



# Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

## Tropical Journal of Environmental Sciences



### NOTA TÉCNICA

**Efectos climáticos y antrópicos en la morfogénesis de isla Guarumal, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica**

**Climatic and anthropic effects in the morphogenesis of Guarumal Island, Térraba-Sierpe National Wetland, Costa Rica**

*Adolfo Quesada-Román<sup>a</sup> y Jéssica Francini Acuña Piedra<sup>b</sup>*

- a Geógrafo, académico e investigador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica, [adolfo.quesada@gmail.com](mailto:adolfo.quesada@gmail.com)  
b Geógrafa, investigadora del Proyecto Humedales, SINAC-GEF-PNUD-MINAE. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. [fran1993piedra@gmail.com](mailto:fran1993piedra@gmail.com)

#### Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

#### Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya, Costa Rica Limpia, Costa Rica  
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica  
Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú  
Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica  
Dr. Arturo Sánchez Azofoifa. Universidad de Alberta-Canadá

#### Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

#### Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)





## NOTA TÉCNICA

# Efectos climáticos y antrópicos en la morfogénesis de isla Guarumal, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica

## Climatic and anthropic effects in the morphogenesis of Guarumal Island, Térraba-Sierpe National Wetland, Costa Rica

*Adolfo Quesada-Román<sup>a</sup> y Jéssica Francini Acuña Piedra<sup>b</sup>*

[Recibido: 28 de febrero 2017; Aceptado: 02 de mayo 2017; Corregido: 05 de mayo 2017; Publicado: 01 de julio 2017]

### Resumen

Se estudiaron las implicaciones climáticas y antrópicas durante 64 años de cambios (1948-2012), en la morfología de la isla Guarumal en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe al sureste de Costa Rica. Para 1948 la isla no existía, solamente el desarrollo somero de algunos bancos de arena en la boca Guarumal. No obstante, para 1972 y 1992 la isla Guarumal fue aumentando paulatinamente su tamaño y fijando su basamento y, es a partir de 2012, cuando la vegetación afianza aún más esta forma de relieve. Entre las causas asociadas a su formación y desarrollo están la variabilidad climática (Fenómeno ENOS) con pulsos de mayor sedimentación durante periodos de Niña, modificaciones en los patrones de mareas, así como los cambios en el uso de la tierra de bosques a pastos o zonas agropecuarias inmediatas al humedal y en las cuencas que drenan este delta como son los ríos Térraba y Sierpe. Dicha tendencia global de modificación de las formas de relieve costeras producto de las variaciones climáticas y los impactos ambientales producto de las actividades humanas son discutidas a partir de los resultados obtenidos en el delta Térraba-Sierpe.

**Palabras clave:** Humedal, geomorfología, variabilidad climática, cambios de uso de la tierra, impacto ambiental.

### Abstract

A study was conducted on the climatic and anthropic implications during 64 years of changes (1948-2012) in the morphology of Guarumal Island in the Térraba-Sierpe National Wetland, southeast of Costa Rica. By 1948 the island did not exist; there was only a shallow development of some sandbars in Guarumal mouth. However, from 1972 to 1992 the Guarumal Island increased its size and settled its base gradually; and it is from 2012 when the vegetation further strengthens this landform. The causes related with the island formation and its development are climate variability (ENSO phenomena)—with greater sedimentation pulses during periods of La Niña—changes in tidal patterns, as well as land-use changes from forests to pastures or agricultural zones next to the wetlands, and in the watersheds that drain into this delta, such as the Térraba and Sierpe rivers. This global trend of modification of the coastal geofoms, produced by the climatic variations and the environmental impacts resulting from the human activities, are discussed based on the results obtained in the Térraba-Sierpe delta.

**Keywords:** Climatic variability, environmental impact, geomorphology, land-use changes, wetland.

<sup>a</sup> Geógrafo, académico e investigador de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica, [adolfo.quesada@gmail.com](mailto:adolfo.quesada@gmail.com)

<sup>b</sup> Geógrafa, investigadora del Proyecto Humedales, SINAC-GEF-PNUD-MINAE. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. [fran1993piedra@gmail.com](mailto:fran1993piedra@gmail.com)



## 1. Introducción

El relieve costero es producto de una compleja dinámica entre agentes endógenos y exógenos que conforman la transición entre el continente y el océano, y a su vez dependen de los materiales que los componen, donde interviene la dinámica de elementos particulares o combinados como las olas, las mareas y los aportes fluviales, la intensidad con que los procesos modelan las costas y generan una evolución constante de dichas geoformas a través del tiempo. Por tanto, la respuesta de los relieves costeros es producto tanto de la tectónica, geología, patrones climáticos, oceanográficos, biológicos y antrópicos (Bierman & Montgomery, 2014).

