



Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 5 (15), 2008

NOTA TÉCNICA

Cambios geoformológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Déltico de Sierpe

Edgar Ortiz Malavasi¹

Resumen

Los impactos derivados del cambio climático van a ocurrir en largos periodos de tiempo, y van a ser el resultado de una acumulación de pequeñas alteraciones posiblemente durante eventos anormales del clima. Los cambios derivados del incremento del nivel de los océanos es uno de esos casos, y existe consenso mundial, que el nivel del océano va a incrementarse aunque no se sabe con claridad cuanto será ese incremento. Durante la actualización del Atlas Digital de Costa Rica, al comparar los límites costeros de Costa Rica registrados en las hojas cartográficas del siglo anterior con los observados en imágenes de satélite recientes, se ha podido registrar cambios en el litoral Pacífico y Atlántico del país. Se pudo comprobar alteraciones tanto en el litoral Caribe como en el Pacífico, siendo en este último más significativas y numerosas. Un 20% de las 30 variaciones están relacionadas con el rompimiento de cordones de playa o barreras que impedían el ingreso del mar durante la marea alta a lagunas y humedales en el litoral Caribe, 12 casos son de rompimiento de islas barrera o espiga, y seis de los casos son de desaparición de islas de baja elevación o manglar formados por el arrastre de sedimentos en el complejo déltico de Sierpe. Se describe y analiza el caso del lavado y arrastre de pequeñas islas y manglares en Sierpe. Este incluye la desaparición de la isla Sucesión, el lavado y arrastre de la isla Zacate, isla Coco, del manglar y la playa Guarumal, y la formación de una nueva isla barrera como una extensión de la isla Temblona. El caso estudiado demuestra que están ocurriendo cambios geomorfológicos significativos en el sistema déltico de Sierpe. Se propone que los cambios observados en Sierpe son ejemplos típicos de la geomorfología de litoral esperada ante un aumento del nivel de los océanos, como el que se prevé que está ocurriendo actualmente como consecuencia del calentamiento global, esto es, la intensidad de las mareas se ha incrementado, las tierras bajas han sido erosionadas por las olas, y se está desarrollando una nueva isla barrera en la zona.

Palabras clave: Cambio climático, Sensores remotos, Teledetección, Sistemas de información geográfica, Costa Rica.

Abstract

Geomorphologic changes in Costa Rica's Caribbean and Pacific coastlines. The case of the Delta of Sierpe. The expected impacts due to climate change will occur in

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. eortiz@itcr.ac.cr

long periods of time, and probably they will be the result of small changes during extraordinary climate events. The alteration of the coastline derived from the increase of the sea level will be one these cases, since there is consensus that sea level will increase during the next 90 years. During the update of the Digital Atlas of Costa Rica 2004, and by comparing the coastline of the cartographic maps of Costa Rica against the shoreline derived from recent satellite images, it was possible to identify small changes in the Caribbean and Pacific coastline of the country. It was possible to identify the presence of 30 alterations in the shoreline of the country, 70% of them were found the Pacific coast, and the rest in the Caribbean. Six cases are related to the breakdown of beach barriers in the Caribbean coast, 12 cases are related to the collapse of barrier islands, and six cases are related to the erosion and transport of material of small islands or mangrove lowlands in the Sierpe Delta. The changes observed in Sierpe are described and analyzed. The Sucesion and Zacate islands located in Boca Guarumal, Sierpe, have disappeared somehow between 1973 and 1992, and more than 50% of the Coco Island disappeared between 1973 and 2005. The same occurred to the sea tides exposed mangrove forest in Boca Guarumal, including the beach front of the same Boca. The analysis of the aerial photos shows that a new barrier island has formed in Boca Guarumal, which now is an extension of La Temblona island. The analysis shows that significant changes are taking place in the Sierpe Delta. These changes are in agreement with the expected geomorphology in the presence of a sea level increase such as the expected from global warming, that is see tides intensity is increasing, low lands are been eroded and a new barrier island has formed.

