



Evaluation and Design of Coastal Structures Applying Numerical Models. Case Study: La Entrada, Santa Elena, Ecuador.

Ivanna del Rocío Ramos Castañeda,
Enrique Carlos Alvear Dávalos, Gina María Andrade García and
Jonathan Marcelo Cedeño Oviedo

EasyChair preprints are intended for rapid
dissemination of research results and are
integrated with the rest of EasyChair.

January 30, 2022

Evaluación y Diseño de Estructuras Costeras para Generación de playa, mediante el uso de Modelos Numéricos.

Caso de Estudio: La Entrada, Santa Elena, Ecuador.

Ivanna del Rocío Ramos Castañeda, Ingeniera Oceanográfica¹, Enrique Carlos Alvear Dávalos, Ingeniero Oceanográfico², Gina María Andrade García, MSc.³, Jonathan Marcelo Cedeño Oviedo, M.Sc⁴
^{1,2,3,4} Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Campus Gustavo Galindo Velasco Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador, idramos@espol.edu.ec, ecalvear@espol.edu.ec, gandrade@espol.edu.ec, jcedeno@espol.edu.ec.

Abstract– *The trend of erosive processes in the Ecuadorian coast has become more pronounced over time, as well as the numbers settlement of communities in this area. Faced with this problem, coastal structures were built in some points of the coast, with the purpose of protecting populations from extreme waves and mitigating erosion. This project arises from the need to generate a beach to promote tourism development in La Entrada Commune, in order to become one of its fundamental pillars towards the development process of the commune and become a tourist reference for the sun and beach areas in the Spondylus Route without impediment of its physical and natural characteristics. To achieve this, the present study was based on: establishing environmental and socioeconomic baseline of the commune, obtaining the variation of the coastline from 1999 to 2019, carrying out basic engineering studies and proposing structural solution alternatives that were evaluated by CEDAS Numerical Model (Coastal Engineering Design and Analysis System) in a period of 2 to 5 years, to determine the best option to design.*

Key words – *Erosive processes, beach generation, touristic development, coastline, numerical model.*

Resumen– *La tendencia de procesos erosivos en la zona costera ecuatoriana se ha incrementado con el pasar del tiempo, así como también las comunidades en el filo costero se han expandido en área y población. Ante esta problemática, en algunos puntos del litoral fueron construidas estructuras costeras, con el propósito de proteger a las poblaciones del oleaje extremo y mitigar la erosión. El presente proyecto nace de la necesidad de generar playa para fomentar el desarrollo turístico en la comuna La Entrada, con el fin de que ésta se convierta en uno de sus pilares fundamentales hacia el desarrollo de la comuna, convirtiéndose en un referente turístico de las zonas de sol y playa en la Ruta del Spondylus. Para lograr esto, se planteó establecer una línea base ambiental y socioeconómica de la comuna, obtener la variación de la línea de costa desde el 1999 al 2019, realizar los estudios de ingeniería básica, y generar alternativas estructurales de solución que fueron evaluadas por el modelo numérico CEDAS (Coastal Engineering Design and Analysis System) en un periodo de 2 a 5 años, para determinar la mejor opción a diseñar.*

Palabras clave - *Procesos erosivos, generación de playa, desarrollo turístico, línea de costa, modelo numérico.*

I. INTRODUCCIÓN

Las playas ecuatorianas, en determinadas épocas del año, son sometidas a procesos de erosión y acreción por acción directa del oleaje [1] haciendo que la línea de costa presente variaciones. El retroceso costero derivado de procesos erosivos naturales o inducidos antrópicamente, resulta una constante en varias zonas costeras de Ecuador y afecta a la actividad turística, con diversas repercusiones en su economía [2].

