



Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena

Analysis of the temporal variation of erosion-sedimentation zones along cross profiles of Marbella beach, Crespo tunnel sector, Cartagena

Alexander Muñoz Guzmán*
Cesar Augusto Tovio Gracia**
Lina Marcela Díaz Arellano***
Edenia Del Pilar Simancas Vásquez****

(Recibido el 01-06-2018. Aprobado el 04-03-2019)

Estilo de citación de artículo:

A. Muñoz Guzmán, C. A. Tovio Gracia, L. Díaz Arellano y E. Del Pilar. Simancas Vásquez, "Análisis de la variación temporal de las zonas de erosión-sedimentación en perfiles transversales de la playa de Marbella, sector túnel de Crespo, Cartagena", *Lámpsakos*, (22), pp. 59-67 (julio-diciembre, 2019). doi: 10.21501/21454086.2824

Resumen

Las playas son ecosistemas dinámicos cuyas características morfológicas e hidrodinámicas varían en tiempo y espacio, además de estar determinadas por factores naturales como el oleaje, las mareas y el viento. Estos factores necesitan ser evaluados para la gestión y recuperación de las playas; por lo cual en esta investigación se evaluó la variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión a partir de la cuantificación de las áreas transversales en perfiles de playa levantados en dos unidades morfológicas de las playas de Marbella ubicadas al norte de Cartagena Indias, con el fin de analizar las características geomorfológicas de la zona litoral costera a través de modelos matemáticos. Se evidencia que las zonas cercanas a las estructuras costeras son las más afectadas por problemas de sedimentación debido a que en estas se acumulan los sedimentos por los efectos climatológicos en la época. Asimismo, se identificaron las zonas de los sectores morfológicos que componen una playa natural a través de los perfiles levantados en la zona de estudio.

Palabras clave: Erosión; Estructuras Costeras; Hidrodinámica; Morfodinámica; Pendiente; Perfil; Playa; Sedimentación; Interpolación.

* Ingeniero Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena-Colombia. Contacto: Alexander.rtm@hotmail.com

** Magíster en Física Aplicada, Universidad del Norte, Barranquilla-Colombia. Colombia. Contacto: cesartovio gracia@gmail.com

*** Ingeniera Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena-Colombia. Colombia: linadiazarellano@gmail.com

**** Ingeniera Ambiental, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena-Colombia. Contacto: edepilar1006@hotmail.com

Abstract

Beaches are dynamic ecosystems whose morphological and hydrodynamic characteristics vary in time and space, as well as being determined by natural factors such as waves, tides and wind. For the management and recovery of the beaches, these factors need to be evaluated. Therefore, in this research, the temporal and spatial variation of sedimentation-erosion rates was evaluated based on the quantification of the cross-areas in beach profiles built in two morphological units of the beaches of Marbella, located at the north of Cartagena Indias, in order to analyze the geomorphological characteristics of the coastal area, evaluated through mathematical models. This shows that areas that are close to the coastal structures are the most affected by sedimentation problems because sediments accumulate in them due to weather effects. Likewise, the areas of the morphological sectors that make up a natural beach were identified through the profiles created in the study area.

Keywords: Erosion; Coastal structures; Hydrodynamics; Morphodynamics; Slope; Profile; Beach; Sedimentation; Interpolation.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

1. INTRODUCCIÓN

Cartagena de Indias, Distrito Turístico y Cultural está situada en la costa norte del Caribe colombiano, por tanto goza de una ubicación estratégica que permite el desarrollo de actividades comerciales y turísticas en sus ecosistemas de playas, lo que ha generado el desarrollo urbanístico y el aumento poblacional en cercanía a dichos ecosistemas, por consiguiente, se han construido infraestructuras costeras como espolones, rompeolas, muros, entre otras, para proteger las costas y las obras civiles. Estas estructuras de protección afectan directamente la dinámica natural de los ecosistemas [1], de tal forma que altera los procesos de transporte de sedimentos en el litoral que se da naturalmente en estas zonas.