Estas modificaciones tienden a variar dependiendo del grado de intensidad que presenten los procesos que modelan estas superficies, por lo que muchas pasarán varios siglos sin cambios notorios en paisajes costeros, mientras que podemos notar a su vez sustanciales modificaciones en la línea de costa año tras año. Los ambientes costeros por definición son cambiantes y no dependen únicamente de las variaciones en el patrón de las olas, las mareas o los aportes fluviales, sino que su dinámica es aún más compleja a partir de un clima variable de manera diaria, mensual, anual y decadal, además de los impactos que los cambios en el uso de la tierra y el crecimiento poblacional, sin una planificación territorial efectiva, generan en las cuencas hidrográficas y terminan modificando los procesos e intensidades de los relieves del litoral (Trenhaile, 2004). Los deltas son las formas de relieve costero más grandes del planeta, además tienen una importante función ecosistémica y para las grupos humanos desde la Antigüedad, por sus características de fertilidad de sus suelos, las cuales fueron descubiertas desde las civilizaciones de Ur, Mesopotamia y Egipto; además, en la actualidad, albergan una alta densidad poblacional en deltas como el Yangtze en China con unos 140 millones de habitantes, el 33% de la población de Nigeria se concentra en el delta del río Níger, y el 10% de la población de Egipto vive en el delta del Nilo, dada su importancia para la pesca, extracción de sal, fertilidad de sus suelos y usos portuarios (Evans, 2012).

El Humedal Nacional Terraba-Sierpe (HNTS) se ubica al sureste de Costa Rica, en las coordenadas geográficas 8° 47" Latitud Norte y 83° 38" Longitud Oeste (**Figura 1**). Dentro de las morfologías que dominan en esta área protegida se encuentran marismas, pantanos permanentes o temporales, la llanura aluvial con influencia marino-costera, así como el delta de los ríos Grande de Terraba y Sierpe; donde domina un patrón de drenaje meandriforme con alternancia de barras costeras vegetadas por densos manglares. Este paisaje deriva de una configuración tectónica compleja, relacionada con el proceso de subducción entre las placas de Cocos y Caribe, la colisión de la dorsal de Cocos al SE del país (o cordillera volcánica submarina del Coco), además de un sistema de fallas regionales transcurrentes asociadas a la placa de Panamá que tienen implicaciones directas e indirectas en la sismicidad de la región. Por su parte, la litología que conforma el delta y sus regiones circundantes se compone de rocas volcánicas del Cretácico hasta el Mioceno, sedimentarias del Pleistoceno, mientras que la capa superior del delta es del Cuaternario.

El delta Terraba-Sierpe se compone de seis bocas: Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal y Sierpe, en las cuales se han producido distintas modificaciones a lo largo de las últimas seis décadas, como la desaparición de la isla Sucesión, el arrastre o lavado de la isla



Zacate e isla El Coco, así como del manglar y playa en boca Guarumal y, finalmente, la formación de una nueva isla barrera como una extensión de la isla Guarumal (Ortiz, 2008). Cabe también destacar que entre 1948 y 2012, las superficies de manglar de este humedal descendieron 1 458 ha, especialmente entre las décadas de 1960 y 1980 (Acuña-Piedra, 2016).