Key words: Global climate change, Remote sensing, Geographic information systems, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El aumento del nivel de los océanos, el aumento de la frecuencia de huracanes, y anomalías en las corrientes oceánicas derivadas del cambio climático, serían las causas que provocarían cambios en los límites costeros en todo el mundo. Los cambios en los litorales involucran modificación en los ecosistemas marinos, en la morfología de las costas, y por consiguiente un impacto en las infraestructuras costeras, que se traduce a problemas sociales y económicos en estas regiones. Las alteraciones más comunes que se señalan en relación con el cambio climático son: hundimiento de tierras, erosión costera, crecientes inundaciones por tormentas, aumento en los niveles del mar y disminución de los volúmenes de los mantos de agua fresca (Lizano y Salas, 2001). Por ejemplo, el informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), predijo que el nivel del océano subirá al menos en 28 cm durante los próximos 90 años. Esta proyección ha sido recientemente rebatida por Grinsted *et al* (2009), quienes estiman que el nivel del mar puede incrementarse en un metro en los próximos 100 años, es decir tres veces más de lo estimado por el IPCC (2007).

En Costa Rica, Lizano y Salas (2001) y Cárdenes (2003) estudiaron los cambios geomorfológicos que se han observado en la isla Damas, Quepos (Puntarenas) entre 1997 y 1998. Estos autores señalan que en agosto de 1997 la isla barrera de isla Damas se dividió en dos partes para dar paso a la formación de una espiga de barrera doble. Cárdenes (2003) concluyó que los cambios reportados en la zona tienen su origen en factores tectónicos (principalmente de llamamiento inverso), el ascenso normal del nivel del mar y el cambio climático. Brenes (2007) hace referencia a que problemas análogos pueden suceder en el futuro en la flecha de Puntarenas, debido a la extracción de materiales del río Barranca (Chen-Apuy, s.f).

En general, estas espigas, flechas o islas barrera están compuestas básicamente por arena y otros sedimentos transportados por ríos, las olas, las mareas y los vientos. Ejemplos de estas islas barrera se encuentran a lo largo de la costa del Pacífico, tal como Puntarenas, Palo Seco, isla

Damas, y en el río Grande de Térraba en Boca Coronado. Por otro lado en el litoral caribe se encuentran las formaciones en flecha de la Barra del Colorado, Tortuguero y Parismina.

Las islas barrera son formaciones de tierra muy dinámicas, con pérdidas y recuperaciones de terreno frecuentes según las condiciones cambiantes de la energía del mar. La evolución en el tiempo depende principalmente de la tasa de aumento del nivel del mar, las fuentes de sedimentos, y de la energía de las olas (Lizano y Salas, 2001). Mientras se mantenga una fuente constante de sedimento, las espigas barrera pueden mantenerse por sí mismas en el lugar y seguir creciendo aunque el nivel del mar aumente (Strahler, 1984). Su formación puede relacionarse con salida de un río, el cual deposita grandes cantidades de sedimentos en el océano, los cuales son transportados por corrientes y distribuidos a lo largo de la espiga.

Conforme se acumula material en la espiga, se forman cordones de playa, que encierran lagunas someras que se van rellenando con los sedimentos acarreados por los ríos. Ejemplos de este tipo de formación son los encontrados en el litoral caribe de Costa Rica, de Punta Castilla a Moín en la Provincia de Limón (Malavassi y Chaves, 1975). Un accidente característico de las islas barrera y en los cordones de playa, es la presencia de aberturas o bocanas. Estas aberturas dan lugar a la formación de deltas de marea (Strahler, 1984), por donde las circulan las corrientes de y hacia el mar. El autor señala que el espaciado de las aberturas depende de la intensidad de las mareas, siendo este menor conforme aumenta la intensidad. Las islas barrera pueden romperse durante eventos de tormentas y mareas altas extraordinarias como las reportadas por Lizano y Salas (2001). Las corrientes de marea tenderán a mantener despejada esta nueva apertura, y podría cerrarse por arrastre de nuevos sedimentos; estas dos fuerzas tienden a mantener un equilibrio de forma que “no existan ni demasiadas ni demasiado pocas aberturas” (Strahler, 1984).

Al igual que las islas barrera, los sistemas deltaicos son formaciones geomorfológicas muy dinámicas que deben su formación al arrastre de materiales al mar. El delta se forma por la deposición del material arrastrado por los ríos en sitios de mareas poco intensas, en un espacio que suele tomar una forma triangular. Los deltas y los estuarios constituyen las dos formas principales de desembocadura de los ríos en los mares, océanos o lagos. Su presencia en las desembocaduras de los ríos está originada por la fuerza de las mareas. Cuando las mareas son muy intensas, la desembocadura de los ríos en los océanos suele ser del tipo de estuario, ya que durante la pleamar se represan las aguas del río, mientras que en la bajamar se produce una gran aceleración de la velocidad de las aguas, lo que impide la acumulación de los sedimentos que forman las islas en los deltas. Es por ello que los deltas suelen producirse más en los lagos donde las aguas no sufren la acción de las mareas, como en el caso de los océanos abiertos, en donde ante la presencia de gran cantidad de sedimentos se forman las islas barrera.