Para entrar en contexto al presente proyecto, si sobre la costa se acumula más arena que la que puede mover las olas, especialmente en época de verano, la línea costera acrecerá. Si en cambio, el suministro de arena es menor que la cantidad que pueden mover las olas, la costa se erosionará [1]. Bajo este criterio y el escenario común en algunas de las playas ecuatorianas, el presente estudio tiene como objetivo principal plantear soluciones de protección costera basadas en estructuras que generen playa (acreción) para que las comunidades costeras que no cuenten con las condiciones ideales para brindar un turismo de sol y playa puedan tener la oportunidad de desarrollarlo en un corto y mediano plazo.

El planteamiento de este proyecto lleva a una interrogante ¿Cómo estar seguros de que el uso de una estructura en una zona costera particular podrá responder satisfactoriamente al objetivo por el que sería diseñada? Es una pregunta difícil de responder, en teoría, podemos referirnos a trabajos que han tenido éxito con el uso de estructuras costeras; pero para reafirmar dicha teoría y disminuir los errores de análisis, diseño e implantación de una estructura y en la toma de decisiones, podemos recurrir al uso de un modelo numérico para simular la respuesta de la playa en presencia de éstas.

Para este proyecto, se seleccionó como caso de estudio la playa de la comuna de La Entrada en la provincia de Santa Elena y se evaluó tres tipos de alternativas de solución estructural mediante el modelo numérico CEDAS. Luego, se escogió la alternativa de protección costera con mejor respuesta del comportamiento dinámico de la playa para su posterior diseño estructural.

A. Descripción general del área de Estudio

La Entrada es una comuna costera perteneciente a la parroquia Manglaralto, ubicada al norte de la provincia de Santa Elena. Está anclada en la ruta turística más importante del litoral ecuatoriano, la Ruta del Spondylus. La playa de La Entrada tiene una longitud de aproximadamente 1.2 km, mientras que la comuna tiene una extensión territorial de 1 617 ha. Está limitada geográficamente por la comuna La Rinconada al norte, comuna Las Nùñez al sur, al este con la comuna Vueltas Largas y al oeste con el Océano Pacífico (ver fig. 1).

La Entrada tiene un ancho de playa angosto que cuando la marea sube (tanto en sicigia como en cuadratura) llega a desaparecer. Su dinámica litoral está gobernada por el oleaje SO (predominante en toda la costa ecuatoriana), y N-NO (los conocidos “Nortes”), especialmente activos durante los meses de la época húmeda (diciembre-mayo). Además, la playa está conformada por una superficie rocosa considerable, lo que significa un impedimento y restricción física para la realización de actividades rutinarias tanto de los comuneros como de los visitantes, limitando el uso de estos espacios para fines recreacionales.

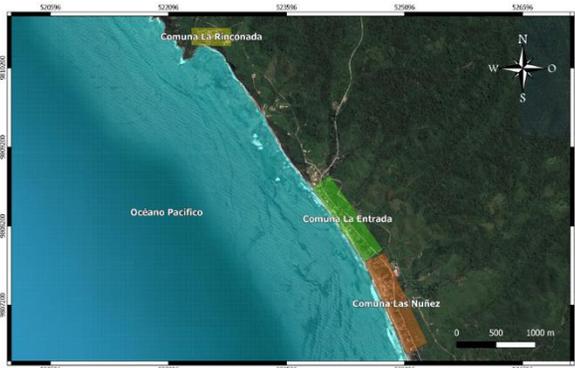


Fig. 1 Mapa del área de estudio de la playa de la comuna La Entrada, Santa Elena. Elaboración: Los autores, 2019.

B. Características socio-económicas

La comuna La Entrada tiene aproximadamente 800 habitantes, quienes se dedican a distintas actividades productivas como Agricultura, Artesanía, Pesca y Turismo Comunitario, según se menciona en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Manglaralto [3]. Hacia el 2014, la pesca era la segunda actividad productiva más importante en La Entrada, estando en primer lugar la agricultura [4]. Actualmente, los comuneros han expresado que la pesca está estableciéndose en un segundo plano por las dificultades físicas que tienen para ejercerla; es por esto, que la comuna se ha encaminado desde hace algunos años a desarrollar un plan de progreso turístico que consiste en ofertar actividades como: gastronomía, deportes extremos, (entre ellos, el surf, que es una actividad por la que esta playa es muy conocida), senderismo. Otras obras han sido construidas en los últimos años para favorecer la estancia en esta población, como un paradero turístico (con murales hechos por artistas nativos); y un monumento a la ballena jorobada, símbolo del turismo que se

quiere implementar en La Entrada, junto con el desarrollo de su recurso playa.