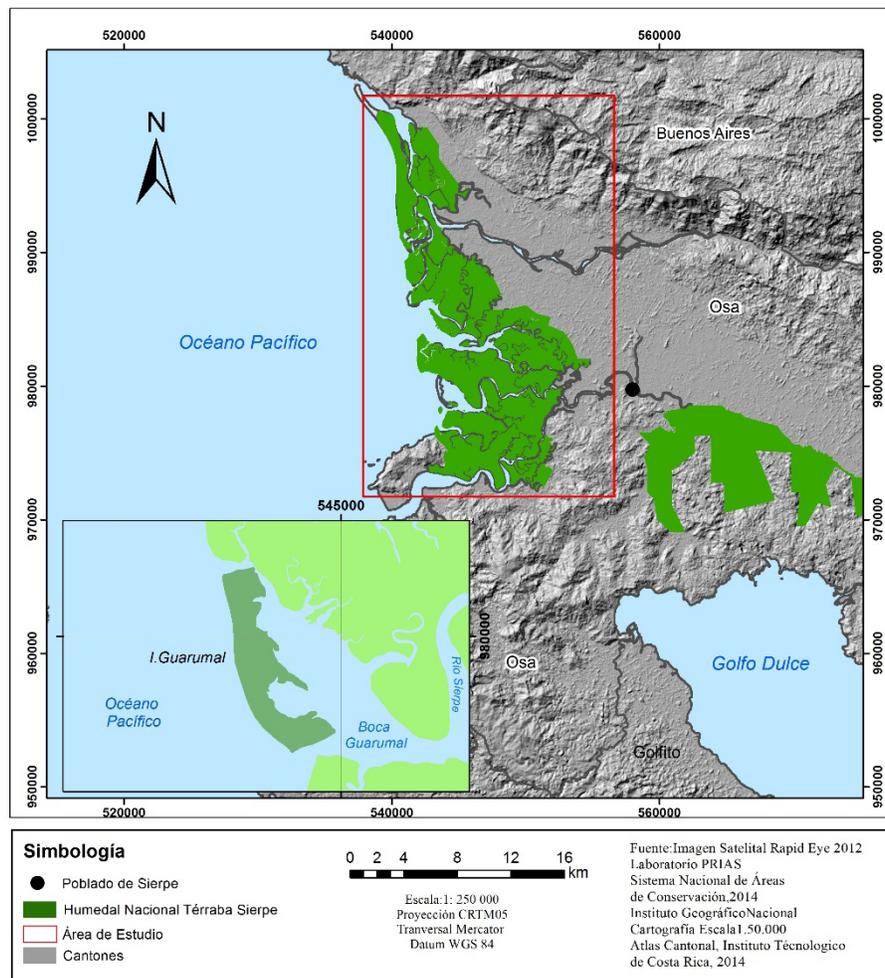


Figura 1. Localización de la isla Guarumal en el contexto del HNTS.

El objetivo de este trabajo consiste en evidenciar los cambios sufridos a través de 64 años de la isla Guarumal, entender cómo evolucionó su morfología en el tiempo, cuáles son las causas de su formación y desarrollo, y evidenciar cómo los cambios tanto en el clima como en las actividades humanas se reflejan en el relieve de ambientes fluviomarinos tan cambiantes como lo es el delta del río Térraba-Sierpe en Costa Rica y analizar cómo esta dinámica es la tendencia global tanto en regiones templadas como tropicales.



## 2. Metodología

Se realizó una reconstrucción de la evolución geomorfológica de boca e isla Guarumal a partir de la georeferenciación y fotointerpretación de tres fotografías aéreas de los años 1948, 1972 y 1992 a escala 1:50 000, 1:20 000 y 1:60 000 respectivamente, las cuales fueron suministradas por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN). Además, se contó con una imagen satelital Rapid Eye del año 2012 con resolución de 5 m obtenida del Centro Nacional de Alta Tecnología Costa Rica (CeNAT). Para cada una se digitalizaron los tres tipos de barras costeras presentes: submarinas, insulares y litorales (Lugo, 2011), caracterizadas de acuerdo con su textura, dinámica, forma, color y cobertura de vegetación; de esta manera se generó una cronología de los cambios de las barras costeras en boca Guarumal (**Figura 2**). La información se procesó mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el programa Arc Gis versión 10.2.



**Figura 2.** Tipos de barras en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) barras submarinas, b) barras insulares, c y d) barras litorales.

Para comprobar la clasificación de las barras, se hizo un trabajo de campo donde se obtuvieron entre dos y tres muestras de suelo de aproximadamente 2 kg para cada tipo de barra (8 en total) a una profundidad de 30 cm. Posteriormente, las muestras se llevaron al Laboratorio de Geografía Física la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional y se procesaron para obtener la textura de cada una de ellas mediante los métodos de Bouyoucos (obtención de los porcentajes de arenas, limos y arcillas) y granulométrico (determinación de los porcentajes de cada tipo de



arena); para este último método se utilizaron seis tamices: N.º10 (2 mm), N.º13 (1,4 mm), N.º35 (0,5), N.º60 (0,25 mm), N.º120 (0,125 mm), N.º 170 (0,09 mm) y N.º230 (0,063 mm). Para este último se dividen en arenas gruesas de (2-0,5 mm), arenas medias (0,5-0,25 mm) y arenas finas (0,25-0,063 mm; [United States Department of Agriculture \[USDA\], 2004](#)). El conjunto de análisis, trabajo de campo y fotointerpretaciones permitió conocer los procesos de formación de las barras costeras y caracterizar la evolución geomorfológica de boca Guarumal. Además, se calcularon las áreas para cada año de la extensión territorial de isla Guarumal, para entender los cambios areales que la isla fue teniendo a lo largo de 64 años de análisis. Por último, se discuten las razones por las cuales se creó la isla Guarumal durante el periodo de estudio, teniendo en cuenta causas de su formación y desarrollo asociado a cambios en el clima y en las actividades humanas.

### 3. Resultados

El caso de boca Guarumal es peculiar en comparación con las otras desembocaduras del HNTS, ya que en la parte norte se conformó una isla en un periodo de 40 años. Para 1948 no existía ninguna isla, sino pequeños bancos de sedimentos aislados, identificados como barras submarinas e insulares. Sin embargo, en la parte sur de la boca había una barra con dirección norte-sur conformada con una sólida cubierta de vegetación que funcionaba como una barrera de depósitos, la cual se mantuvo estable en cuanto a la dinámica de sedimentación (**Figura 3**).