Este trabajo se centra en las playas de Marbella, ubicadas de manera paralela a la avenida Santander, al norte de la ciudad de Cartagena (Fig. 1), las cuales presentan problemáticas ambientales como la variación de la tasa de erosión y sedimentación en el litoral; sin embargo, estos fenómenos están influenciados por procesos naturales como el cambio climático, el oleaje, el viento, la marea, las acciones bióticas y las características geológicas del litoral [2]. En los últimos años, la zona ha tenido variaciones en los procesos de transporte ocasionados por la construcción de obras urbanas y espolones en la franja de playa, [1], [3], [4], el aporte de sedimentos por parte de la bocana y la construcción del túnel de Crespo (Proyecto Anillo Vial de Crespo). Estos impactos que se generan a nivel geomorfológico, derivados de los cambios en las condiciones costeras [2], [5] necesitan ser evaluados para la gestión y recuperación de las playas con el fin de tomar medidas de prevención, protección, restauración o gestión de la zona litoral.

En Colombia han sido pocos los estudios realizados que abarcan los ámbitos hidrodinámicos, sedimentológicos y morfodinámicos aplicados a playas debido a factores antrópicos como construcciones costeras, sin embargo, existen evidencias de estudios realizados desde 1980 con las publicaciones seriadas del CIOH (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidroló-

gicas) en donde se encontraron las características sedimentológicas que permitieron evidenciar arenas de distintos tipos en sectores diferentes de la franja litoral entre Bocagrande y Manzanillo, así como la formación de una flecha litoral natural en el sector del laguito sometida a condiciones antrópicas producidas por el hombre [6].

Por otra parte, en un estudio realizado por la Universidad de Cartagena, se identificaron las variaciones presentes en las playas de Marbella, en la ciudad de Cartagena, mediante el análisis de los perfiles, donde se observan características de pendientes suaves en las que predominan procesos erosivos en la zona [7]. Por esta razón, el presente trabajo tendrá como objetivo principal analizar las características geomorfológicas de la zona litoral costera en estudio e identificar los puntos críticos de erosión y sedimentación a través de los perfiles de playa.

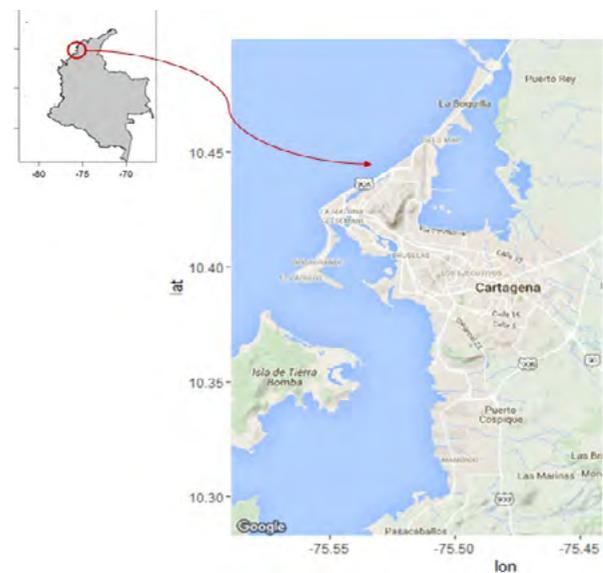


Fig. 1: Área de estudio

En los trabajos [8], [9], [10] se describen elementos que afectan al ecosistema, de tal manera que se puedan analizar preliminarmente los efectos que pueden generar las estructuras costeras, tales como espolones, rompeolas, muros, entre otras, a través de modelos de ajuste matemáticos (Lagrange).

2. METODOLOGÍA

Para analizar las características geomorfológicas de la zona de estudio, se realizó una investigación de tipo mixta, conformada por una fase estadística, en la que se recopiló información referente a los perfiles de playa, para luego analizar las características presentes en los perfiles de la zona.

Fase 1. Recopilación de información

Las variables meteorológicas y el oleaje se obtuvieron del CIOH (Centro de Investigación Oceanográfica e Hidrográficas) y de la estación climatológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM) ubicada en el Aeropuerto Rafael Núñez.

