

Cambios morfológicos costeros en Isla del Carmen, Campeche, por el paso del huracán "Roxanne"

José Luis Palacio Prieto*
Mario Arturo Ortíz Pérez*
Arturo Garrido Pérez*

Recibido: 7 de mayo de 1999
Aceptado en versión final: 6 de agosto de 1999

Resumen. Con base en la interpretación de imágenes verticales de video adquiridas desde un helicóptero, se realizó un reconocimiento de los estragos causados por el paso del huracán "Roxanne" en la costa de la Isla del Carmen, Campeche, en octubre de 1995. Se identifican procesos geomorfológicos y formas resultantes que caracterizan a la línea de costa como regresiva durante el evento ciclónico, aunque localmente se aprecian algunos rasgos de acumulación en sectores reducidos. Los sitios más afectados corresponden a antiguos canales, hoy obturados, cuyo funcionamiento es reactivado durante los eventos ciclónicos extraordinarios. Se concluye, igualmente, acerca de la utilidad de las imágenes de video en la evaluación expedita del territorio y de la detección de daños a la infraestructura.

Palabras clave: Isla del Carmen, Campeche, cambios morfológicos costeros, huracán "Roxanne", videografía, desastres.

Abstract. Based on the interpretation of vertical video images taken from an helicopter, a geomorphological survey of the coast of Isla del Carmen, Campeche, was made in connection with hurricane "Roxanne". Geomorphological processes and derived coastal landforms are identified, which indicate a general receding trend of the coastline during the event, although some local accumulative features are recognized. The most affected areas correspond to ancient channels, today closed, reactivated during extraordinary storm events. Some conclusions are also drawn in relation to the use of video images as a tool for a rapid assessment and detection of damages to infrastructure.

Key words: Isla del Carmen, Campeche, hurricane "Roxanne", videography, coastal morphological changes, disasters.

INTRODUCCIÓN

La temporada de huracanes del año 1995, y especialmente el paso de "Opal" y "Roxanne", provocó daños severos a lo largo de la costa del mar Caribe y del Golfo de México, siendo afectados los estados de Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco y Veracruz, principalmente. El paso de los huracanes referidos, en un espacio menor de 15 días, ocasionó precipitaciones extraordinarias, entre el 27 de septiembre y el 11 de octubre, de 574 mm, nunca antes registradas para la zona. Ello equivale a 46% del total medio anual; en algunas otras áreas, como en la cuenca del río Candelaria, la precipitación diaria llegó a más de 270 mm.

La trayectoria del huracán "Roxanne", inusualmente errática (Figura 1), ocasionó pérdida de vidas y daños materiales de consideración a la infraestructura básica y de servicios, así como a la industrial; la actividad agrícola y pecuaria

sufrió daños en la mayor parte de su superficie y más de 100 poblaciones resultaron aisladas por el corte de carreteras, sea por inundación o por su destrucción.

Igualmente, se presentaron una serie de alteraciones en la morfología de la costa sur del Golfo de México. Dichos cambios son claramente manifiestos a lo largo de las costas arenosas de los estados de Tabasco y Campeche, y particularmente en la costa marina de Isla del Carmen.

De acuerdo con datos del Centro de Predicción Tropical (Tropical Prediction Center, 1996) con base en Miami, la duración del meteoro fue de 13 días, durante los cuales la depresión tropical número 19 de la temporada, llamada "Roxanne", siguió una secuencia poco común, de tormenta tropical-huracán-tormenta tropical-depresión tropical (Cuadro 1). Habiéndose originado en el Caribe, cruzó la península de Yucatán y retomó fuerza en la Sonda de Campeche,

* Instituto de Geografía, UNAM, Cd. Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D. F. E-mail: palacio@servidor.unam.mx

permaneciendo por lo menos cinco días en la zona, a unos 200 km de distancia de Ciudad del Carmen, Campeche (Figura 1), provocando las afectaciones antes referidas.

