



**Evolución geomorfológica entre 1948 y 2012 del delta Térraba-Sierpe, Costa Rica.**

*Geomorphological evolution between 1948 and 2012  
of the Térraba-Sierpe delta, Costa Rica.*

Acuña-Piedra, J.F.<sup>(1)</sup>; Quesada-Román, A.<sup>(2)</sup>

(1) Laboratorio PRIAS del Centro Nacional de Alta Tecnología, Pavas, San José, Costa Rica.  
Apartado postal: 174-1200 Pavas. E-mail: [fran1993piedra@gmail.com](mailto:fran1993piedra@gmail.com)

(2) Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.  
Campus Omar Dengo, Apartado postal: 86-3000. E-mail: [adolfo.quesada@gmail.com](mailto:adolfo.quesada@gmail.com)

**Resumen**

El delta Térraba-Sierpe está localizado en las coordenadas geográficas 8° 47" Latitud Norte y 83° 38" Longitud Oeste al sureste de Costa Rica. Es un sistema deltaico conformado por los sedimentos de la cuenca hidrográfica más grande del país (Térraba) y el río Sierpe, los cuales modelan una serie de canales de meandros donde domina la vegetación de manglar. Este complejo fluvio-marino ha tenido importantes cambios en su morfología en las últimas décadas debido a las variaciones en las tasas de sedimentación por la variabilidad climática y los cambios de uso del suelo en las cuencas media y alta de los ríos Térraba y Sierpe. Para reconstruir la evolución geomorfológica de las seis bocas del delta: Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal y Sierpe; se ha utilizado una metodología basada en la fotointerpretación y análisis de cuatro imágenes aéreas de los años 1948, 1972, 1992 y 2012. Además se analizó la textura de suelos y la granulometría de arenas de los tres tipos de barras costeras del delta: submarinas, insulares y litorales. La importancia de este trabajo radica en el estudio de los cambios morfológicos ocurridos en un delta tropical amenazado por los impactos ambientales y los cambios en el clima durante 64 años.

**Palabras clave:** Geomorfología costera; fluvio-marino; erosión; sedimentación; desembocadura

**Abstract**

The Térraba-Sierpe delta is located at the geographic coordinates 8° 47" North Latitude and 83° 38" West Longitude at the southeast of Costa Rica. It is a delta system formed by the sediments carried from the largest river basin in the country (Térraba), and the Sierpe River. These rivers have modeled a meandri-form drainage pattern where it dominates the mangrove vegetation. This fluvio-marine complex has had major morphology



modifications due to the alteration in sedimentation rates by climate variability and land use changes in the middle and upper basins of the Térraba and Sierpe rivers. For the reconstruction of the geomorphological evolution of the six delta mouths: Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal and Sierpe; it was used a methodology based on photointerpretation and analysis of four aerial images of the years 1948, 1972, 1992 and 2012. In addition, were analyzed the texture and grain sand distribution from the three types of coastal bars of the delta: submarine, insular, and littoral. The importance of this work lies in the study of morphological changes in a tropical delta threatened by environmental impacts and changes in the climate over 64 years.

**Keywords:** Coastal geomorphology; fluvio-marine; erosion; sedimentation; river mouth

## 1. Introducción

El sistema deltaico de Térraba-Sierpe se ubica al sureste de Costa Rica (Figura 1), en el área protegida del Humedal Nacional Térraba Sierpe (HNNTS), que se localiza en las coordenadas geográficas 8° 47" Latitud Norte y 83° 38" Longitud Oeste (BIOMARCC-SINAC-GIZ, 2012). El HNNTS tiene una extensión de 24.360,5 ha, sin embargo, este estudio solo contempla el área de manglar y las bocas que conforman el delta que es de aproximadamente 14.880 ha (Mainardi, 1996). En el delta Térraba-Sierpe domina una amplia planicie costera y un patrón de drenaje meandriforme con alternancia de barras costeras vegetadas por densos manglares (Scheffers y Browne, 2010). La dinámica que influye en mayor medida los sistemas deltaicos, está determinada a partir de los agentes que los modela, sea por las olas, los aportes fluviales o las mareas (Gutiérrez-Elorza, 2008). Por tanto, los cambios mareales son los que modelan con mayor intensidad el delta Térraba-Sierpe ya que se observa la formación de varias bocas en la desembocadura así como canales amplios y erosión hacia el interior de la llanura deltaica. Se tienen documentadas seis bocas en el delta: 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; Mora, 2013).

El delta Térraba-Sierpe se ha mantenido entre procesos de progradación en momentos de constante sedimentación, variando a procesos de agradación durante lapsos de intermitencia en la descarga fluvial (Furukawa y Wolanski, 1996; Evans, 2012). Los factores que han influido de forma significativa en estos procesos son la dinámica costera ya que hay un aumento en la altura de las mareas pasando de un promedio de 2,87 m como máximas a 3 m de altura para los años 1997, 1998, 2002, 2006 y 2010 (Lizano, 2015), así como las oscilaciones de precipitación debido a la variabilidad climática producto del Fenómeno ENOS, con más lluvias durante La Niña o incluso sequías durante periodos de El Niño en el Pacífico Sur de Costa Rica (NOAA, 2016). También deben tomarse en cuenta los procesos acelerados de 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.*, 2010). Estas condiciones han influido una leve estabilidad en la llanura deltaica. El objetivo de este trabajo es estudiar los cambios durante 64 años en la morfología del delta que conforma el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, y entender cómo la dinámica antrópica y natural han modelado el relieve de este sistema fluvio-marino.

### 1.1. Marco geológico

El sur de Costa Rica incluyendo el delta Térraba-Sierpe resulta de una configura-

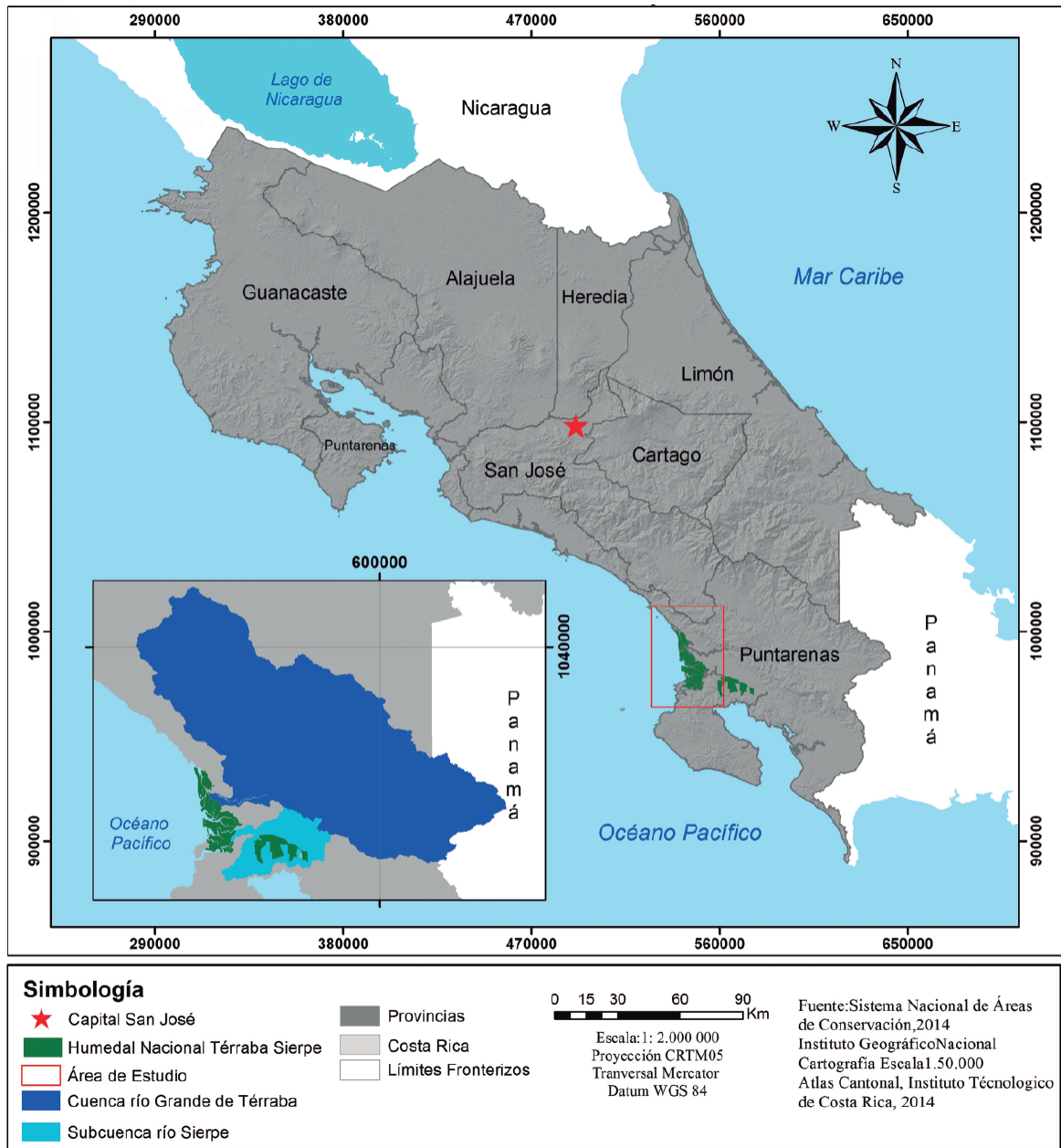


Figura 1. Localización del delta y Humedal Nacional Térraba - Sierpe en el contexto regional.