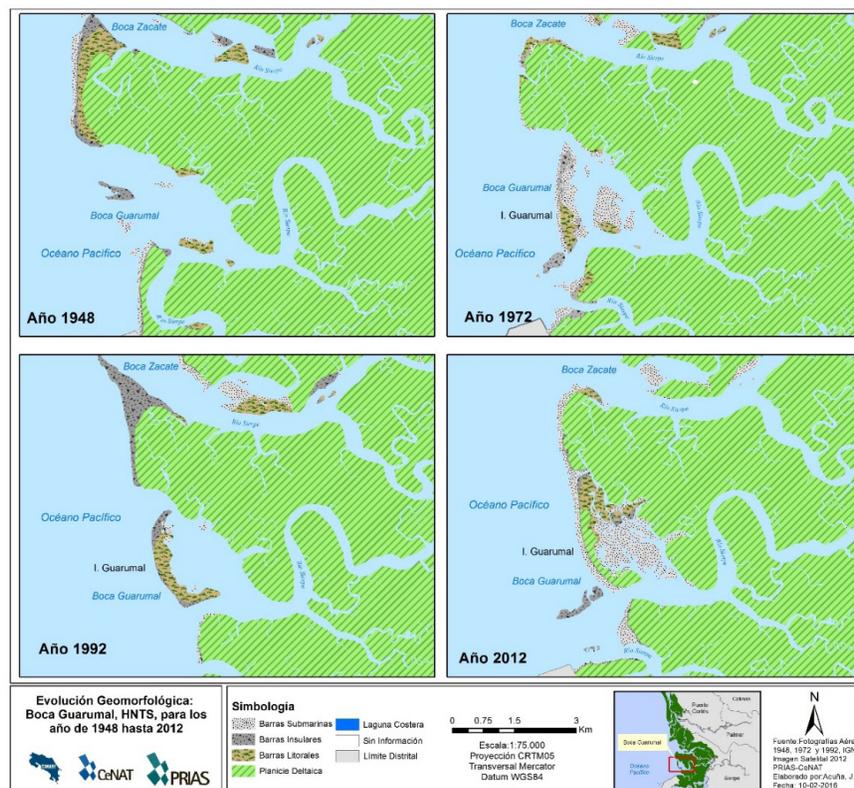


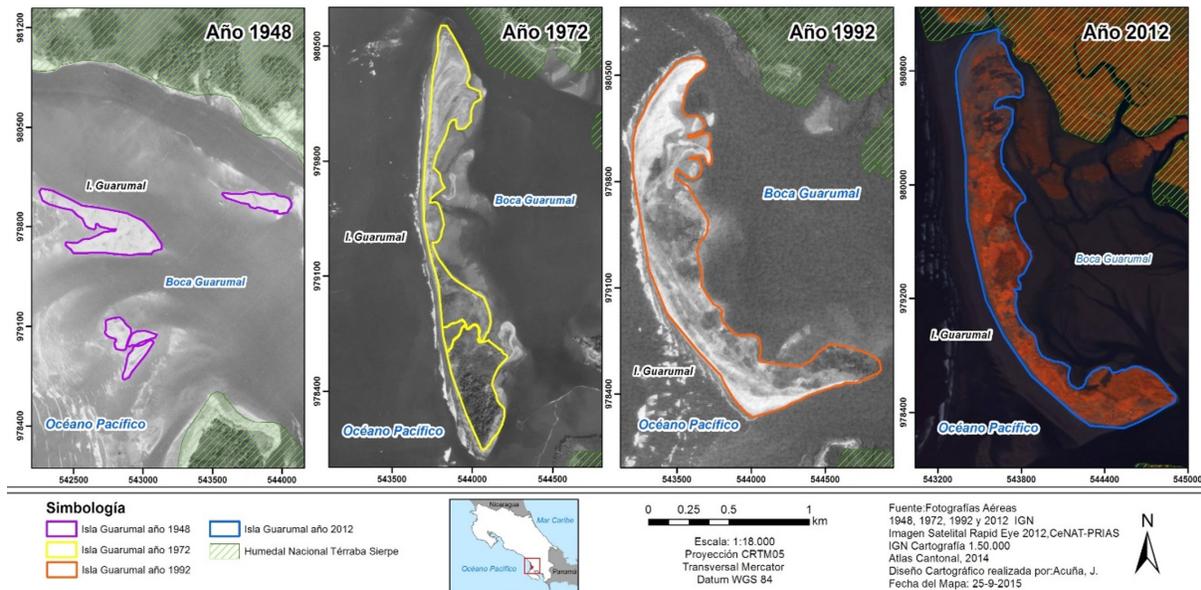
Figura 3. Cambios morfológicos en boca Guarumal entre 1948 y 2012.