Los ríos Térraba y Sierpe han generado la mayor superficie deltaica activa del país. Al desembocar estos ríos en el mar, depositan su carga de sedimentos formando un cono submarino, con el vértice en la desembocadura del río. Al crecer el cono a profundidad, en un litoral somero, se produce una colmatación y obstrucción en la desembocadura del cauce; el nivel del río sube y busca salida mediante la formación de brazos, lo que le da al delta la forma de un triángulo surcado por muchos canales en forma dendrítica ideales para el crecimiento del mangle de piña (*Pelliciera rhizophorae.*) y del mangle rojo (*Rizophora racemosa*) (Lizano *et al*, 2001).

Durante la actualización del Atlas Digital de Costa Rica (ITCR, 2008), utilizando imágenes de satélite, fotografías aéreas, junto con bases de datos existentes, se han podido registrar pequeños cambios en los litorales Pacífico y Atlántico del país durante los últimos 50 años. Del total de cambios registrados, en este artículo se describe y analiza uno de los más significativos: la desaparición de islas y manglares en el delta del río Sierpe

MATERIALES Y MÉTODOS

Se digitalizó la línea costera de toda Costa Rica utilizando las hojas cartográficas 1:50000 debidamente geo-referenciadas en Coordenadas Lambert Costa Rica Norte. Estas hojas cartográficas fueron elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) utilizando fotografías aéreas tomadas entre los años 1960 y 1970 y actualizadas entre 1990 y el 2000. Este borde se sobrepuso en imágenes de satélite Landsat de los años 2000 y 2003, lo que permitió detectar en forma general qué cambios en el litoral habían ocurrido entre los años 1970 y los primeros de este siglo.

Una vez detectados los cambios en el litoral se procede a estudiar cada uno detalladamente. El primer paso fue probar si las diferencias observadas entre el borde continental registrado en las hojas cartográficas 1:50000 y el de las imágenes Landsat eran verdaderas, y no un error de fotointerpretación durante la preparación de las hojas cartográficas. Para esto se procedió a ubicar en los archivos del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Instituto tecnológico de Costa Rica (ITCR) y del Instituto Geográfico Nacional (IGN), fotografías aéreas de los años 1960 a 1980, dependiendo de la fecha en que se preparó la hoja cartográfica donde se detectó el cambio en el litoral. Las fotos fueron georeferenciadas y luego se les sobrepuso el litoral registrado en las hojas cartográficas del IGN.

Una vez comprobada que la variación en el litoral era verdadera, se procedió a su estudio y verificación en el campo. El borde del litoral registrado en las hojas cartográficas 1:50000 fue sobrepuesto sobre las fotografías aéreas georeferenciadas de diferentes años, tales como 1992, 1997, y las fotos aéreas digitales del 2005 provenientes de la Misión CARTA 2005 (CeNAT, 2009). El análisis de la alteración se hace determinando el área de territorio perdido o ganado en cada periodo, y luego se clasifica el evento según sus características geofarmacológicas. Con esta información se podrá identificar áreas de características similares, y así determinar zonas de riesgo en ambos litorales.

RESULTADOS

Los casos de alteraciones en el litoral de Costa Rica detectadas durante la actualización del Atlas de Costa Rica 2008 se presentan en el cuadro 1. Los cambios se registran tanto en el litoral Caribe como en el Pacífico, pero son más significativos y numerosos en este último. Un 20% del total de casos están relacionados con el rompimiento de cordones de playa que impedían el ingreso del mar a los humedales localizados en el litoral Caribe del país, es decir, bocanas como las reportadas por Strahler (1984). Un 40% (12 casos) son de rompimiento de islas barrera, del mismo tipo de formación del caso de isla Damas estudiado por Lizano y Salas (2001) y Cárdenes (2003). Siete de los casos son de desaparición de islas de baja elevación formadas por el arrastre de sedimentos de los ríos, seis de ellos en el complejo déltico de Sierpe y uno en el Golfo de Nicoya.