Fase 2. Recopilación de datos en campo

Para la obtención de información pertinente sobre la morfodinámica de las playas, se realizó una medición de perfiles de playa a través de un levantamiento topográfico [11], [12]. En la primera medición se establecieron los puntos fijos de referencia dividiendo la playa en 5 segmentos con 30m de distancia paralelos a la línea de costa; sobre los cuales se midieron los perfiles con ayuda de un teodolito y una mira topográfica, distancia longitudinal cada 1 metro hasta llegar a la zona de rompiente.

Las mediciones se realizaron en el año 2015, en el cual se definieron 3 periodos: a) Época seca (diciembre-marzo), b) Época transición (abril-julio), y c) Época húmeda (agosto-noviembre).

Fase 3. Procesamiento de datos

Ajuste interpolación de Lagrange

Una vez recolectados los datos de los perfiles, se hallaron sus respectivas cotas para el posterior análisis de los datos. A partir de allí se procedió a realizar un ajuste de curvas mediante el polinomio de Lagrange, con el cual se lograron identificar los componentes de los perfiles transversales de playa a través de modelos matemáticos.

$$F_n(x) = \sum_{i=0}^n l_i(x)y_i, \text{ en donde } l_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^n \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)}$$

Perfil de equilibrio

Se ajustaron los perfiles por medio del modelo de ajuste de Inman [13], [12], [14]. Este ajuste se realizó en el programa Excel usando la función SOLVER.

Ecuación:

$$h - h_0 = A_{Inman} * (x - x_0)^m$$

Dónde:

x = Distancia medida desde el nivel del mar

x_0 = La distancia desde la línea del nivel del mar a la barra

h = Profundidad del fondo con relación al nivel del mar

h_0 = Profundidad de la barra

El modelo de Inman se ajustó utilizando un valor del coeficiente $m=3$ [8].

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

Variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión

Mediante el cálculo de las áreas, se procedió a determinar la variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión que se presentaban en cada perfil [15], [16], [17] para definir los cambios con respecto al tiempo que presentó la geomorfología de la playa.

La información resultante se procesó en una base de datos en el software Microsoft Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis de los principales forzadores

Se determinaron las variables oleaje y viento, debido a que estas variables definen la hidrodinámica de la playa [11], y se obtuvo, como se muestra en la Fig. 2, el flujo del oleaje sobre las playas a nivel estacional; se encontró que la altura máxima fue de 2,36m, correspondiente a la época seca que presentó periodos picos máximos de 11,36 segundos. Así mismo, se identificó que la época húmeda fue la que presentó un menor régimen de flujo con una altura máxima de 1,75m con periodos picos de 9,27 segundos.

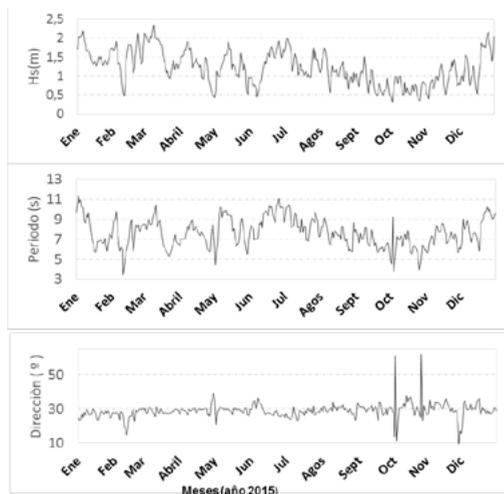


Fig. 2: Oleaje de las playas de Marbella

En cuanto a la variación y dirección del viento de la zona de estudio, se identificó que en la época seca los vientos alisios soplan con mayor intensidad; estos provienen principalmente del N y del NE, asimismo, durante la época de transición, la cual comprende los meses de mayo a julio, se presentaron vientos suaves en dirección al SO, los cuales se incrementan en el mes de julio debido al Veranillo de San Juan; del mismo modo, la época húmeda se caracterizó por presentar un régimen de viento variado [13] (Ver Fig. 3).