Figure 1. Location of Térraba-Sierpe delta and Wetland in the regional context.

ción 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 (incluyendo la península de Osa y el delta), además de un sistema de fallas regionales transcurrentes asociadas a la placa de Panamá que tienen implicacio-

nes directas e indirectas en la sismicidad de la región (DeMets et al., 1990; Bird, 2003). Las estructuras disyuntivas que constituyen las regiones adyacentes al delta se circunscriben en una amplia falla inversa con dirección NW-SE que funge como límite entre la Fila o Cordillera Brunqueña de origen sedimentario

del Mioceno con un intenso plegamiento y fracturación de las rocas que la constituyen. Por otro lado, a lo largo del delta se desarrollan una serie de fallas normales e inferidas con orientaciones NW-SE. Por último, en el límite entre el delta y el mar se evidencia una serie de fallas transcurrentes sinestrales además de un movimiento vertical relativo positivo desde el mar hacia el delta (Denyer et al., 2003).

Por su parte la litología que conforma el delta y sus regiones circundantes se componen de basaltos toleíticos del Cretácico (~140-88 Ma) en las cercanías de Golfito. Seguido en edad están los basaltos toleíticos que constituyeron islas oceánicas acrecionadas (~70-40 Ma) como la isla Violín y buena parte del basamento del delta. Hacia el sur en la Península de Osa aflora un melange que es parte del Complejo acrecional Osa-Burica con edad del Paleoceno y Mioceno. Estratigráficamente, la Formación Armuelles con edad del Plio-Pleistoceno consta de areniscas, lutitas y conglomerados litorales y sublitorales (Denyer y Alvarado, 2007). Geológicamente, la capa superior del delta se caracteriza por ser de origen reciente, su formación data del periodo Cuaternario, y está constituida por una planicie aluvial, donde se encuentran marismas, pantanos permanentes o temporales, la llanura aluvial con influencia marino-costero, así como el delta de los ríos Grande de Térraba y Sierpe (Kappelle et al., 2002).

## 2. Metodología

### 2.1. Procesamiento de imágenes aéreas

El inicio del trabajo consistió en la georeferenciación y fotointerpretación de tres fotografías aéreas de los años 1948, 1972 y 1992 a escala 1:50.000, 1:20.000 y 1:6.000 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 delimitó el área de estudio mediante la fotointerpretación en el software ArcMap de ESRI versión 10.3.1, para el caso de las fotografías aéreas se digitalizó a escala 1:2.000 y para la imagen satelital 1:3000. Con este procesamiento se lograron obtener las diferentes extensiones del delta para los cuatro años de análisis y visualizar los cambios en sus morfologías durante seis décadas de estudio. Todo este trabajo fue verificado en campo.

### 2.2. Análisis de las imágenes aéreas; caracterización y evolución geomorfológica

Después se realizó una identificación de las morfologías que se encontraban en la desembocadura del sistema deltaico. Estas fueron caracterizadas de acuerdo a su textura, forma, color y cobertura de vegetación. Siguiendo esta metodología las barras costeras se pudieron clasificar en submarinas, insulares y litorales (Lugo, 2011) (Figura 2). De esta manera se lograron cartografiar los tres tipos de barras a través del periodo de análisis (Figura 3) y generar una cronología de los cambios de las barras en el delta para cada una de las seis bocas que lo conforman, información corroborada mediante el trabajo de campo durante enero de 2016.

### 2.3. Análisis de textura de suelos y granulometría

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 (Figura 3). 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 el método granulométrico (determinación de los porcentajes de cada tipo de arena); para este último método se utilizaron seis tamices: N°10 (2 mm),

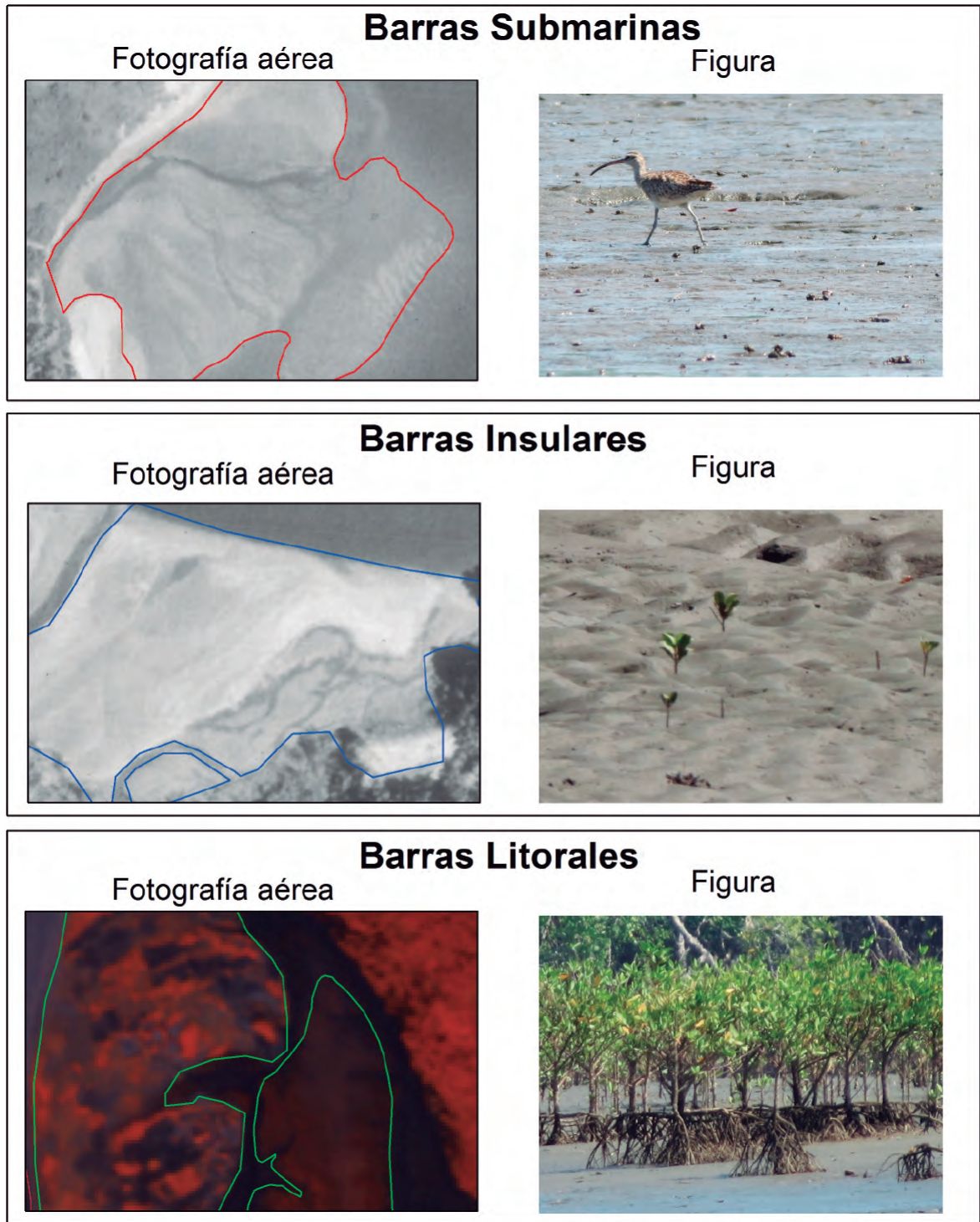


Figura 2. Vista en imagen aérea y en campo de los tres tipos de barras costeras.  
*Figure 2. Aerial and field images of the three coastal bar types.*

N°13 (1,4 mm), N°35 (0,5), N°60 (0,25 mm), N°120 (0,125 mm), N° 170 (0,09 mm) y N°230 (0,063 mm). Para este último se dividen en arenas gruesas de (2-0,5 mm), arenas medias (0,5-0,25 mm) y por último arenas finas (0,25-0,063 mm; USDA, 2004; Buol *et al.*, 2008). El conjunto de análisis, trabajo de campo y foto-interpretaciones, permitió conocer los procesos de formación de las barras costeras y caracterizar la evolución geomorfológica de cada una de las bocas del delta.

### 3. Resultados

#### 3.1. Cambios en la dinámica deltaica

Para cada periodo de análisis se obtuvieron diferentes extensiones del delta, que debido a los procesos de agentes modeladores como lo son las olas, los tipos de sedimentos fluviales y las mareas a las que está expuesto pueden variar sus morfologías hacia su crecimiento o retroceso (Zaldívar, 2004). Para analizar la pérdida o ganancia de superficie del delta Térraba-Sierpe se tomaron los datos de su área, tanto el terreno de la llanura deltaica como de las barras costeras y se compararon entre sí (Figura 4).