C. Características meteorológicas

La Entrada se caracteriza por: vientos de dirección predominante SW con ocurrencia > 50%, durante todo el año, que varían en el rango de los 3 y 5 m/s [5].

D. Características morfológicas

La comuna La Entrada se encuentra en proceso de transgresión marina [6], se encuentra asentada junto a un acantilado activo, que presenta una plataforma de abrasión con diaclasamiento, fallas estructurales y cordones litorales que taponan las desembocaduras de los amplios valles aluviales de la zona [7]. En La Entrada se hacen evidentes dos rasgos litológicos: depósitos aluviales (gravas y arenas) y el grupo Ancón. Según los estudios realizados *in situ* durante el 2019, se determinó que La Entrada está caracterizada con mayor tendencia por un suelo arenoso medio y fino según la escala de Wentworth [8], con un D50 de 0.1645 mm., una pendiente de playa de moderada a suave ($m=0.003$).

E. Características hidrodinámicas

No existen muchos estudios oceanográficos en la zona de La Entrada. Sin embargo, se conoce que es una playa expuesta al oleaje Sur oeste (SO), cuya zona de generación es el Pacífico Sur [9] con olas que arriban a las costas de Ecuador con direcciones entre 220-240°, y también, existe la aproximación del oleaje Noroeste - NO, que usualmente arriban con direcciones entre 300°- 315° con respecto al norte geográfico. La altura que pueden alcanzar estas olas está en el rango de 2 a 3 m de altura [10] lo cual, las hace peligrosas para los bañistas y pobladores de la zona costera de la comuna, pero agradables para los practicantes del surf.

Según el análisis de la Tabla de marea del 2019 de la estación Monteverde [11], el rango de mareas de sicigia para La Entrada es de aproximadamente 2.15 m. En cuanto al estudio de corrientes, realizado *in situ* durante el 2019, en marea de sicigia, las corrientes son predominantes hacia el norte teniendo velocidades máximas de hasta 14 cm/s, específicamente cuando la marea se encuentra en flujo, y velocidades mínimas de hasta 0.60 cm/s, cuando la marea se encuentra en estoa; en marea de cuadratura los vectores de velocidad disminuyen en comparación a los de sicigia y tienden a ser perpendiculares o hasta inclusive digerirse hacia el sur, teniendo velocidades máximas de hasta 9 cm/s, generándose de igual forma cuando la marea está en flujo, y velocidades mínimas de hasta 0.45 cm/s, cuando la marea se encuentra en transición.

II. METODOLOGÍA

El presente proyecto se desarrolló bajo cuatro fases o lineamientos base: 1. Línea base de la comuna, 2. Análisis del cambio de línea de costa, 3. Realización de estudios básicos de ingeniería, 4. Modelaje costero de alternativas de solución.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

A. FASE 1: Línea base de la comuna La Entrada

En esta fase, se realizó una línea base conformada por los aspectos geográficos, físicos, biológicos, socio económicos, con la finalidad de definir el estado del arte del área de estudio y de influencia (*secciones A-B*).

B. FASE 2: Análisis del cambio de línea de costa.

Para el presente caso de estudio se estableció como línea de costa, la línea definida a partir de la base de los acantilados, o el límite de afloramiento rocoso, [12] tal y como ha sido usado en un estudio realizado en la zona costera del partido de General Pueyrredón, Argentina [2], teniendo características similares a la playa de la comuna de La Entrada. Esta fase constó de un análisis temporal y espacial de la línea de costa de La Entrada y fue dividida en dos secciones: 1. Con sensores remotos y 2. Con un modelo numérico.