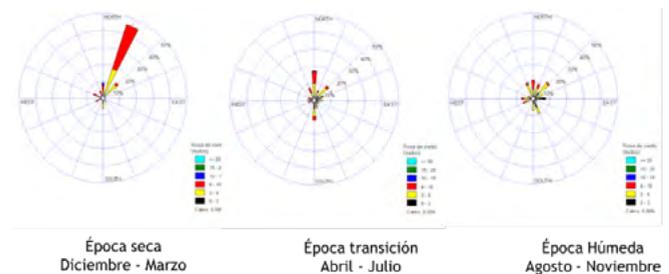


Fig. 3: Variación y dirección del viento

Fuente: CIOH, 2015

Variación temporal y espacial de las tasas de sedimentación-erosión

En la Fig. 4 se observa la tasa de sedimentación y erosión determinadas en las playas de Marbella (Playa 1 y Playa 2) con variación temporal de sedimentos; se determina que en la época seca suceden mayores procesos de sedimentación debido a la influencia de las corrientes determinadas a causa del oleaje definido por los vientos provenientes del norte.

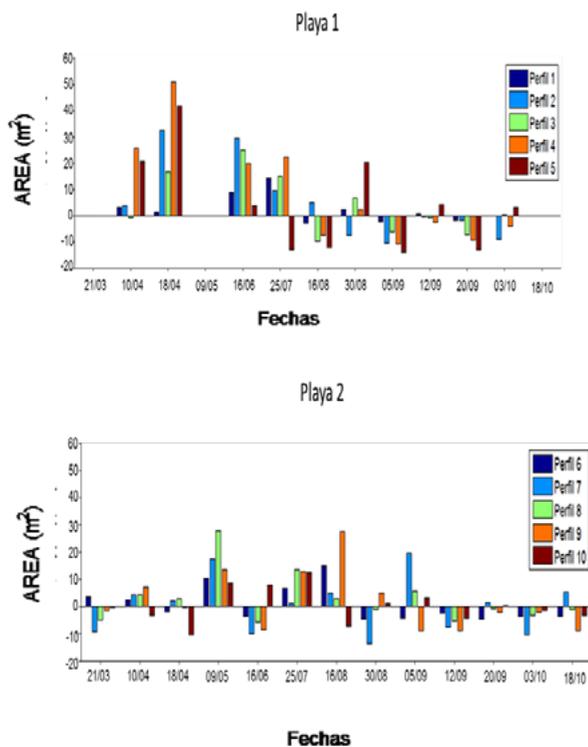


Fig. 4: Tasa de sedimentación y erosión

Esto se puede observar en las gráficas en planta de la zona de estudio Fig. 5, donde se logra evidenciar que en la época seca se originan procesos de sedimentación hacia la línea de costa debido a que los vientos son más fuertes y de mayor persistencia, lo que genera corrientes litorales causantes de la formación de barras arenosas que luego, durante la época húmeda bajo la influencia de vientos débiles y de variante dirección, tienden a procesos de erosión.