En el análisis textural de los tres tipos de barras (submarinas, insulares y litorales) presentes en la isla Guarumal se evidencia la diferenciación que hay entre ellas, así como su dinámica. Las barras submarinas son la primera etapa de depósito donde se asientan los sedimentos de fondo y en suspensión, estas se desplazan hacia las costas, ya que las mareas influyen en el arrastre de material; en campo se observa que son barras recientes, presentan porcentajes altos de arena además bajos en limos y en arcillas y están dominadas por granulometrías gruesas y, en menor porcentaje, por las arenas medias y finas. Las barras insulares se definen como el resultado evolutivo de la barra submarina donde se inicia un afloramiento del material acumulado sobre el nivel del mar que forma islas; se determinó que para las barras insulares las muestras de sedimentos estuvieron dominadas en más del 90% por arenas. Las barras litorales se consideran como el proceso final en la consolidación de barras costeras, las cuales logran establecerse de forma paralela a la línea de costa con un origen basado en la saturación y la fijación de un basamento sedimentario; los muestreos realizados en las barras litorales presentaron variación en su contenido de arenas, limos y arcillas; aunque las arenas, al igual que en las barras anteriores, fueron dominantes.

Para 1972, en el sector norte se empieza a conformar una isla con presencia importante de barras insulares y litorales con dirección norte-sur, así como barras submarinas, que sumaban 120 ha. Por su parte, en el sector sur se da la desaparición de la barra que estaba consolidada, por lo que a su vez pierde la vegetación que la cubría, lo que quedó del resto del terreno pasa a tener depósitos de las tres diferentes tipologías de barras. A continuación, en 1992, en el sector norte, los materiales que conforman la isla siguen consolidándose, aunque perdiendo área correspondiente a barras submarinas y, a su vez, tomando una forma arqueada con dirección noreste. Es importante resaltar que a pesar de que en el periodo de 1972 a 1992 se da un proceso de erosión significativo, en la parte de la desembocadura del río Sierpe en el sector de Boca Guarumal, se presentó un proceso diferente, ya que se estabiliza el material sedimentario e inicia la consolidación de las barras litorales y se conforma la isla Guarumal, lo cual se debe a que las zonas sometidas a procesos erosivos también podrían mantener un proceso de depósito en sus áreas adyacentes, modificando sus extensiones originales. En el caso del sector sur, la isla muestra un patrón de estabilidad sin presencia significativa de barras de cualquier tipo. Cabe señalar que, para 1992, la isla Guarumal, con la presencia de las barras litorales, contaba con más de un 60% de terreno cubierto con vegetación, principalmente por pastos y especies colonizadoras propias de las áreas costeras, como *Uniola pittieri*, *Canavalia rosea* y *Entada polystachya*.

Finalmente, para el año 2012, el sector norte logra consolidarse como una isla firme con dirección noroeste denominada isla Guarumal, donde se aprecia vegetación homogénea en gran parte de su área, la cual alcanza 177 ha. También se observa en la isla un fuerte depósito de barras submarinas que la conectan en marea baja con el terreno firme de la planicie deltaica; todos estos procesos son promovidos por las mareas que se presentan en esta desembocadura y la interrelación con otros procesos como el aporte fluvial de las cuencas que alimentan el sistema deltaico (**Figura 4**).



**Figura 4.** Evolución geomorfológica de la isla Guarumal entre 1948 y 2012.

#### 4. Discusión

Los cambios en las formas de relieve de distintos deltas del mundo, a partir de la subsidencia tectónica, los cambios en el nivel del mar, modificaciones temporales en los patrones climáticos, así como los impactos directos e indirectos de las actividades humanas, como es el caso de la isla Guarumal en el delta Terraba-Sierpe, han sido ampliamente estudiados en otras latitudes del mundo (Evans, 2012). Para entender las problemáticas ambientales que se suscitan en los sistemas deltaicos a escala global, es importante analizar algunos casos de latitudes tanto tropicales como templadas para vincular sus dinámicas endógenas, exógenas y antrópicas.

En el mar Mediterráneo, durante los últimos 3000 años, han sido registradas las perturbaciones humanas en distintos deltas como el Ebro, Po, Arno y Ombrone, los cuales presentaron crecimientos marcados y sostenidos una vez que la población rural aumentó, el incremento de las descargas fluviales, el desarrollo tecnológico y la urbanización; lo que se contraponen con los últimos 50 años, donde se disminuyen las tasas de sedimentación, debido a la reforestación, retención por parte de distintos reservorios, regulación fluvial y dragado, lo que ha resultado en la erosión de los deltas y sistemas estuarinos; además queda claro que el Mediterráneo es considerado un punto caliente del calentamiento global con efectos directos en el cambio climático y aumento del nivel del mar (Anthony, Marriner & Morhange, 2014).