Cuadro 1. Alteraciones en el litoral de Costa Rica identificados al comparar las hojas cartográficas 1:50000 con imágenes Landsat recientes.

No.	Nombre	Hoja cartográfica	Descripción
1	Laguna Jalova	California	Apertura de bocana en cordón de playa
2	Parismina 1	Parismina	Apertura de bocana en cordón de playa
3	Parismina 2	Parismina	Apertura de bocana en cordón de playa
4	Parismina 3	Parismina	Apertura de bocana en cordón de playa
5	Boca del Pacuare	Parismina	Ampliación de bocana en desembocadura de río
6	Moín	Moín	Apertura de bocana en cordón de playa
7	Parismina 4	Parismina	Apertura de bocana en cordón de playa
8	Tortuguero	Tortuguero	Ampliación de isla barrera y desplazamiento de bocana
9	Barra del Colorado	Colorado	Rompimiento de isla barrera con ampliación de bocana de río
10	Playa Guarumal, Boca Guarumal, Sierpe	Térraba	Erosión de banco de arena y manglar
11	Isla Sucesión, Boca Guarumal, Sierpe	Térraba	Erosión de isla con manglar
12	Isla Temblona, Boca Guarumal, Sierpe	Térraba	Formación de isla barrera
13	Isla Zacate, Estero Zacate, Sierpe	Térraba	Erosión de isla con manglar
14	Isla Coco, Estero Zacate, Sierpe	Térraba	Erosión de isla con manglar
15	Boca Brava, Sierpe	Coronado	Rompimiento de isla barrera
16	Estero Guarumal	Térraba	Erosión manglar
17	Islote sin nombre, Boca Guarumal, Sierpe	Térraba	Lavado de isla con manglar
18	Ampliación Isla Mero	Térraba	Nueva isla barrera
19	Boca Coronado	Coronado	Arrastre material y ampliación de isla barrera
20	Boca Hatillo Nuevo	Dominical	Rompimiento de isla barrera
21	Boca del Río Savegre	Quepos	Rompimiento de isla barrera
22	Isla Damas	Quepos	Rompimiento de isla barrera con ampliación de barrera
23	Estero Palo Seco	Parrita	Ampliación y debilitamiento de isla barrera
24	Estero Zapote, Boca Río Parrita	Parrita	Rompimiento de espiga y creación de isla barrera
25	Boca del Río Tusubres	Herradura	Rompimiento de isla barrera
26	Boca del Tárcoles	Tárcoles	Arrastre de terreno en desembocadura de río
27	Boca Río Barranca	Barranca	Arrastre de terreno en desembocadura de río
28	Cerro Gordo	Abangares	De origen Antropogénico. Relleno.
29	Estero Letras	Berrugate	Erosión de isla con manglar
30	Boca del Río Ario	Río Ario	Rompimiento de isla barrera con ampliación de barrera

De todos los casos identificados los más significativos y visibles en las imágenes de satélite son los cambios en el litoral ocurridos en el delta del Sierpe. Esta zona del país se localiza entre las coordenadas de latitud norte 8°48' a 8°55' y de longitud oeste 83°34' a 83°37' (Datum WGS84), en las hojas cartográficas 1:50000 Sierpe y Térraba, entre boca Zacate y boca Guarumal. En esta

área todos los terrenos expuestos directamente a las fuertes mareas de la zona están siendo erosionados por el mar. Los cambios detectados son la desaparición de la isla Sucesión, el arrastre o lavado de la isla Zacate, isla 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 Temblona.

Las islas Zacate, Sucesión, Temblona y Coco aparecen registradas en la Hoja Cartográfica Térraba 1:50000 elaborada por el IGN con fotos aéreas de 1960. Estas islas tenían contacto con mar abierto, y eran formaciones de lodo y arena pero que tenían abundante vegetación, según se puede identificar en las fotos aéreas de 1973. La isla Zacate tenía un área de 228 ha, y estaba ubicada entre Boca Zacate y Boca Bretania. Al comparar el litoral registrado en la Hoja cartográfica Térraba de 1974, con la imagen Landsat, y la foto digital del 2005, se observó como en el 2005 el 100% de la isla había desaparecido. La isla aparece registrada en la foto aérea de 1973, sin embargo, a esa fecha ya había perdido un 55% de su área, por lo que queda en duda si la hoja cartográfica fue realmente preparada con fotos del 1973. El estudio de la secuencia de fotos aéreas de 1973, 1992 y 2005 se muestra en la figura 1, y el cálculo del terreno perdido en el cuadro 2.