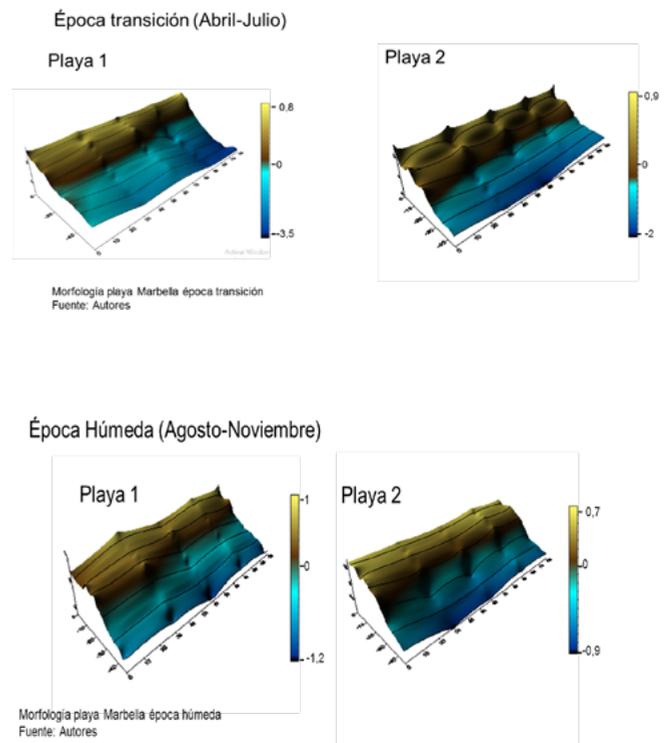
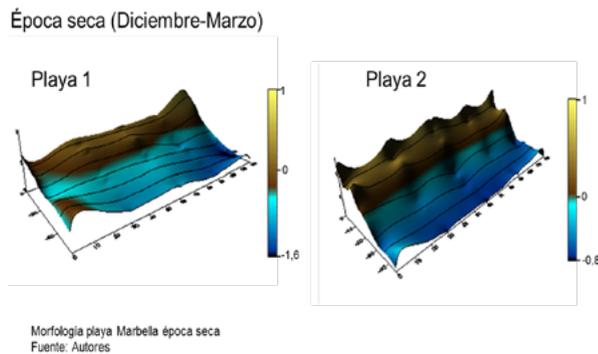


Fig. 5: Gráfica en planta de las playas de Marbella

Funciones de ajuste de los perfiles

Para evaluar la evolución morfológica-estacional de la playa, se caracterizó y clasificó por medio de un ajuste matemático con respecto al comportamiento natural de los perfiles de playa, mediante la interpolación de Lagrange (Fig. 6), en la que se determinaron tramos en los cuales varía el grado debido a que existen distintos puntos de inflexión (para playa 1, grado de 2-3 y para playa 2, de 3-6). Además, se seleccionó este método debido a que se obtuvo una correlación del 95% en relación con los perfiles determinados en campo, como se muestra en la Fig. 7, determinándose las funciones correspondientes por cada playa.

DOI: https://doi.org/10.21501/21454086.2824

PLAYA 1

$$F(x) = \begin{cases} \sum_{i=0}^3 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^3 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 0 \leq x \leq 7 \\ \sum_{i=0}^2 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^2 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 8 \leq x \leq 18, 19 \leq x \leq 25, 26 \leq x \leq 33, 34 \leq x \leq 45 \end{cases}$$

PLAYA 2

$$F(x) = \begin{cases} \sum_{i=0}^5 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^5 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 0 \leq x \leq 18, 19 \leq x \leq 25 \\ \sum_{i=0}^2 \left[\prod_{j=0, j \neq i}^2 \frac{(x-x_j)}{(x_i-x_j)} \right] f(x_i), & 26 \leq x \leq 32 \end{cases}$$

Fig. 6: Método numérico: función de Lagrange

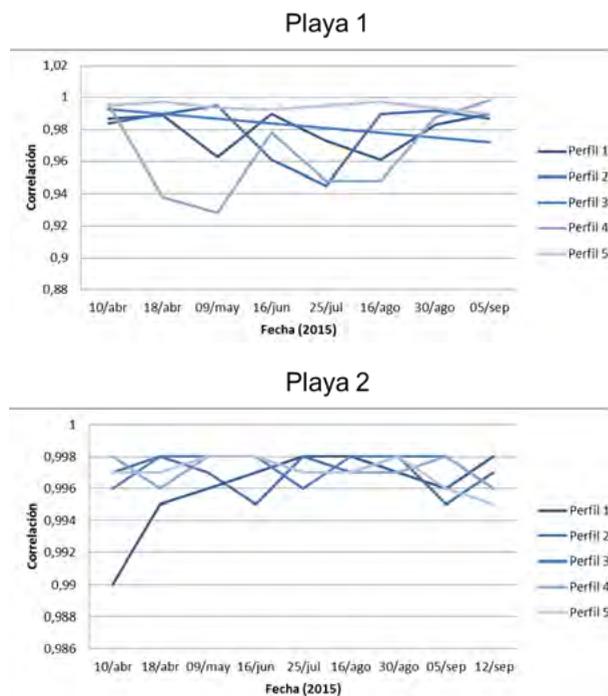


Fig. 7: Correlación de Función de ajuste de Lagrange

Componentes del perfil

A partir de los resultados anteriores, se determinaron, como se observa en la Tabla 1 y la Fig. 8, cada uno de los componentes que conforman a una playa natural a través de un modelo numérico y estadístico.