Los resultados indican que el año en el que el delta presenta mayor extensión superficial (llanura deltaica + barras costeras) fue 1948 ya que contaba con 14.583,14 ha, seguido por 1972 con 14.035,63 ha, mientras que el año con menor extensión fue 1992 con 13.298,66 ha, sin embargo, se debe considerar que para este año la información es incompleta con respecto a las fotografías aéreas para el sector norte del área de estudio debido a importantes manchas nubosas. Al comparar los datos de 2012 con respecto a los de 1992 se determinó que este fue el único periodo donde hubo ganancia de terreno, ya que se recuperaron 613,07 ha de área del delta, mientras que en los años anteriores se perdió superficie continuamente. Al analizar por separado las barras costeras y la planicie deltaica se encontró que las barras empiezan a aumentar su área desde 1972, alcanzando su mayor

extensión superficial en 2012, mientras que la planicie deltaica empieza un retroceso en los primeros 44 años (1948-1992), para posteriormente iniciar un crecimiento continuo a partir de 1992. Es importante resaltar que aunque hubo ganancia de terreno en el último periodo, no aumentó el área del humedal lo suficiente como para igualar el área de 1948 (Figura 5).

#### 3.2. Composición granulométrica de las barras costeras

A partir de la interpretación de las imágenes aéreas, el trabajo de campo y los resultados de laboratorio de la textura de los sedimentos, se pudieron identificar las características granulométricas de los tres tipos de barras identificadas (submarinas, insulares y litorales). 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. Esto puede observarse en mareas bajas y en algunos casos en forma de pequeñas crestas que se asoman sobre el nivel del mar (Furukawa y Wolanski, 1996; Lugo, 2011). En el delta Térraba-Sierpe además se caracterizan por la ausencia de vegetación, la presencia de formas asimétricas y su aparición en superficie depende de las variaciones mareales a lo largo del día, dadas las condiciones mesomareales del pacífico costarricense (Mainardi, 1996). En campo se observa que son barras recientes, presentan porcentajes altos de arena además bajos en limos así como en arcillas, y están dominadas por granulometrías gruesas y medias (primeras dos muestras) en una barra submarina con un aporte mareal y fluvial constante en la actualidad, lo que explica los tipos de arena prevalecientes, mientras que en la muestra BS8 las arenas finas indican un proceso de transición hacia una barra de tipo insular dada su localización en una cala al interior de la boca Guarumal. A partir de la granulometría asociada al triángulo de textura, evidencia que las tres muestras recolectadas son suelos arenosos (Tabla 1).

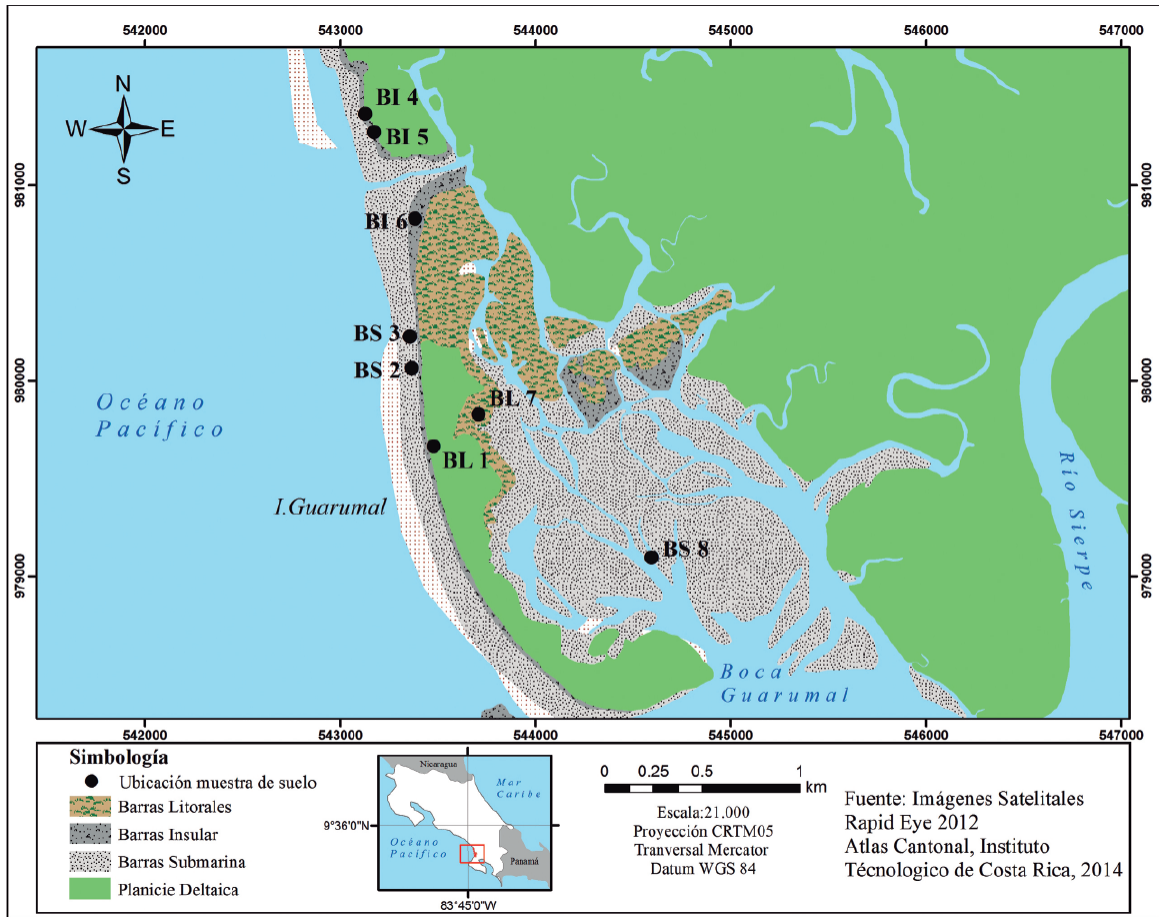


Figura 3. Localización de los puntos de muestreo de suelos y arenas.

Figure 3. Location of the soils and sands survey points.

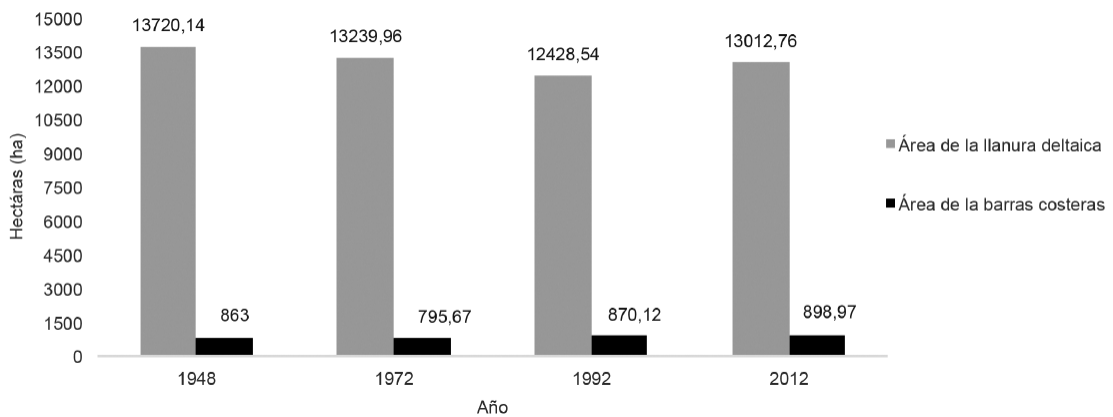


Figura 4. Área en hectáreas (ha) de la llanura deltaica y las barras costeras del delta Térraba-Sierpe para el periodo de 1948 al 2012.

Figure 4. Area in hectares (ha) of the deltaic floodplain and the coastal bars of the Térraba-Sierpe delta for the period of 1948 to 2012.