En el delta del río Po en Italia, las modificaciones realizadas por técnicos venecianos hace más de 2000 años modificaron, significativamente, la morfología original del delta y no es sino hasta la mitad del siglo XX cuando la progradación del delta era sostenida en el tiempo, dado el abundante aporte de sedimentos a este sistema fluvial por las intensas variaciones en la cobertura de bosques a usos agropecuarios durante este largo periodo; además, las mismas características morfológicas de este delta lo hacen el humedal más grande de Italia y, a su vez,



uno de los más afectados por la intervención humana debido a dragados, presiones antrópicas como la construcción de represas y la extracción de agua con metano, lo que ha favorecido la evolución geomorfológica de este delta (Simeoni & Corbau, 2009).

Por otro lado, al noreste del delta del río Nilo, los cambios geomorfológicos asociados con el aumento del nivel del mar, resultado del calentamiento global, se han vinculado como consecuencias de las actividades humanas, donde entre 1955 y 2002 se constató que la pesca, el reclamo de tierras, la urbanización, la producción de sal y la construcción de caminos redujo la superficie de la laguna costera de Manzala a menos de su 50% original (El Banna & Frihy, 2009).

Por otro lado, los deltas tropicales también presentan importantes impactos ambientales por las altas tasas de deforestación, sobreexplotación de los recursos naturales e intensas tasas de cambios en los usos de la tierra en países en desarrollo (Goudie, 1993). Los deltas que tienen mayores extensiones se vinculan con las regiones tropicales, donde ejemplos como el Amazonas, Ganges, Mekong, Mississippi, Orinoco, Indus, Níger, Nilo y Senegal están dentro de los primeros lugares en términos de área de sus planicies deltaicas (Evans, 2012). Un caso donde la degradación de las tierras como influencia antrópica directa ha variado las condiciones originales de un relieve tropical es el delta del río Níger en Nigeria, el cual, por la explotación del petróleo, así como por la rápida urbanización de la ciudad de Lagos, varió significativamente las características de las morfologías deltaicas (Oyegun, 1993).

Otro claro ejemplo de un delta tropical es expuesto por Brunier, Anthony, Goichot, Provansal & Dussouillez (2014), donde se asocian problemas de sobreexplotación de materiales del lecho del río del tercer delta más grande del mundo, el Mekong en Vietnam, como son la intrusión salina, así como la erosión costera y lateral de los ríos, además del impacto ecosistémico en las especies salobres del delta, por la construcción de represas hidroeléctricas en Laos, Tailandia, Camboya y Vietnam.

Paralelamente, tanto las consecuencias de los cambios futuros en el clima, así como en la dinámica de las actividades antrópicas, los deltas costeros van a responder con modificaciones significativas al calentamiento global en regiones tanto frías, tropicales o áridas, dependiendo de las variaciones de los patrones de precipitación, escorrentía y tasas de erosión a partir de los cambios en el uso de la tierra, por lo que los deltas expresarían cambios morfológicos a partir del efecto combinado del aumento del nivel del mar, la subsidencia local y la velocidad de acreción de sus sedimentos (Goudie, 2006).

Los efectos antrópicos que modifican los deltas no se circunscriben únicamente al efecto de los cambios en el uso de la tierra, sino que abarcan desde la construcción en levées como es el caso del delta del río Mississippi, la extracción de grandes cantidades de sedimentos del lecho del río, la construcción de represas que modifican el caudal de los afluentes del delta, el aumento de la deforestación que aumenta considerablemente el flujo de sedimentos, la contaminación de las aguas por la construcción de caminos, minas y las aguas residuales de ciudades; por otro lado, algunas prácticas positivas en términos ecológicos, como la reforestación, el cese de la actividad agrícola y la invasión de maleza en las cuencas altas más bien disminuyen el aporte de sedimentos y favorecen la erosión costera en los deltas, lo que afecta la agricultura y economías locales y aguas abajo en el delta (Evans, 2012). Por tanto, el análisis de los deltas debe verse desde un punto de vista holístico, donde se busque un manejo sustentable y sostenido en el tiempo, por medio de la gestión integral de cuencas hidrográficas.



Los factores que han influido de forma significativa en una dinámica que ha venido alternando entre la erosión y agradación de la línea de costa y, por consiguiente, de la morfología de isla Guarumal se podrían dividir en naturales y antrópicas. Las primeras han sido el aumento o descenso de la altura media de las mareas en diversos periodos (Lizano, 2015), las oscilaciones de precipitación, debido a la variabilidad climática producto del Fenómeno ENOS, condicionando periodos de fenómenos de El Niño (más erosión debido a un menor aporte fluvial) y La Niña (por el aumento en la sedimentación fluvial) en el delta Térraba-Sierpe (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2016).