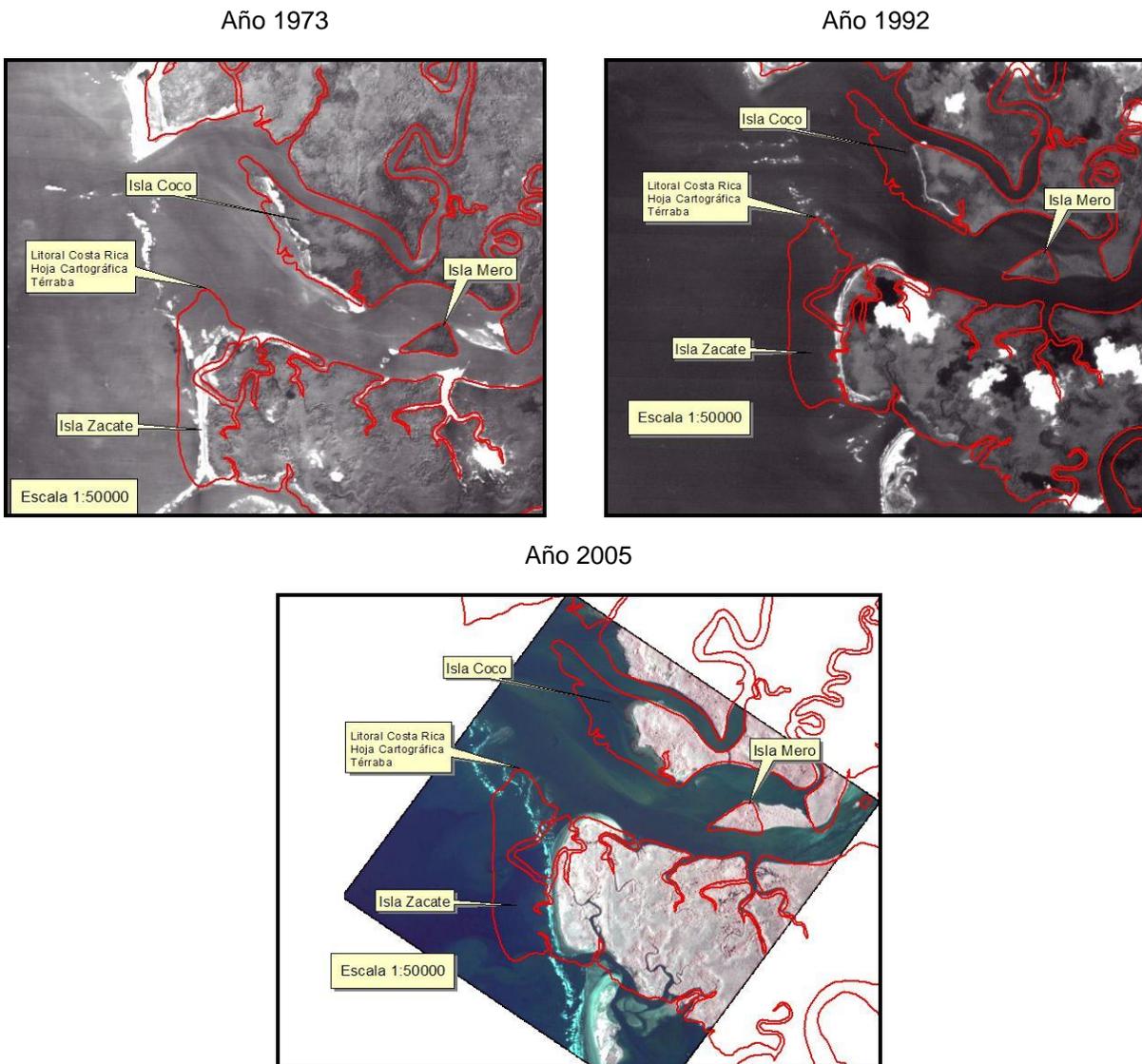


Figura 1. Alteraciones en litoral de Sierpe. Isla Zacate y Coco. Costa Rica.