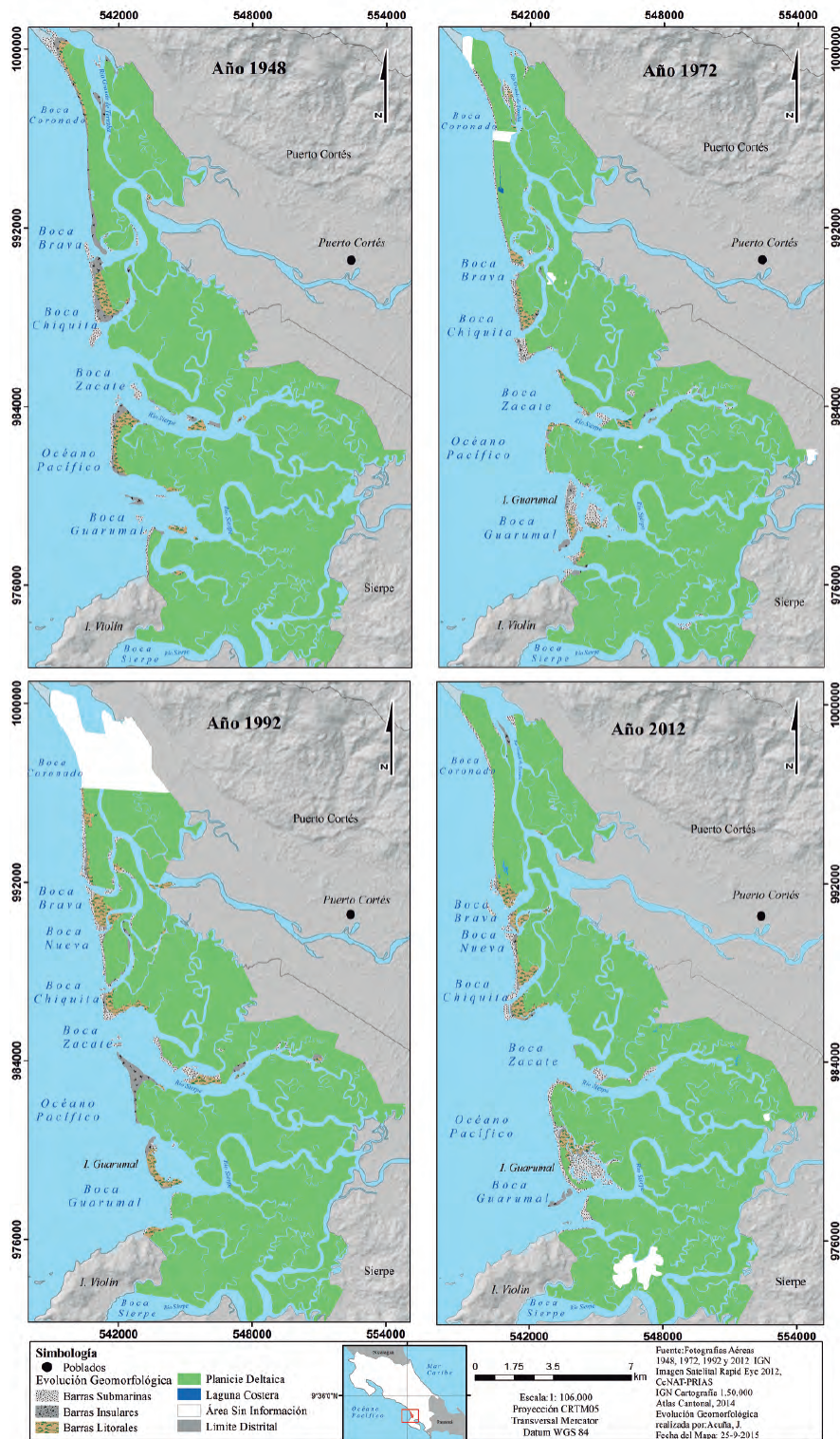


Figura 5. Evolución geomorfológica para el delta Terraba Sierpe para el periodo de 1948 a 2012.  
 Figure 5. Geomorphological evolution for the Terraba-Sierpe delta for the period of 1948 to 2012.



Tabla 1. Textura de las barras submarinas.

Table 1. Submarine bars texture.

Muestras de barras Submarinas	Método de Bouyoucos	Método granulométrico (% de arenas)	Tipo de suelo (Triángulo de textura)
BS2	98% arena 1% limo 1% arcilla	59,92% gruesas 34,92% medias 2,62% finas	Arenoso
BS3	98% arena 0% limo 2% arcilla	1,94% gruesas 64,95% medias 32,2% finas	Arenoso
BS8	93% arena 4% limo 3% arcilla	9,33% gruesas 14,43% medias 74,74% finas	Arenoso

Por otro lado, 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, formando islas en algunos casos. También pueden formarse lejos de la costa mediante la dinámica de corrientes transversales de depósitos hacia el talud submarino (Lugo, 2011). Esta categoría de barra se puede apreciar como cúmulos de sedimentos litorales más densos y canales de agua que las atraviesan (Brander, 2004), asimismo son barras que tienen una cubierta de vegetación incipiente dada su granulometría arenosa y su situación de insularidad por encima del nivel del mar. Se determinó que para las barras insulares las muestras de sedimentos estuvieron dominadas en más del 90% por arenas, lo cual mediante el triángulo de texturas es considerado como suelos arenosos. A pesar de ser similares a las barras submarinas, estas se distinguen por presentar una granulometría donde predominan las arenas finas y medias, el desarrollo inicial de la vegetación y con una leve elevación mayor observada en su textura que favorecen su estabilidad relativa (Tabla 2).

Por su parte, 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 (Lugo, 2011). Además se caracterizan por presentar crestas distintivas, divididas en las que tienen pendientes más pronunciadas hacia el lado de

tierra firme y las de pendientes bajas hacia el mar (Brander, 2004). Para el caso del delta Térraba-Sierpe las barras litorales están cubiertas por vegetación fortaleciendo su basamento. 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. Por lo tanto, el punto BL1 fue establecido como suelos arenosos mientras que el punto BL7 fue clasificado como franco arenoso. Este último se caracteriza por presentar más limos, ocasionando un equilibrio en la textura del suelo arenoso haciendo que sea más estable y a la vez más denso, lo cual limita el lavado del material (Gisbert *et al.*, 2009). En cuanto a la granulometría, las barras litorales se encuentran dominadas por arenas finas, seguidas por las arenas medias y con menor porcentaje las gruesas (Tabla 3).

Tabla 2. Textura de las barras insulares.

Table 2. Insular bars texture.

Muestras de barras Insulares	Método de Bouyoucos	Método granulométrico (% de arenas)	Tipo de suelo (Triángulo de textura)
BI4	95% arena 2% limo 3% arcilla	3,19% gruesas 48,97% medias 45,82% finas	Arenoso
BI5	95% arena 3% limo 2% arcilla	2,57% gruesas 29,74% medias 65,83% finas	Arenoso
BI6	95% arena 2% limo 3% arcilla	0,25% gruesas 44,43% medias 53,51% finas	Arenoso

Tabla 3. Textura de las barras litorales.

Table 3. Littoral bars texture.

Muestras de barras Litorales	Método de Bouyoucos	Método granulométrico (% de arenas)	Tipo de suelo (Triángulo de textura)
BL1	91% arena- 7% limo 2% arcilla	0,4% gruesas 35,11% medias 62,12% finas	Franco
BL7	65% arena- 20% limo 15% arcilla	0,54% gruesas 6,46% medias 91,31% finas	Franco arenoso

Entre la vegetación identificada que cubre las barras litorales están las gramíneas, como la especie *Uniola pittieri*, esta es una

planta que alcanza hasta 15 cm de altura con reproducción por medio de estolones y es predominante en playas arenosas (Hammel *et al.*, 2003), además de bejucos como la *Canavalia rosea* y la *Entada polystachya* que se distribuyen en todo el país, pero tienden a colonizar espacios húmedos (Hammel *et al.*, 2010). También, en algunos sectores se identificó *Rhizophora mangle* y *Rhizophora racemosa* con individuos aislados dentro del sedimento.

### 3.3. Evolución geomorfológica de las bocas del delta Terraba - Sierpe

Los deltas son formas del relieve muy dinámicas que alternan entre el depósito y la erosión dependiendo de los factores o agentes modeladores que intervengan en su evolución (Evans, 2012). El sistema deltaico Terraba - Sierpe ha tenido una activa dinámica estudiada en este trabajo desde 1948 que ha provocado la pérdida y aumento de terrenos, así como variaciones en los tipos y movimientos de los sedimentos que han generado diferentes formas de relieve en el cordón litoral, además de modificar sus bocas. Por lo tanto, se parte de caracterizar las desembocaduras de norte a sur iniciando con las bocas Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal y Sierpe.

#### 3.3.1. Boca Coronado

Esta boca ha sido una de las que se han visto menos modificadas a los procesos erosivos del delta, lo cual puede estar relacionado con la formación de una flecha de arena consolidada en la desembocadura del río Grande de Terraba, logrando que el resto del terreno se haya protegido de la acción erosiva de las corrientes y mareas que afectan al delta. Su estabilidad también se asocia a un sistema de fallas inversas activas que atraviesan la región, donde el bloque levantado es el que tiene la dirección noreste y el que se encuentra hundido hacia el sureste, ubicado en el humedal, lo cual ha favorecido el depósito de

material (Denyer *et al.*, 2003). En 1948 esta boca tenía los tres tipos barras en la parte norte, con un orden secuencial de barras litorales, insulares, así como barras submarinas, además de algunos otros bancos de sedimentos en medio del cauce del río (Figura 6). Para este momento, la barra insular es la que cubría una mayor longitud, de aproximadamente 7 km, y entre 155 m y 300 m de anchura. Le seguían las barras litorales que presentaban una longitud de 4,5 km y un ancho que rondaba entre 50 m y 350 m, y por último las barras submarinas tenían 2,5 km de longitud y de 40 m a 500 m de ancho. En 1972 se presentó una mayor cantidad de barras submarinas junto con un retroceso de las barras litorales e insulares, traducido en más depósitos sin consolidar. Esto a su vez está relacionado con el auge de las actividades agropecuarias en las cuencas para ese periodo, tendencia observada en otros deltas del planeta (Evans, 2012). En 1992, al presentarse una falta de fotografías aéreas queda un vacío de información debido a una gran mancha de nubes y es en 2012 cuando esos sectores con barras submarinas (que estaban hace 40 años) logran consolidarse con vegetación y pasar a ser barras litorales (Figura 6).