Tabla 1. Componentes de una playa

Tramo	Playa 1	Grado	Playa 2	Grado	Componentes del perfil
1	(0,8)	2	(0,9)	4	Escape de berma
2	(8,15)	2	(9,19)	3	Borde de la berma
3	(15,26)	3	(19,25)	6	Zona intermareal
4	(26,34)	2	(25,32)	3	Zona interior
5	(34,44)	2	(32,45)	5	

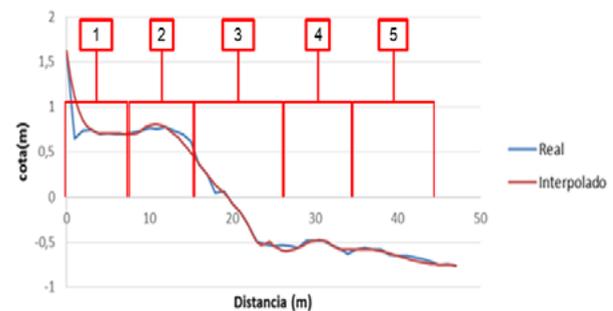


Fig. 8: Componentes de una playa

Perfil de equilibrio

Se ajustaron los perfiles por medio de los modelos de ajuste de Inman, debido a que este permite analizar la morfología del perfil de playa sometido a distintos procesos hidrodinámicos [13], [15] para así comparar y observar las limitaciones metodológicas convencionales. Se determinó, como se observa en la Fig. 9, que este modelo presenta una menor aproximación a los perfiles medidos, pues solo se enfoca en representarlos desde el inicio de la barra arenosa, punto que responde a procesos de disipación de energía, mientras que con el ajuste de interpolación de Lagrange permitió determinar los componentes de una playa natural.

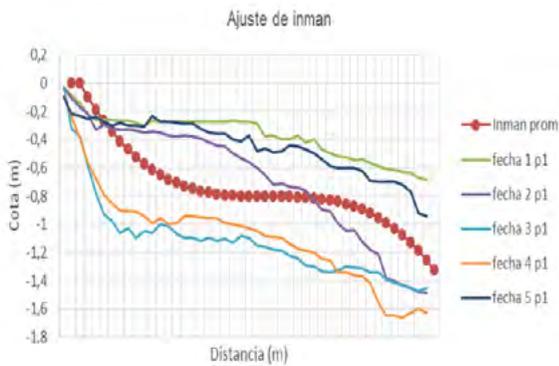


Fig. 9: Ajuste de Perfil de Inman

4. CONCLUSIONES

Mediante la evaluación de los perfiles de playa en la zona de estudio se evidencia que aunque las playas son sistemas dinámicos que varían por la acción de los fenómenos como el viento, oleaje y las corrientes, actualmente existen intervenciones antrópicas que ocasionan en mayor medida los procesos de erosión y sedimentación de la zona. Hecho que se evidencia principalmente en la época húmeda, en la cual, mediante análisis estadísticos realizados, se concluyó que las zonas cercanas a las estructuras costeras son las más afectadas por problemas de sedimentación debido a que es donde más se acumulan los sedimentos por los efectos climatológicos en la época.