Cuadro 2. Estimación del área de terreno perdida o ganada en los diferentes elementos geográficos estudiados entre Boca Zacate y Boca Guarumal, Sierpe. Costa Rica.

Elemento geográfico	Área en hoja cartográfica (ha)	Área perdida o ganada (ha)		
		1973	1992	2005
Isla Coco	191	- 28	- 89	- 109
Isla Zacate	228	-127	-218	-228
Isla Mero	22	0	+ 29	+ 21
Isla Temblona	17	+5	+65	+307 ^a
Isla Sucesión	15	-8	-15	-15
Manglar Guarumal	na	-17	-62	-76
Playa Guarumal	42	-42	-17	-4
Balance	na	-217	-307	-104

Notas: (a) incluye 67 ha de terreno firme con vegetación y cerca de 240 ha en nuevos bancos de arena y lodo alrededor de la isla.

Por otro lado, la isla Coco también estaba en contacto con mar abierto y el proceso de arrastre y transporte de material es similar al observado en Zacate. La isla está localizada en la Boca Zacate, estaba cubierta en 1973 con mediana vegetación de pastizales y manglar. En el 2005, un 50% de la isla ya había desaparecido; parte de los terrenos han sido transportados por las corrientes tierra adentro y se ha ido formando una nueva isla sobre lo que anteriormente era un banco de arena y lodo, según se observa en las fotos de 1973 y en la hoja cartográfica. En la foto digital del 2005 se observa que el material arrastrado por el mar ha formado una isla tipo espiga, al unirse la isla Mero con el manglar de "tierra firme", la cual actualmente posee abundante vegetación. La isla Coco ha perdido cerca de 109 ha, y la nueva isla barrera ha ganado un área de 21 ha (Cuadro 2).

Las islas Sucesión y Temblona y otra pequeña isla sin nombre se ubicaban en la Boca Guarumal del complejo déltico de Sierpe. La isla Sucesión y la otra pequeña isla en boca Guarumal son visibles en las fotos aéreas de 1973, pero no en la imagen Landsat del 2003, o en las fotos aéreas digitales del 2005. Ello comprueba que su registro en la hoja cartográfica Terraba no era un error de fotointerpretación.

La foto del 2005 muestra que la isla Sucesión ha desaparecido por completo, y hacia el oeste de donde estaba esta isla se está desarrollando una nueva isla barrera en forma de arco perpendicular a la línea de rompimiento de las olas en la zona. En las fotos de 1973 se muestra que la isla Temblona era una pequeña isla rodeada de bancos de lodo semi-sumergidos y sin vegetación. Actualmente la isla ha crecido en área, ha cerrado Boca Bretania, y posee abundante vegetación de cocotales, pastos, mangle y árboles frutales producto de la colonización humana. Se intuye que la nueva isla barrera se ha formado gracias a la arena y lodo antiguamente localizados tanto en las islas Zacate y Sucesión, como en los terrenos erosionados del manglar y playa Guarumal, cuyo caso se describe en el siguiente párrafo (Figura 2 y Cuadro 2).