#### 3.3.2. Boca Brava

Esta desembocadura ha tenido una fuerte dinámica tanto erosiva como acumulativa que ha provocado varios cambios en el aspecto físico del cordón litoral. En 1948 presentaba en la parte norte de la boca un área cubierta de barras insulares con 4,2 km de longitud y un ancho que rondaba entre los 100 m y los 220 m, así como pequeños bancos de sedimentos que forman barras submarinas de carácter aislado (Figura 7). Para el año de 1972, se produjo una intensa erosión en la parte norte de la boca, en la sección que estaba ocupada por barras insulares y estas pasan a conformar barras submarinas e insulares que no superan los 40 m de ancho. En cuanto al segmento sur, para ese año se evidencia una dinámica igualmente erosiva removiendo las barras litorales e insulares con una pérdida de

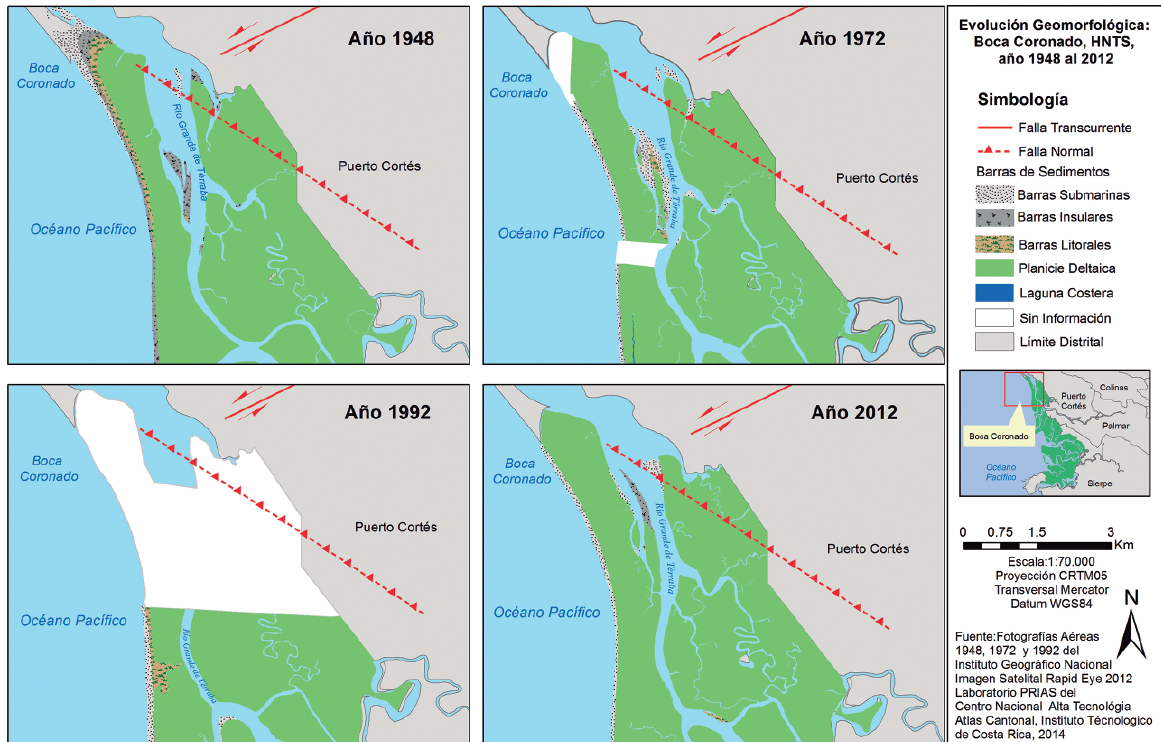


Figura 6. Evolución geomorfológica de boca Coronado.  
Figure 6. Geomorphological evolution of Coronado mouth.

530 m de ancho y 1,5 Km de longitud, para pasar a ser ocupado por barras submarinas (Figura 7). En 1992, en la sección norte de la boca las barras submarinas e insulares logran estabilizarse hasta alcanzar una cobertura homogénea, mientras que en la región sur el paisaje se fragmenta y se origina una nueva boca denominada como Boca Nueva. Para el 2012 la parte norte gana terreno y se conforma una pequeña laguna costera asociada al Fenómeno de la Niña que ocurrió entre 2010 y 2012 (NOAA, 2016) y en la parte sur con la apertura de la nueva boca se observa gran material acumulado donde predominan las barras litorales (Figura 7).

### 3.3.3. Boca Chiquita

Para 1948 se observaba en el sector norte la presencia de los tres tipos de barras, con un predominio de las barras litorales con hasta 500 m de ancho, seguidas de las barras insu-

lares con aproximadamente 4 km de longitud. Por otro lado en el sector sur, se daba una estabilidad del terreno evidente en un sector de planicie deltaica con vegetación densa. Durante el periodo de 1948-1972 se presentaron intensos periodos de la Niña durante 1954-1956 y varios años (1959-1963, 1966-1967) con anomalías normales en la temperatura superficial del mar, lo que favoreció un ingente aporte de sedimentos de las cuencas altas y medias al delta Térraba-Sierpe (NOAA, 2016). Además hay que considerar que la década de 1960 fue una de las de mayor deforestación en el sur de Costa Rica, dada su tardía colonización agrícola (Zahawi et al., 2015). Por dichas razones para 1972 la parte norte fue fuertemente erosionada, desapareciendo casi en su totalidad las barras submarinas e insulares presentes en 1948 y se pierde la estabilidad que presentaba el sector sur, que pasa a ser ocupado por barras submarinas e insulares. En los siguientes 20 años (1972-

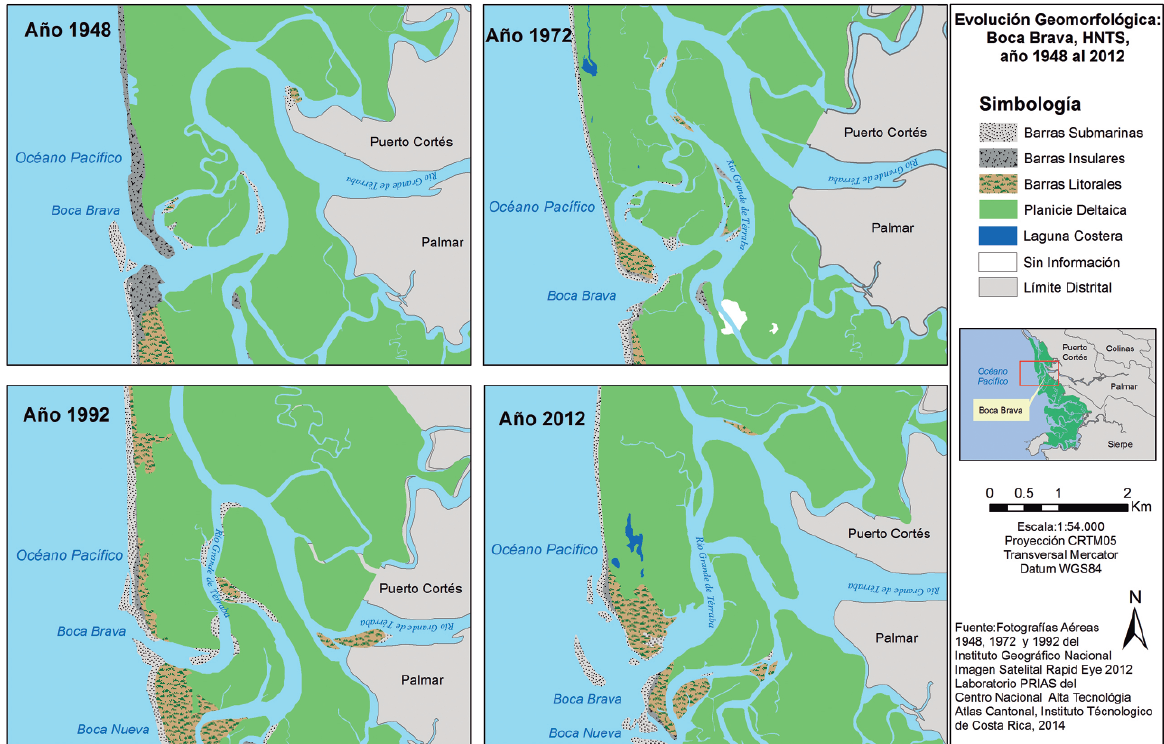


Figura 7. Evolución geomorfológica de boca Brava.  
 Figure 7. Geomorphological evolution of Brava mouth.

1992) se aprecia una dinámica orientada hacia la consolidación de la parte tanto sur como norte. La parte norte que estaba ocupada por barras litorales se estabiliza y pasa a conformar terreno firme con vegetación homogénea, y en el segmento sur las barras submarinas e insulares pasan a formar barras litorales, probablemente asociadas con un par de décadas cálidas (1970 y 1980) e incluso con influencia del Fenómeno del Niño durante varios periodos: 1972-1973, 1976-1978, 1982-1983, 1986-1988, y 1991-1992 (NOAA, 2016). En el último periodo (1992-2012), se evidencian nuevamente procesos de erosión y con un paisaje similar al de 1948 en el sector norte, con una secuencia de los tres tipos de barras, aunque para este último periodo su dirección está mejor definida cumpliendo el patrón de oleaje noroeste (Lizano, 2015). Por otro lado, en el sector sur se da un patrón similar al de 1992 pero con una clara expansión de las barras litorales (Figura 8).

