEDINA, R. y LOSADA, L. “Modelos morfodinámicos de las playas”. *Ingeniería del Agua*, vol 2, 1995, p. 55-74.

WRIGHT, L. D., CHAPPELL, J., THOM, B. G., BRADSHAW, M. P., & COWELL, P. “Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia”. *Marine Geology*, vol 32, n 1, 1979, p.105-140.