1. Con sensores remotos: En esta sección se tuvo como base la metodología sugerida en [13]. Se analizaron imágenes satelitales de la zona de estudio de los años 1999, 2000, 2011, y 2019, siendo éstas las que mejor resolución tenían en la base de datos del Instituto Geográfico Militar (IGM). Posteriormente, se usaron dos softwares que cumplieron con funciones específicas para este proceso, tal y como se explica en la siguiente tabla:

Software	Función
QGIS	Software de sistema de información geográfica, el cual permitió trazar y digitalizar las líneas de costas a partir de las imágenes satelitales de los diferentes años, por medio de georreferenciación y vectorización manual con puntos de control.
RStudio	Software de análisis estadístico, el cual permitió calcular la distancia en metros de la variación de la línea de costa que ha ocurrido en un periodo de tiempo, en función de la temporalidad de las imágenes satelitales. (1999 - 2019).

Tabla. 1 Softwares utilizados para el análisis de variación de línea de costa. Fuente: Los autores, 2019.

Como se muestra en la figura 3, se escogieron dos sectores para el análisis del cambio de línea de costa, sur y norte, debido a que la parte central del área de estudio no iba a influir en el análisis ya que es una zona delimitada por un muro – malecón con la finalidad de proteger a la población de la acción del oleaje y desarrollar turísticamente a la comuna, en los años 90.



Fig. 3. Variación línea de costa de la playa de La Entrada 1999-2019 con sensores remotos. Fuente: Los autores, 2019.

Como complemento se utilizó también Excel para tabular los datos obtenidos a partir de RStudio, y realizar un cuadro comparativo; de esta manera se logró determinar la tasa de erosión referente a cada año analizado y una tasa de erosión total en el periodo de estudio de 20 años.

2. Con modelo numérico: En esta sección se utilizó el software CEDAS, con su módulo de procesos de playa NEMOS bajo el código clave GENESIS [14], con la finalidad de obtener un análisis de la variación de la línea de costa de la playa de La Entrada en condiciones naturales para el periodo de 1999 – 2019, y así, realizar una comparación con la variación realizada con sensores remotos, y de esta forma validar el modelo para las futuras simulaciones.

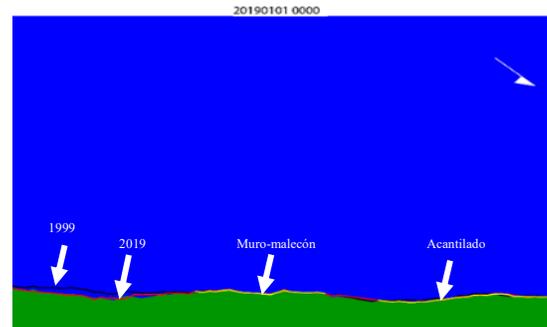


Fig.4 Fin de la modelación de la variación línea de costa de la playa de La Entrada 1999-2019 con Modelo Numérico CEDAS. Fuente: Los autores, 2019.

En la fig.4 se puede observar el producto final de la variación de línea de costa con modelación numérica desde 1999 hasta el 2019.

C. FASE 3: Estudios básicos de ingeniería.

Esta fase consistió en determinar los estudios previos al diseño de una estructura costera. Se realizó un estudio de las variables oceanográficas (reflejadas en las condiciones C-E), en cuanto al oleaje, al ser una de las características más importantes para el diseño, se utilizaron dos metodologías:

- a) Oleaje visual: 4 estaciones de muestreo a lo largo de la zona de estudio, cubriendo aproximadamente 1 km de playa.
- b) Obtención de estadística del oleaje: al no tener una base histórica de datos tomados *in situ*, se utilizó el portal del Asia-Pacific Data Research Center, y el WaveWatch-III [15], para obtener los datos de altura, periodo y dirección del oleaje, de la boya más cercana a la zona de estudio, correspondiente al periodo de 1999 al 2018.