Por otro lado, las razones de la creación de la isla se asocian con la actividad antrópica a partir de la década de 1950 en las subcuencas de los ríos General y Coto Brus (que conforman el río Térraba). Esta actividad del ser humano ha causado fuertes tasas de erosión por la agricultura de cultivos como la caña de azúcar, el café y la piña, además de un desarrollo de ganadería extensiva en laderas donde se propicia la reptación, la arroyada y escorrentía superficial (Krishnaswamy, Halpin & Richter, 2001; Quesada-Román, 2013); además de una intensa transformación e impacto ambiental por los acelerados cambios de los usos del suelo en la cuenca del río Grande de Térraba, que han provocado un mayor arrastre de sedimentos a partir del aumento de la frontera agrícola y la intensa deforestación desde la década de 1950, dada la explosión poblacional en la zona sur de Costa Rica (Cedeño et al., 2012).

No obstante, también hay que resaltar el papel de las políticas ambientales a partir de la década de 1990, ya que desde 1994, en este humedal inicia el proceso de categoría de área protegida, así como el desarrollo de varia legislación que resguarda el humedal como la Ley de Conservación de la Vida Silvestre (N.º 7317), la Ley Orgánica del Ambiente (N.º 7554) y la Ley Forestal (N.º 7575); además se otorgan diferentes ratificaciones entre ellas ser un sitio RAMSAR, establecido por la Ley N.º 7224, mediante el Convenio Internacional: La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Pizarro et al., 2004).

De acuerdo con Acuña-Piedra & Quesada-Román (2016), los escenarios de cambio climático para las próximas décadas indican que la región que comprende el delta Térraba-Sierpe sufrirá importantes reducciones en las precipitaciones. Esta proyección puede asociarse a una mayor erosión de las barras costeras de la isla, procesos del relieve constantes que han alternado con la sedimentación en este sistema deltaico en las últimas seis décadas, debido a la variabilidad climática y a los cambios en los usos de la tierra en las cuencas que alimentan la dinámica litoral. Por tanto, el sostenido monitoreo de los cambios en unidades de relieve cambiantes como la isla Guarumal justifican su importancia para los ecosistemas del humedal más grande de Costa Rica.

Características similares en los cambios geomorfológicos acaecidos en isla Guarumal han sido vistos en isla Damas en Quepos, donde se estudiaron 50 años de cambios a partir de registros fotográficos, entre ellos la obstrucción de la salida al mar del río Paquita, lo que ha llevado a procesos erosivos en la isla y ocasionado la pérdida de vegetación de mangle e inestabilidad de esta forma de relieve. Se consideraba que dadas las características mareográficas, así como su dinámica fluvial, los ríos Paquita y Parrita podrían generar procesos diferenciados de erosión y sedimentación en las futuras décadas (Lizano & Salas, 2001).



## 5. Conclusiones

La isla Guarumal llegó a nacer y desarrollarse hasta alcanzar 177 ha de extensión entre 1948 y 2012, 64 años en los que los cambios en el clima en temporalidades anuales y multidecadales asociadas al Fenómeno ENOS han modelado naturalmente estos ambientes fluviomarinos. También influyó su desarrollo la explosión urbana y el crecimiento poblacional a lo largo de las cuencas de los ríos General y Coto Brus que conforman el río Térraba, así como del río Sierpe, con la dinámica de cantones agropecuarios del sur de Costa Rica como Pérez Zeledón, Buenos Aires, Coto Brus y Osa, donde se generó, a partir de la década de 1950, una intensa deforestación promovida por el cambio en el uso de la tierra de bosques a pastos y zonas de cultivo. No obstante, no todo ha sido malo para el delta Térraba-Sierpe y la isla Guarumal, ya que a partir de 1990 se han desarrollado políticas ambientales que protegen sus humedales, especialmente el manglar y, por ende, favorecen a la estabilidad de esta nueva geoforma.

Para la salvaguarda futura de los ambientes de transición marino-costera, es fundamental el conocimiento y caracterización geomorfológica de los sistemas fluviomarinos para su evaluación y manejo, que no solo se limita a una descripción y delimitación de sus formas de relieve en un periodo de tiempo dado, sino que incluye un sopesado análisis ecológico, de la calidad de sus aguas y del impacto que pueden tener estas morfologías y ecosistemas por un mal manejo de las políticas públicas (Pye y Blott, 2014). Además, se requiere un mejor conocimiento de las fuentes de sedimentos fluviales y tasas de sedimentación costera en distintas escalas espaciales y temporales, entendimiento de los procesos morfodinámicos costeros y la determinación de los cambios en la línea de costa; esfuerzos que deben estar balanceados por estrategias de desarrollo económico que no solo beneficien a los desarrollos inmobiliarios costeros de alto costo, sino también a un turismo abierto, de bajo costo y con un valor ecológico (Anthony et al., 2014).