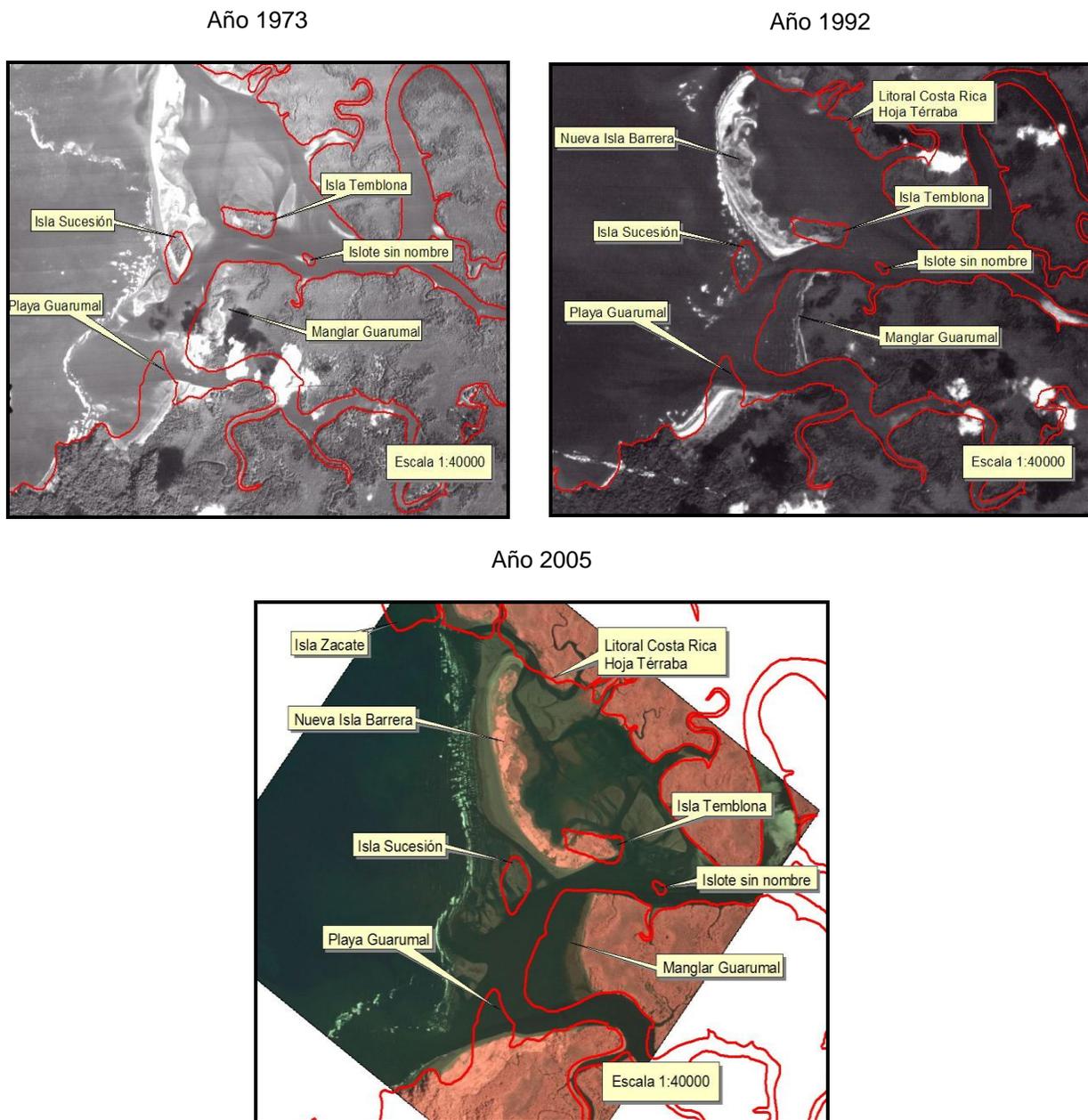


Figura 2. Alteraciones en el litoral de Sierpe. Islas Sucesión y Temblona, Playa Guarumal y Manglar Guarumal. Costa Rica.

El manglar y playa Guarumal se ubicaban al sur de las islas Sucesión y Temblona. Estos son dos pequeñas “penínsulas” de manglar y arena. En el cuadro 2 y la figura 2 se muestra como ambas “penínsulas” han ido cambiando. Estas penínsulas estaban en contacto con mar abierto, y han ido progresivamente desapareciendo, siendo menos consistentes los cambios en playa Guarumal. El caso de manglar Guarumal es similar a los cambios observados en islas Zacate y Coco. La foto de 1973 muestra que las secciones que han desaparecido en el manglar Guarumal, estaban cubiertas por vegetación medianamente densa. En el caso de playa Guarumal, las fotos de 1973 señalan que la península registrada en la hoja cartográfica Térraba ya había desaparecido. Esta península consistía en una punta de arena y lodo, y la misma vuelve a ganar terreno en los años 1992 y

2005, lo que indica que posiblemente se vaya a seguir recuperando, y que probablemente se una con la isla barrera formada en torno a la isla Temblona (Figura 3).



Figura 3. Estado del manglar Guarumal en diciembre del 2007 (Costa Rica). Obsérvese el tronco de mangle que todavía está en pie en el banco de arena, último reducto de lo que fue un manglar en 1973.