Además, se recolectaron datos de características litorales *in situ*; se realizó un análisis granulométrico y de topo-batimetría, obtenida de la interpolación entre los datos de la Carta Náutica I.O.A 1053 aprox. a Ayangue y la topografía realizada por

aerofotogrametría con uso de un dron RTK, y se determinó el transporte litoral de sedimentos mediante la aproximación de flujo de energía [16], en base a la climatología de oleaje del sector.

D. FASE 4: Modelaje costero de alternativas de solución.

En esta fase, se plantearon conceptualmente tres estructuras costeras como posible solución al problema físico que enfrenta la playa de La Entrada, con la finalidad de aumentar la zona de playa de esta comuna y que se pueda desarrollar el turismo de sol y playa, influyendo así en la economía poblacional. Las alternativas costeras planteadas fueron: Rompeolas costa afuera(1), Configuración mixta (espigón + rompeolas) (2) y Espigón tipo T (3).

En la búsqueda bibliográfica, en Ecuador no se han registrado estudios oficiales con el modelo numérico CEDAS por lo que se utilizaron guías de estudios de Indonesia [16] y Guías-Manuales-Tutoriales oficiales Step by step de VeriTech., Inc. de estudios realizados en Estados Unidos [17].

Para nuestro caso de estudio, solo nos enfocamos en el módulo de procesos de playa, NEMOS; en donde los únicos datos de entrada necesarios (obtenidos en la fase 3) para realizar el modelo son:

- Puntos batimétricos en formato XYZ obtenidos de la carta náutica IOA1053.
- Puntos de la topografía del área de estudio en formato XYZ obtenidos mediante aerofotogrametría y el sistema de posicionamiento RTK – GPS.
- Puntos de la línea de costa de 1999 y 2019 en formato XY obtenidas a partir de la digitalización de las imágenes satelitales.
- Datos de la climatología de oleaje de preferencia para el periodo en el cual se está haciendo el estudio (1999-2018).

Para usar el código clave GENESIS, es necesario primero trabajar con dos códigos auxiliares cuyos productos servirán como datos de entrada, por lo que:

1. Inicialmente se trabajó con el código auxiliar GRIDGEN, el cual nos permite seleccionar nuestra área de estudio y generar la grilla.
2. Posteriormente se usó el otro código auxiliar WWL, en el cual se ingresó la climatología de oleaje, en donde fue procesada y tratada agregando los valores de transporte de sedimentos y definiendo la convección de dirección adecuada en la cual trabaja GENESIS.

En GENESIS se importa la grilla y los datos de oleaje generados anteriormente, y se procede a ingresar el periodo de tiempo en el cual se desea hacer el modelado, los puntos de línea de costa inicial (1999) y referencia (2019), se definen los coeficientes de calibración adecuados para el modelo (esto dependerá del área de estudio, del tamaño de la grilla, y de la calidad de los datos de entrada), y por último se ingresan las condiciones de borde características de la zona de estudio.

Como se mencionó en la fase 2, la primera etapa del uso del modelo numérico se basó en el modelado de la línea de costa bajo condiciones naturales y la segunda etapa en presencia de las estructuras costeras seleccionadas. El periodo de la simulación fue de 2 a 5 años para analizar una respuesta a corto y mediano plazo con un time step de 0.5.

III. RESULTADOS

Los productos obtenidos en la Fase 2, establecen que la variación de la línea de costa por medio de sensores remotos tuvo como resultado una tasa de erosión significativa de 0.72 m/año, teniendo un valor máximo de 14.45 m en distancia, en el sector sur de la playa de La Entrada; y por medio del modelo numérico, se determinó una tasa de erosión significativa de 0.71 m/año, reportando una distancia de 14.18 m de retroceso en el mismo sector de la playa, por lo que al compararlos, se obtuvo un error de 1.4%. (Ver fig. 4). En la zona norte debido al acantilado, no se evidencia un cambio brusco de la línea de costa, ya que esta cumple la función de muro que evita que se erosione como en zonas de playa expuesta.