### 3.3.4. Boca Zacate

Esta se considera como una de las bocas más dinámicas en el delta, la cual ha presentado fuertes procesos erosivos provocando pérdidas importantes de terreno de la planicie deltaica. Para 1948 en la parte norte se da una sedimentación aislada con los tres tipos de barras, y por el contrario en el sector sur se da un depósito significativo ocupado de igual forma por los tres tipos de barras, dominado en anchura por las barras litorales con más de 650 m de amplitud y a nivel de longitud predominan las barras insulares con alrededor de 2 km de extensión (Figura 9). Para el año 1972, en el sector norte se presenta una erosión rápida comparada con 1948 y a su vez cercana a la desembocadura del río Sierpe donde se encontraban los sedimentos aislados se empieza a formar una nueva barra. Por otro lado, en el sector sur tanto la barra litoral como insular se fijan y pasan a ser ocupadas por vegetación de *R. racemosa* con

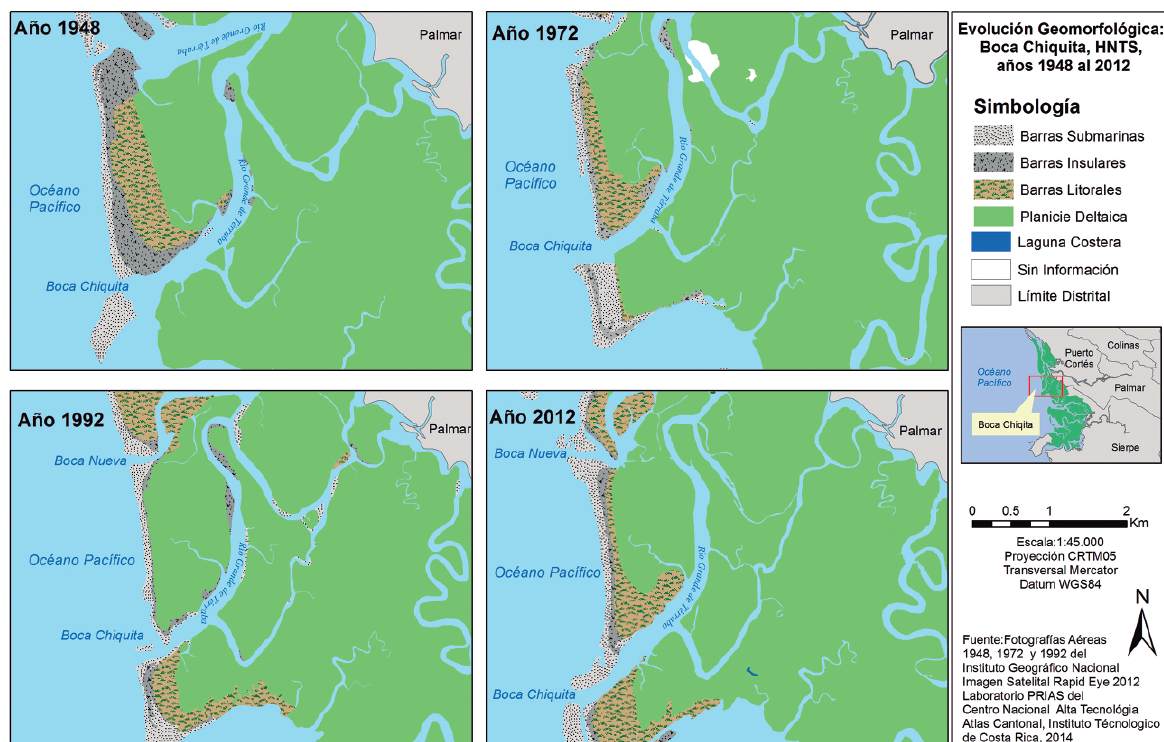


Figura 8. Evolución geomorfológica de boca Chiquita.  
 Figure 8. Geomorphological evolution of Chiquita mouth.

estructura homogénea (Figura 9). Para 1992, boca Zacate muestra una similitud con 1972, donde la erosión en el sector norte se siguió presentando y la barra sigue en proceso de consolidación con predominio de barras litorales. Este proceso probablemente asociado con el aumento de la temperatura promedio del agua superficial del mar durante las décadas de 1970 y 1980, e incluso con influencia de varios fenómenos del Niño (NOAA, 2016). En la zona sur el terreno consolidado aumenta y aunque se forma una barra insular de 104 ha que abarca una gran superficie, se sigue un patrón en dirección noroeste asociado a la trayectoria del oleaje (Lizano, 2015). En el caso del año 2012, esta boca sigue perdiendo terreno en la parte norte y se consolida la barra cercana a la desembocadura del río Sierpe y esta pasa a tener vegetación homogénea. En cuanto al sector sur la erosión no se desarrolló en el terreno consolidado sino en la barra insular mencionada, la cual desa-

parece por completo probablemente debido a que las décadas de 1990 y 2000 fueron ligeramente más cálidas que el promedio de la temperatura superficial del mar lo que disminuye las precipitaciones y aumenta los procesos erosivos en el delta (Figura 9). Los resultados de boca Zacate fueron comparados con los trabajos de Mora (2013) y Silva et al. (2015), los cuales a pesar de hacer una reconstrucción histórica de los cambios en dicha boca, solamente caracterizaron las áreas de playón expuestas o de barras de arena que aumentaron a lo largo de los años desde 1948 hasta 2011, sin hacer una evolución geomorfológica de los cambios en las barras costeras particularizadas como si se pudo realizar en este trabajo.

### 3.3.5. Boca Guarumal

Esta boca es un caso peculiar en comparación a las otras desembocaduras, ya que en la par-

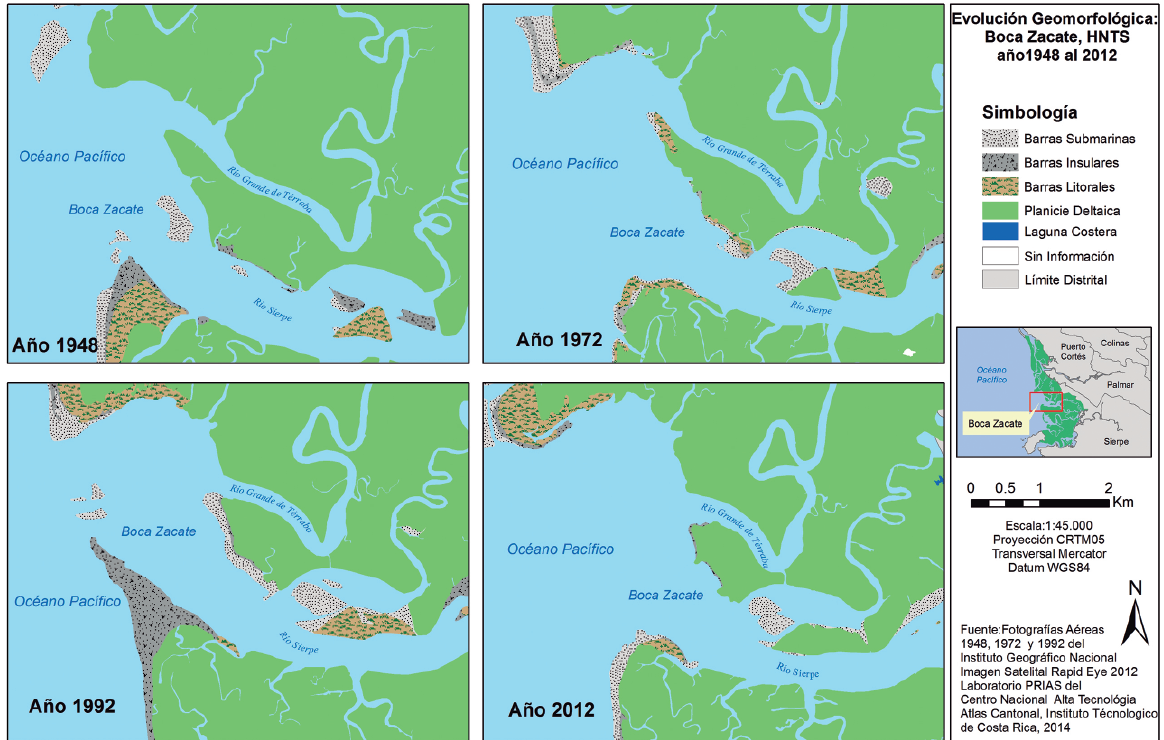


Figura 9. Evolución geomorfológica de boca Zacate.  
 Figure 9. Geomorphological evolution of Zacate mouth.

te norte se conformó una isla en un periodo de 40 años, en 1948 no existía ninguna isla sino solamente pequeños bancos de sedimentos aislados. 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 (Figura 10). 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, el sector sur con la desaparición de la barra el 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. En el caso del sector sur, la isla muestra un patrón de estabilidad sin presen-

cia significativa de barras de cualquier tipo. 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 10). El sector sur, se mantiene estable en cuanto a la dinámica de sedimentación. Las razones de la creación de la isla Guarumal 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 antrópica ha causado fuertes tasas de erosión causada 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 et al., 2001; Quesada-Román, 2013). A esta condición de modificación antrópica se le suman intervalos con variación en las temperaturas superficiales del mar, condicionando periodos de fenómenos del Niño (más erosión dada el menor aporte fluvial) y Niña (dado el aumento en la sedimentación fluvial) en el delta Térraba-Sierpe (NOAA, 2016).