A partir de las metodologías implementadas, se logró ajustar una expresión matemática a un proceso natural en un 95% de confiabilidad, y permitió discretizar el perfil e identificar las zonas de los sectores morfológicos de la playa con un criterio cuantitativo, para posteriormente predecir el posible comportamiento en este tipo de ecosistemas.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

REFERENCIAS

- [1]. A. Carranza-Edwards, "Causas y consecuencias de la erosión de playas". Universidad Nacional Autónoma de México. Publica tu Obra UNAM, 2010.
- [2]. J. A. Sánchez-Arcilla, y J. A. Jiménez, "Ingeniería de playas (I): conceptos de morfología costera", *Ingeniería del Agua*, vol. 1, no. 2, pp. 97-114, 1994. doi: 10.4995/ia.1994.2639
- [3]. L. Giraldo, y S. Lonin, "Cálculo del oleaje y transporte de sedimentos en la costa Caribe colombiana", *Boletín Científico CIOH*, no. 18, pp. 39-49, 1998. Recuperado de http://cecoldodigital.dimar.mil.co/164/1/dimarcioh_1997_boletincioh_18_39-49ok.pdf
- [4]. A. A. Molina, J. Pelgrain, J. Suzunaga, y L. Giraldo, "Dinámica marina sector galerazamba- Cartagena" *Boletín Científico CIOH*, no. 17, pp. 73-78.
- [5]. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas. (2000, diciembre). Documento de referencia, Procesos litorales (vol. III) [Online]. Recuperado de http://smc.ihcantabria.es/SMC25/wp-content/uploads/2015/08/Documento-de-referencia_Volumen2.Procesos-litorales.pdf
- [6]. P. Lesueur, y G. Vernet, "Procesos de Erosión en la playa de Manzanillo" *Boletín Científico CIOH*, pp. 55-72, 1981.
- [7]. C. Camargo-Avenidaño, y N. Bonfante-Zarza, "Clasificación geomorfológica y análisis de la variación espacial y temporal de las playas de Cartagena: sector Marbella". Universidad de Cartagena, 2012.
- [8]. A. Sánchez-Arcilla A., y J. A. Jiménez, "Evolución en planta/perfil de una playa. Métodos predictivos", *Ingeniería del Agua*, vol. 2, no. Extraordinario, pp. 119-132, 1995. Recuperado de <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2662/2647>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2824>

- [9]. J. A. Jiménez, y A. Sánchez-Arcilla, "Simulación de cambios a corto plazo en la línea de costa", *Revista de Obras Públicas*, vol. 139, no. 3315, pp. 41-51, 1992. Recuperado de http://ropdigital.ciccp.es/detalle_articulo.php?registro=6086&anio=1992&numero_revista=3315
- [10]. M. J. F. Stive. "Coastal profiles: their physic and their modelling". In Seminar, Laboratori d'Enginyeria Marítima. Universitat Politècnica de Catalunya, 1992.
- [11]. A. Carranza-Edwards, y M. Caso Chávez, "Zonificación del perfil de playa". *Geo-UNAM*, vol. 2, no. 2, pp. 26-32, 1994.
- [12]. R. Medina, C. Vidal, M. González, A. M. Bernabeu. Y J. Galofré, "Modelado de la morfodinámica de las playas por medio de formulaciones de <Equilibrio>". *Física de la Tierra*, vol.13, pp. 95-117, 2001. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE0101110095A/11925>
- [13]. M. Larson, "Equilibrium profile of a beach with varying grain size". *Coastal Sediments*, vol. 91, ASCE, 905-919, 1991).
- [14]. E. Nolasco-Montero, y A. Carranza-Edwards, "Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México", *Anales del instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, vol. 15, no. 2, pp. 49-65. Recuperado de <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1988-2/articulo305.html>
- [15]. J. O. Martínez, "Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe central colombiano (Sector Cartagena-Bocas de Ceniza)". *Publicaciones Geológicas Especiales del Ingeominas*, no. 19, pp. 1-62, 1993.
- [16]. Navarrete-Ramírez, S. M. 2014. "Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP)". *Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar*, no. 73, Santa Marta, 2014.
- [17]. M. C. E. Zetina, P. I. Sánchez, R. H. Osorio, T. I. Mariño, Ch. Castillo, y T. J. C. Cauich, "Análisis de modelos de perfil de playa en equilibrio aplicados a una playa de Yucatán, México", *Ingeniería*, vol. 12, no. 3, pp. 15-31, 2008. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/467/46712302.pdf>