En la Fase 3, se determinó un oleaje visual promedio de las salidas de campo, en fase sicigia: 1.5 m de altura, 12 s de periodo, en fase cuadratura: 0.75 m de altura, 14 s de periodo y una dirección de 220° para las dos fases; según el análisis del WWIII, se determinó una altura de ola significativa (Hs) de 2.10 m, periodo significativo (Ts) de 14 s, y una dirección predominante de 222°. La tendencia en la dirección del transporte litoral de sedimentos en la playa de La Entrada es hacia la derecha (norte de la playa) con un valor de transporte litoral predominante (Qn) de 2 943 684.23 m³/año, calculado y procesado con base en la climatología del oleaje en Matlab.

Los resultados de la Fase 4, se muestran a continuación: La figura 6 corresponde a la simulación de la alternativa (1) Rompeolas Costa Afuera, para la cual se obtuvo un aumento máximo de playa de 35 m (distancia) y una tasa de acreción de 7 m/año, en un periodo de 5 años de modelado.

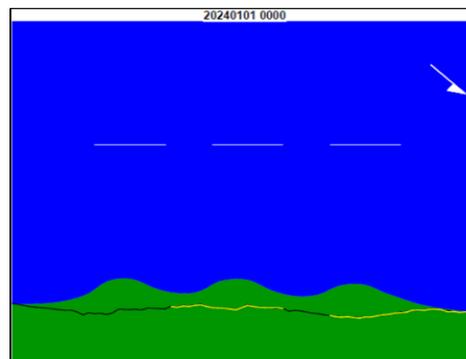


Fig. 6. Variación línea de costa de la playa de La Entrada 2019-2024 con Modelo Numérico CEDAS en presencia de 3 Rompeolas Costa Afuera. Fuente: Los autores, 2019.

La figura 7 corresponde a la simulación de la alternativa (2) Configuración mixta, para la cual se obtuvo un aumento máximo de playa de 70 m (distancia) y una tasa de acreción de 12 m/año, en un periodo de 5 años de modelado; por naturaleza

de la propia configuración (espigón), en la playa de La Entrada se evidencia una tasa de erosión de 0.26 m/año en el periodo de estudio, definida como leve, en comparación al crecimiento de la playa en general.

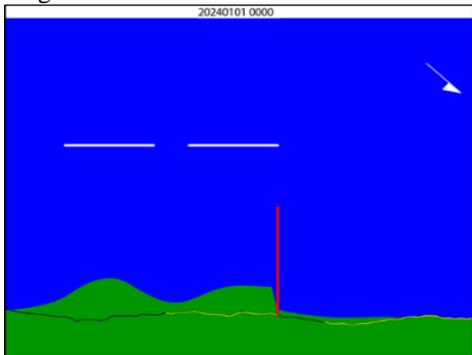


Fig. 7. Variación línea de costa de la playa de La Entrada 2019-2024 con Modelo Numérico CEDAS en presencia de una Configuración mixta. Fuente: Los autores, 2019.

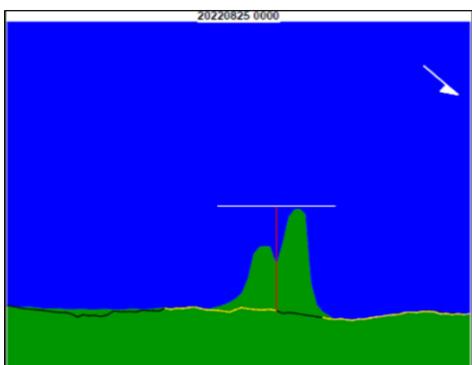


Fig. 8. Variación línea de costa de la playa de La Entrada 2019-2022 con Modelo Numérico CEDAS en presencia de Espigón tipo T. Fuente: Los autores, 2019.