### 3.3.6. Boca Sierpe

Es la desembocadura más estable de las seis (Figura 11), sin cambios significativos en el paisaje, presentando solamente algunas pequeñas variaciones en los meandros del humedal siendo estos procesos habituales de los deltas (Evans, 2012). El comportamiento

estable de esta boca está relacionado con la isla Violín, que es una formación rocosa que corresponde al Cretácico con una geología similar a la de la Península de Osa de Costa Rica, y con dimensiones de 6,5 km de longitud, 3,2 km de ancho y 250 msnm de altitud. Esta isla funciona como una barrera contra las corrientes oceánicas, y ha sido clave para la formación del delta Térraba-Sierpe ya que detrás de la estructura rocosa se crea un asentamiento de sedimentos (Brenes y Solano, 1993).

## 4. Discusión y Conclusiones

El análisis de texturas y granulometría de las diferentes barras costeras coincide con los resultados de Silva et al. (2015), donde dominan las arenas en distintos sectores de boca Zacate, una de las seis bocas del delta, y a su vez este resultado confirma la dinámica y evolución geomorfológica de las barras submarinas, insulares y submarinas del delta

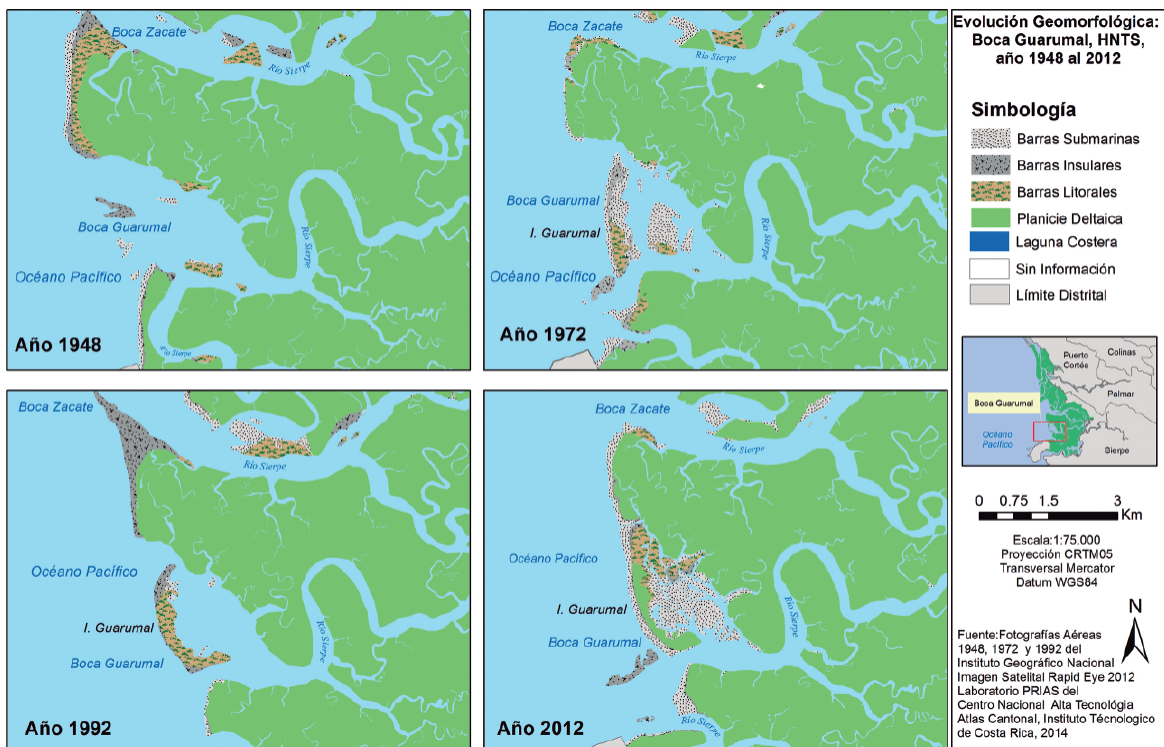


Figura 10. Evolución geomorfológica de boca Guarumal.  
Figure 10. Geomorphological evolution of Guarumal mouth.

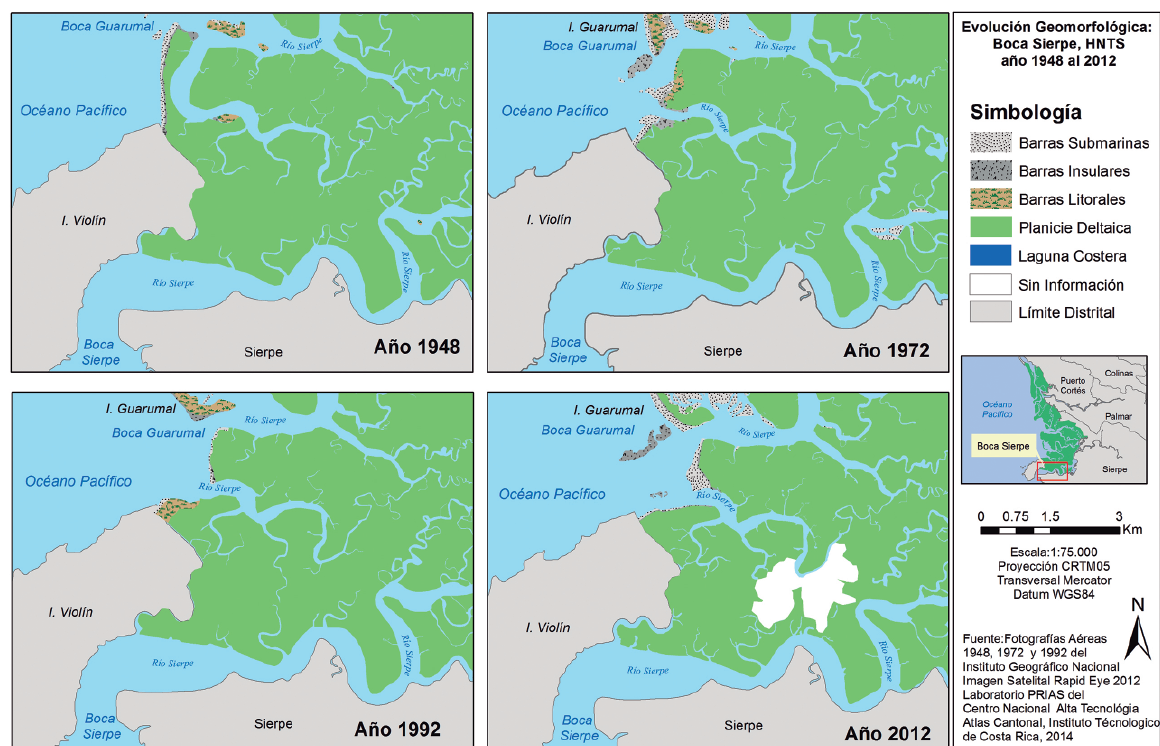


Figura 11. Evolución geomorfológica de boca Sierpe.  
Figure 11. Geomorphological evolution of Sierpe mouth.

Térraba-Sierpe durante 64 años de estudio. Este trabajo fue comparado con los resultados del artículo de Ortiz (2008), encontrando que el mismo generó resultados generales de los cambios ocurridos en el delta sin realizar un verdadero estudio de la evolución geomorfológica de este, ni interpretar por bocas de manera precisa las variaciones en las barras costeras ni su interpretación. En nuestro abordaje, se hizo un análisis geomorfológico que contó de un intensivo trabajo de campo, caracterización así como digitalización por medio de imágenes aéreas de las barras costeras y un tratamiento de muestras en laboratorio que dieron mayores evidencias de las modificaciones del delta entre 1948 y 2012.

Para 1948 se presentaba una mayor estabilidad en el sistema deltaico, relacionado con el poco desarrollo agropecuario en las cuencas medias y altas de los ríos Térraba y Sierpe, favoreciendo menores tasas de deforestación

y erosión, debido a que la población en la época apenas contaba con 41.701 habitantes (Hernández, 1985). Para 1972, se da un decrecimiento del área del humedal ocasionado por procesos de erosión en boca Zacate y boca Brava, relacionados con la influencia del Fenómeno del Niño en varios lapsos: 1951-1954, 1957-1959, 1963-1964, 1965-1966, 1968-1970, y 1972-1973. Este fenómeno es el responsable de la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura en dichos años, y a su vez influyó en el arrastre de menos sedimentos por la red fluvial de los ríos Térraba y Sierpe, favoreciendo una mayor erosión en la planicie deltaica (Alvarado et al., 2012; NOAA, 2016).

De 1972 a 1992 se da un proceso de disminución considerable del terreno del delta asociado a procesos erosivos que causaron la pérdida de superficie, principalmente en las bocas Zacate, Chiquita, y Brava, dando origen a una nueva boca debido a los cambios litora-



les denominada Boca Nueva. La erosión para este periodo se asocia también a los procesos climáticos, y se da un proceso similar al de 1972 con la presencia del fenómeno del Niño, donde entre 1972 a 1992 se experimentaron varias sequías (en 1973, 1986-1988 y 1990-1993; Bonilla, 2014). Además, se suman procesos marinos como el aumento en la altura de las mareas, lo cual promueve el arrastre y lavado del terreno, ocasionando erosión de la planicie deltaica (Lizano, 2015). Para la década de 1990 el HNTS se ve afectado por la tala excesiva de mangle ya que se dio una sobreexplotación de los árboles de manglar para obtener carbón y taninos para teñir cuero (Barton, 1995). Esto afectó a los patrones de erosión debido a que la vegetación manglárica tiene raíces que están adaptadas a captar los sedimentos, y al disminuir la vegetación el material queda expuesto a la corriente sin lograr consolidarse (Denny, 2006). 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 (Evans, 2012).