En diferentes países se ha partido de medidas de manejo que Simeoni & Corbau (2009) proponen como el no hacer nada, un manejo del retroceso o avance de las morfologías costeras, la introducción de medidas estructurales y la protección de ambientes naturales; donde una gestión integral de cuencas hidrográficas, así como de las zonas marino-costeras prive, antes que intereses políticos, socioeconómicos y culturales. Dichas medidas deben ser consideradas por las instancias responsables de la toma de decisiones a futuro. La tendencia acumulativa y de crecimiento de isla Guarumal se mantendría en el tiempo, mientras no se desarrollen fenómenos del Niño sostenidos por varios meses o años, ya que el aporte constante de sedimentos que actividades agropecuarias como el cultivo de la piña, caña de azúcar, arroz, café, pasturas, palma africana y otros cultivos se mantendría en los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, Coto Brus y Osa.

## 6. Referencias

- Acuña-Piedra, J. F. (2016). *Análisis espacio-temporal de la evolución geomorfológica, los cambios en el uso y cobertura de la tierra así como la distribución del mangle en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe en el periodo de 1948 – 2012* (Tesis de licenciatura). Costa Rica: Universidad Nacional.
- Acuña-Piedra, J. F., y Quesada-Román, A. (2016). Evolución geomorfológica entre 1948 y 2012 del delta Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Cuaternario y Geomorfología*, 30(3-4), 49-73. doi: <https://doi.org/10.17735/cyg.v30i3-4.53055>



- Anthony, E. J., Marriner, N., & Morhange, C. (2014). Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase? *Earth-Science Reviews* 139, 336–361. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.10.003>
- Bierman, P. R. y Montgomery, D. R. (2014). *Key concepts in geomorphology*. New York, US: W.H. Freeman and Company Publishers.
- Brunier, G., Anthony, E. J., Goichot, M., Provansal, M., & Dussouillez, P. (2014). Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation. *Geomorphology* 224, 177–191. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.009>
- Cedeño, B., López, A., Villalobos, E., & Hernández, A. (2012). Ejes modificadores de las condiciones biofísicas de la Cuenca del Río Grande de Térraba. *Revista Geográfica de América Central*, 1(48), 95-116.
- El Banna, M. M. & Frihy, O. E. (2009). Human-induced changes in the geomorphology of the northeastern coast of the Nile delta, Egypt. *Geomorphology*, 107(1-2), 72–78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.025>
- Evans, G. (2012). Deltas: the fertile dustbins of the continents. *Proceedings of Geologists Association*, 123(3), 397-418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.11.001>
- Goudie, A. (1993). Human influence in geomorphology. *Geomorphology*, 7(1-3), 37-59. doi: [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90011-P](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90011-P)
- Goudie, A. (2006). Global warming and fluvial geomorphology. *Geomorphology*, 79(3-4), 384-394. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.023>
- Krishnaswamy, J., Halpin, P. N. & Richter, D. D. (2001). Dynamics of sediment discharge in relation to land-use and hydro-climatology in a humid tropical watershed in Costa Rica. *Journal of Hydrology*, 253(1-4), 91-109. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00474-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00474-7)
- Lizano, O., & Salas, D. (2001). Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años de la Isla Damas, Quepos, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 49(2): 171-177.
- Lizano, O. G. (2015). La dinámica oceanográfica frente al Humedal Nacional Térraba-Sierpe y su relación con la muerte del manglar. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 29-46.
- Lugo, J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Ciudad de México, Mexico: Instituto de Geografía, UNAM.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2016). *ENSO Cold and Warm Episodes by Season*. National Weather Service, Climate Prediction Center.
- Oyegun, C.U. (1993). Land Degradation and the Coastal Environment of Nigeria. *CATENA* 20(3), 215-225. doi: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(93\)90001-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(93)90001-6)



- Ortiz, E. (2008). Cambios geomorfológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(15), 1-10.
- Pye, K., & Blott, S. J. (2014). The geomorphology of UK estuaries: The role of geological controls, antecedent conditions and human activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 150, 196-214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.05.014>
- Pizarro, F., Piedra, L., Bravo, J., Asch J., & Ash, C. (2004). *Manual de procedimientos para el manejo de manglares en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: EFUNA.
- Quesada-Román, A. (2013). Condición de uso de la tierra del distrito San Vito, Coto Brus, Puntarenas. *Revista Reflexiones*, 92(1): 47-64.
- Simeoni, U., & Corbau, C. (2009). A review of the Delta Po evolution (Italy) related to climatic changes and human impacts. *Geomorphology*, 107(1-2), 64-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.11.004>
- Trenhaile, A. (2004). Coastal geomorphology. En Routledge, A. Goudie (Eds.), *Encyclopedia of Geomorphology*. England: Taylor & Francis Group.
- United States Department of Agriculture. (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual* (R. Burt, Ed.), Soil Survey Investigations, Report N.º 42, Versión 4.0. United States.