La figura 8 corresponde a la simulación de la alternativa (4) Espigón tipo T, la cual se modeló en el código clave GENESIS-T, para la cual se obtuvo un aumento máximo de playa de 112.03 m (distancia) y una tasa de acreción de 37 m/año, en un periodo de sólo 2 años de modelado; el modelo paró la simulación porque la alternativa formaba tómbolos, lo cual no cumplía con las especificaciones de la simulación, de uso del software, ni de los objetivos del proyecto.

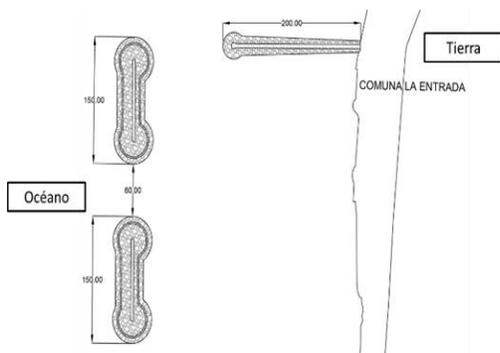


Fig. 9. Vista en planta de la configuración mixta. Fuente: Los autores, 2019.

En la fig.9 se puede apreciar el diseño conceptual y vista en planta de la configuración mixta propuesta, seleccionada como la alternativa de respuesta óptima ante la problemática de La Entrada.

IV. CONCLUSIONES

Dentro de la ingeniería costera una herramienta muy usada y poderosa para comprender y predecir sucesos o eventos que pueden ocurrir a lo largo del perfil costero son los modelos numéricos, éstos, cuantifican los cambios e identifican tendencias en la variación del perfil costero en condiciones naturales y en presencia de estructuras costeras a corto, mediano y largo plazo. Estos modelos proporcionan un marco para desarrollar formulaciones de problemas y enunciados de soluciones para organizar la recopilación y el análisis de datos y, lo que es más importante, para evaluar eficientemente diseños alternativos y optimizar los diseños a seleccionar, de esta manera ayudan a determinar una futura respuesta de la zona que se está estudiando y posteriormente a la toma de decisiones, lo cual representa una ventaja contundente en el diseño e implementación de soluciones ingenieriles; pero de manera específica, también existen desventajas en el uso de éstos, ya que algunos modelos numéricos tienen limitaciones en cuanto a ingreso de propiedades, uso de formulaciones o la resolución y calidad de datos que resiste el proceso del modelado. En el presente proyecto, el uso del modelo numérico fue esencial y determinante para definir la solución óptima que satisfaga el objetivo de generar playa.

El resultado de la variación temporal y espacial de la línea de costa de la playa de La Entrada desde 1999 al 2019, tanto de los sensores remotos con una tasa de erosión de 0.72 m/año, como del modelo numérico con 0.71 m/año, se validó al tener un mínimo error porcentual entre ellos.

La alternativa de protección costera seleccionada para su posterior diseño es la Configuración mixta (2 rompeolas + espigón), la cual responde satisfactoriamente al objetivo del proyecto; esperando así un incremento de afluencia turística por los servicios que ofrecerá la presencia de la estructura, siendo el más importante el recurso playa, para el desarrollo del turismo de recreación (sol y playa), recalcando de esta manera que la necesidad de desarrollo económico consta de una solución macro que involucra la generación de playa y las actividades propias que aportaría la comuna, lo que supone un trabajo continuo y constante.

AGRADECIMIENTOS

Los autores principales expresan su agradecimiento especial a todas las personas que se involucraron directa e indirectamente en la realización del presente proyecto y a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, de manera particular a la Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar por su apoyo en el proceso de investigación y toma de datos.