En cuanto al último periodo de análisis que es el año 2012, se da un comportamiento de recuperación del terreno en comparación a 1992 con un crecimiento de 584,22 ha de la planicie deltaica. Este aumento de la superficie del delta se asocia con la protección al HNTS, ya para estas dos últimas décadas el humedal pasa ser área protegida y se ratifica como sitio RAMSAR entre 1994 a 1995 (Pizarro *et al.*, 2004). Dicho proceso favoreció a la protección del ecosistema mediante la disminución en la deforestación y otras actividades antrópicas que generaban presiones al ecosistema (Salas *et al.*, 2012). La recuperación de la superficie en el delta se produce mediante procesos de agradación, que ha lo-

grado consolidarse en barras litorales y posteriormente ser cubiertas con vegetación. Este incremento de terreno se debe a los procesos de arrastre de sedimentos provenientes de la cuenca alta y media del río Grande de Térraba, generados por la ampliación de la frontera agrícola, así como también un incremento de las construcciones (Cedeño *et al.*, 2012). Por su parte, los procesos naturales tuvieron influencia en este aumento de la agradación, ya que para el periodo del análisis de estos últimos 20 años se presentan varios fenómenos de la Niña, ocasionando un aumento de un 35% en las precipitaciones para el año 2010 y del 20% para el año 2011 únicamente para el Pacífico Sur de Costa Rica, lo que contribuyó con más aportes fluviales (NOAA, 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 (INBIO, 2009; Alvarado *et al.*, 2012). Además cabe resaltar que a partir de las reconstrucciones de 1950 de los fenómenos Niño y Niña, estos tienden a tener periodos de retorno en sus fases fuertes cada vez más cortos (Huang *et al.*, 2015). Por otro lado, las predicciones de aumento del nivel del mar a escala global amenazan con un incremento en las tasas de erosión de los deltas (Penland y Kulp, 2005). Este panorama podría conllevar a una mayor erosión de las barras costeras, procesos geomorfológicos constantes que han alternado con la sedimentación en este sistema deltaico en las últimas seis décadas debido a la variabilidad climática y los cambios en los usos del suelo en las cuencas que alimentan la dinámica litoral.

### Agradecimientos

A Christian Vargas del PRIAS - CeNAT, a Manuel Camacho del Laboratorio de Recursos Naturales del CIA de la Universidad de Costa Rica, así como a Christopher Sandoval y Juan Pablo Herrera del INISEFOR de la Universidad Nacional de Costa Rica. Además agradecemos a los revisores y editores por sus valiosas observaciones.

## Bibliografía

- Alvarado, L.F.; Contreras, W.; Alfaro, M.; Jiménez, E. (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. MINAE y IMN, 1060 pp.
- Barton, D.N. (1995). *Valoración económica parcial alternativa de manejo para los humedales de Térraba Sierpe, Costa Rica*. Tesis de Posgrado en Política Económica para Centro América y el Caribe con Énfasis en Economía Ecológica y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 82 pp.
- BIOMARCC-SINAC-GIZ. (2012). Evaluación de carbono en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe. Proyecto Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica, Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático, San José - Costa Rica, 26 pp.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4 (3): 1-52. <https://doi.org/10.1029/2001GC000252>
- Bonilla, A. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica. GWP Centroamérica, Cooperación Suiza, y el Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH), 52 pp.
- Brander, R.W. (2004). Bar, coastal. In: *Encyclopedia of Geomorphology*. (A. Goudie, ed). Routledge, Taylor & Francis Group, England, 1156 pp.
- Brenes, L. G.; Solano, F. J. (1993). Condición geográfica de Isla Violín. *Revista Reflexiones*, 1 (7), 1-7.
- Buol, S., Hole, F., McCracken, R. (2008). *Génesis y Clasificación de los suelos*. 2da. Edición. Editorial Trillas, Ciudad de México, 417 pp.
- Cedeño, B.; Hernández, A.; López, A.; Villalobos, E. (2010). Caracterización Socioeconómica de la cuenca del Río Grande de Térraba. Universidad Nacional de Costa Rica, 34 pp.
- 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*, 48, 95-116.
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., Stein, S. (1990). Current plate motions. *Geophysics. J. Int.*, 101: 425-478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb06579.x>
- Denny, P. (2006). Mangroves and sediment dynamics along the coasts of southern Thailand. *Taylor and Francis*, 116 pp.
- Denyer, P.; Montero, W.; Alvarado, G.E. (2003). *Atlas tectónico de Costa Rica*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica, 79 pp.
- Denyer, P.; Alvarado G.E. (2007). *Mapa geológico de Costa Rica. Escala 1:400 000*. San José, Costa Rica: Librería Francesa.
- Evans, G. (2012). Deltas: the fertile dustbins of the continents. *Proceedings of Geologists' Association*, 123, 397-418. <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2011.11.001>
- Furukawa, K., Wolanski, E. (1996). Sedimentation in mangrove forest. *Mangroves and salt marshes*, 1, 3-10. <https://doi.org/10.1023/A:1025973426404>
- Gisbert, J., Ibáñez, S.; Moreno, H. (2009). La textura de un suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Valencia, España.
- Gutiérrez-Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación, S.A. Madrid, España, 898 pp.
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., Zamora, N. (2003). *Manual of Plants of Costa Rica, Volume III: Monocotyledons (Orchidaceae-Zingiberaceae)*. Missouri Botanical Garden Press, Missouri, USA.
- Hammel, B. E.; Grayum, M. H.; Herrera, C.; Zamora, N. (2010). *Manual of Plants of Costa Rica, Volume V: Dicotyledons (Clusiaceae-Gunneraceae)*. Missouri Botanical Garden Press, Missouri, USA
- Hernández, H. (1985). Costa Rica: Evolución territorial y principales censos de población 1502-1984. EUNED, San José, Costa Rica.
- Huang, B.; Banzon, V.F.; Freeman, E.; Lawrimore, J.; Liu, W.; Peterson, T.C.; Smith, T.M.; Thorne, P.W.; Woodruff, S.D.; Zhang, H. (2015). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature Version 4 (ERSST.v4). Part I: Upgrades and Intercomparisons. *Journal of climate*, 28, 911-930. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00006.1>
- INBIO (Instituto Nacional de Biodiversidad) (2009). Biodiversidad y cambio climático en Costa Rica. Proyecto 00033342-Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (IMN-PNUD-GEF), 176 pp.
- Kappelle, M.; Castro, M.; Acevedo, H.; Gonzalez, L.; Monge, H. (2002). *Ecosistema del área de Conservación (ACOSA)*. Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, Santo Domingo, Heredia, Costa Rica, Editorial INBIO.
- 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, 91-109. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00474-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00474-7)
- 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*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, Mexico, 479 pp.
- Mainardi, V. (1996). El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico 284, CATIE, 40 pp.
- Mora, F. (2013). *Morfodinámica litoral de boca zacate, su impacto en la cobertura del bosque de mangle y su relación con las actividades económicas de los habitantes de Sierpe, cantón Osa, Costa Rica: recomendaciones para una gestión integrada*. Tesis (Maestría Académica en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales)--Universidad de Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado.
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2016). ENSO Cold and Warm Episodes by Season. National Weather Service, Climate Prediction Center.
- 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.
- Penland, S.; Kulp, M. (2005). Deltas. In: *Encyclopedia of Coastal Science* (M. Schwartz, ed). Springer, 1211 pp.
- Pizarro, F.; Piedra, L.; Bravo, J.; Asch J.; Ash, C. (2004). *Manual de procedimientos para el manejo de manglares en Costa Rica*. EUNA, Heredia, Costa Rica.
- Quesada-Román, A. (2013). Condición de uso de la tierra del distrito San Vito, Coto Brus, Puntarenas. *Revista Reflexiones* 92 (1): 47-64.
- Salas, E.; Ross, E.; Arias, A. (2012). *Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense*. Fundación Mar Viva, San José, Costa Rica.
- Scheffers, A.; Browne, T. (2010). Pacific Coasts of Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica and Panama. In: *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms* (E. Bird, ed), Volume I, Springer, 1493 pp. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7\\_28](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_28)
- Silva, A.M.; Picado, J.; Mora, F.; González, C. (2015). Implicaciones sedimentológicas sobre el cambio en la cobertura del bosque de manglar en Boca Zacate, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 63 (3), 591-601. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i3.16173>
- USDA - United States Department of Agriculture (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual* (R. Burt, ed), Soil Survey Investigations, Report No. 42, Version 4.0. United States, 700 pp.
- Zahawi, R.A.; Duran, G.; Kormann, U. (2015). Sixty-Seven Years of Land-Use Change in Southern Costa Rica. *PLoS ONE* 10(11): e0143554. doi:10.1371/journal.pone.0143554 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143554>
- Zaldívar, A.; Herrera, J.; Coronado, C.; Parra, A. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Madera y Bosques*, Número especial 2, 25-35.