CONCLUSIONES

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) integrados con el uso de sensores remotos han demostrado que son herramientas eficaces para evaluar los cambios en la geografía del país, y específicamente los que puedan ocurrir debido al aumento del nivel de los océanos como consecuencia del calentamiento global. Con el uso de los SIG e imágenes de satélite se pudieron detectar alteraciones en los litorales en forma general, los cuales pueden estudiarse luego en detalle con el uso de fotografías aéreas y evaluaciones de campo. En la mayoría de los casos identificados, se muestra que los océanos están arrebatando terreno al país, o desplazando depósitos de arena y lodo para crear y ampliar islas barrera. Del total de casos detectados, un 40% están relacionados con el rompimiento de islas barrera y un 20% adicional al rompimiento de cordones de playa en antiguas islas barrera. Este resultado permite identificar sitios donde pueden ocurrir otras alteraciones geomorfológicas en el litoral del país, y así prevenir y mitigar los impactos esperados derivados del cambio climático global. Se identifican como sitios potenciales para este tipo de monitoreo las islas barrera de Colorado, Tortuguero, Parismina, Palo Seco y Puntarenas (Fonseca, 2007).

Como lo mencionan Lizano y Salas (2001), el vínculo de las mareas astronómicas más altas, el aumento del nivel del océano provocado por el fenómeno El Niño, y el calentamiento global, pueden ser la causa del proceso acelerado de erosión a lo largo de la costa Pacífica, donde se registraron 21 cambios en el litoral. En el complejo déltico de Sierpe, existen varias islas similares a las antiguas islas Zacate, Sucesión y Temblona, las cuales son actualmente un amortiguador a las mareas altas anormales que se presentan en la zona, por lo que habrá que seguir monitoreando su evolución en las próximas décadas.

El caso estudiado demuestra que están ocurriendo cambios geomorfológicos significativos en el sistema déltico de Sierpe. El lavado y arrastre de material en islas y terrenos de baja elevación en

contacto directo con mar abierto, y el arrastre de los sedimentos a otros sitios para formar nuevas islas barrera observados en Sierpe, son el tipo de cambios en el litoral que se esperan que ocurran ante la presencia de un aumento del nivel de los océanos, como el que se prevé que está ocurriendo actualmente como consecuencia del calentamiento global.

BIBLIOGRAFÍA

- Brenes, L. 2007. Dinámica costera y ordenamiento territorial. In *Práctica de la Geografía*. Bergoeing JP. y Brenes, LG. compiladores. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 362 p.
- Cárdenes, G. 2003. Evolución de los Sistemas Sedimentarios Costero y Aluvial de la Región de Parrita, Pacífico Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 28:69-76.
- CeNAT (Centro Nacional de Alta Tecnología, CR). 2009. Misión CARTA 2005. Nacional de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos. (PRIAS). (en línea). San José, CR, CeNAT. Consultado 10 de jun. 2009. Disponible en http://www.cenat.ac.cr/esp/area/gestion_ambiental/prias/carta2005.php
- Chen-Apuy, N. s.f. La Flecha de Puntarenas. (en línea). Consultado 30 de oct. 2007. Disponible en [www.puntarenas.com/La Flecha de Puntarenas - Puntarenas_com, Costa Rica.html](http://www.puntarenas.com/La_Flecha_de_Puntarenas_-_Puntarenas_com,_Costa_Rica.html)
- Fonseca, P. 2007. Más de la mitad de Puntarenas estará bajo el mar en 90 años. (en línea). *La Nación*. San José, CR. Ago. 13. Consultado 28 de jul. 2009. Disponible en http://www.nacion.com/ln_ee/2007/agosto/13/aldea1199142.html
- Grinsted, A; Moore, JC; Jevrejeva, S. 2009. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. (en línea). *Climate Dynamics*. Consultado 28 jul. 2009.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2007. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- ITCR (Instituto Tecnológico de Costa Rica). 2008. "Atlas Costa Rica 2008". (CD-ROM). Cartago, CR, ITCR. 1 CD-ROM.
- Lizano, O; Salas, M. 2001. Variaciones geomorfológicas en los últimos 50 años de la Isla Damas, Quepos, Costa Rica. *Revista Biología Tropical* 49: 2(171-177).
- Lizano, O; Amador, J; Soto, R. 2001. Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. *Revista Biología Tropical* 49: 2(331-340).
- Malavassi, E; Chaves, R. 1975. Estudio geológico regional de la Zona Atlántica (mimeografiado). Escuela de Ciencias Geográficas. UNA, Heredia, Costa Rica.
- Strahler, A. 1984. *Geografía Física*. 7 ed. Barcelona, ES. Ediciones Omega. 767p.