REFERENCIAS

- [1] B. Soledispa, «Características geomorfológicas y sedimentológicas de la Bahía de Santa Elena,» *Acta Oceanográfica del Pacífico*, vol. 15 (1), pp. 169-184, 2009.
- [2] M. García y M. Veneziano, «Análisis PFEIR sobre rompeolas y playas generadas en el sur de Gral. Pueyrredón, R. Argentina,» Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 2015.
- [3] GADPM, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2014-2019,» 2015.
- [4] I. Rodríguez y M.C. Triviño, «“Propuesta para la promoción turística de la comuna “La Entrada”, Provincia de Santa Elena, como destino importante a nivel nacional” Tesis de Grado FIMCBOR-ESPOL,» Guayaquil, 2014.
- [5] INOCAR, «Productos y Estaciones Meteorológicas del Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/estaciones-meteorologicas.
- [6] N. Guaman y G. Loayza, «Análisis Multitemporal de la Línea de Costa en la Comuna La Entrada, Provincia de Santa Elena,» ESPOL, Guayaquil, 2016.
- [7] H. Ayón, «Grandes rasgos geomorfológicos de la costa ecuatoriana,» Guayaquil, Ecuador, 1988.
- [8] Wentworth, «A scale of grade and class terms for clastic sediments,» *Journal of Geology. En C. Wentworth*, vol. V. 30., 1922.
- [9] P. Winckler, C. Esparza, R. Agredano y R. Ibaceta, «Nuevas metodologías para el estudio de marejadas en Chile,» de *La zona costera en Chile: Adaptación y planificación para la resiliencia*, Santiago, Chile, 2020, pp. 51-78.
- [10] G. Andrade, E. Cervantes y J. Cedeño, «Informe de olas de la comuna La Entrada,» Guayaquil., 2013.
- [11] INOCAR, «Tabla de mareas de puertos del Ecuador,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/tabla-mareas>.
- [12] P. Díaz, M. Fernández, A. Prieto y J. Ojeda, «La línea de costa como base para la generación de indicadores de estado y de seguimiento ambiental: modelo de datos y conceptos de líneas de costa en el litoral de Andalucía,» Madrid: Dpto. Geografía Física y AGR. Universidad de Sevilla., 2012.
- [13] R. Caiza y Nativí, S., «Evaluación y Modelamiento del Cambio de Línea de Costa en Condiciones Naturales y bajo Influencia de Obras de Protección Costera. Caso de Estudio: Libertador Bolívar, Santa Elena-Ecuador,» Guayaquil, 2019.
- [14] H. Hanson, «GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change,» de *Technical Report*, Department Of the Army of United States, 1989.
- [15] NOAA, «Environmental Modeling Center,» [En línea]. Available: <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>. [Último acceso: 2019].
- [16] USACE, Shore Protection Manual (SPM) (Vol. II), Washington, DC., 1984.
- [17] Muriadin, «Step by Step CEDAS-NEMOS versi 4.03,» Indonesia., 2012.
- [18] I. VeriTech, «Veritech Enterprises LLC,» [En línea]. Available: <https://www.veritechinc.com/support/downloads>. [Último acceso: Octubre 2019].
- [19] P. Cornejo, «Climatología de la zona costera ecuatoriana,» Guayaquil., 1999.
- [20] W. Dally y J. Pope, «Deattached Breakwaters for Shore Protection,» de *US Army Corps of Engineers, Department of the Army*, En Washington, DC., 1986.
- [21] P. & Dean, «Deattached Breakwaters for Shore Protection,» de *US Army Corps of Engineers, Department of the Army*, Washington, DC., 1987.
- [22] I. Coria, «El estudio de impacto ambiental: características y metodologías,» de *Invenio, vol. 11, núm. 20.*, Rosario, Argentina., 2008.
- [23] FAO, «Evaluación de Impacto Ambiental: Directrices para los proyectos de campo de la FAO,» Roma., 2012.
- [24] G. Espinoza, «Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental,» 2007, pp. 1-288..
- [25] INAMHI, «Anuario Metereológico 2013. Quito,» 2017. [En línea]. Available: Obtenido de Obtenido de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- [26] R. Hudson, «Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters,» *Journal of the Waterways and Harbors Division. ASCE.*, pp. 85, 93-121., 1959.