Este artículo refiere un reconocimiento de las alteraciones en la morfología costera y los daños a la infraestructura derivados de la actividad ciclónica de la temporada 1995 en la costa marina de Isla del Carmen.

Cuadro 1. Resumen de la actividad del huracán "Roxanne" (8-19 de octubre); DT=depresión tropical, TT=tormenta tropical

FECHA	LATITUD	LONGITUD	PRESIÓN	VELOCIDAD	CATEGORÍA
OCT08	16.0N	83.2W	1003MB	35MPH	DT19
OCT09	17.5N	83.0W	1003MB	40MPH	TT Roxanne
OCT10	19.6N	84.3W	987MB	75MPH	Huracán
OCT12	19.5N	92.9W	993MB	60MPH	TT
OCT14	22.4N	93.4W	979MB	75MPH	Huracán
OCT17	20.7N	92.4W	990MB	70MPH	TT
OCT19	22.5N	96.0W	1008MB	35MPH	DT

Fuente: Tropical Prediction Center, Miami, 1996.



Figura 1. Trayectoria del huracán "Roxanne" y localización de la zona en estudio. Se indica la trayectoria diaria del 10 al 19 de octubre. Los números indican los 10 días referidos y los cambios de línea en la trayectoria para cada día.

MATERIALES Y MÉTODOS

El 6 de diciembre de 1995 se realizó un vuelo en helicóptero a una altura sobre el terreno de unos 500 m. Se utilizó un equipo de video consistente

en dos cámaras de formato 8 mm con interfaz a sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés). El uso del video como herramienta alternativa de percepción remota cuenta con una serie de ventajas, entre las cuales destaca el

detalle resultante y la oportunidad en cuanto al tiempo de adquisición y disponibilidad inmediata para el usuario (Everitt y Nixon, 1985; Everitt y Escobar, 1995; Palacio y López, 1994). Esta última cualidad es especialmente apreciada en el caso de desastres naturales que requieren de ser evaluados prontamente, como el presente caso de estudio. Se recorrió la costa marina de Isla del Carmen, cubriendo una longitud de aproximadamente 50 km. El sistema de dos cámaras permitió obtener dos tomas con diferente distancia focal sobre la costa, y por tanto, diferente cubrimiento y resolución (Cuadro 2). El GPS facilitó, asimismo, el registro de tiempo en cada uno de los cuadros de video, con el fin de reconocer las imágenes adquiridas por las dos cámaras de manera simultánea.

Las imágenes de video fueron digitizadas previa selección de los sectores de la costa que mostraron rasgos de interés. Una vez digitizadas, se construyeron mosaicos con apoyo de programas de computadora en contexto *multimedia*, y se procedió a la interpretación visual en escalas 1:750, utilizando un monitor de televisión de 24 pulgadas en diagonal. Los mosaicos e imágenes individuales fueron importados a un sistema de información geográfica dentro del cual se referenciaron con el fin de realizar

mediciones de áreas y longitudes, que se presentan como parte de los resultados.

ZONA EN ESTUDIO

Desde el punto de vista geomorfológico, Isla del Carmen es una barrera que resguarda del mar abierto a la laguna de Términos, misma que se ubica en la costa sureste del Golfo de México, en el estado de Campeche (Figura 1). La longitud máxima de la isla oscila alrededor de los 40 km y posee una anchura máxima de unos 7 a 8 km en su sector medio. La Isla del Carmen se ubica en la transición existente entre los sedimentos carbonatados de la plataforma de Yucatán y los sedimentos deltaicos fluviales de los grandes ríos que drenan el área (Yáñez, 1971).

La isla está orientada de suroeste a nornoroeste, presentando hacia el mar una elevación superior a la de la costa interior (Figura 2), cubierta por tular y manglar. La porción marina de la barra, sobre todo en el sector occidental de la isla, mantiene plantaciones de coco y otros cultivos; a lo largo de esta costa se encuentra la carretera que une a Ciudad del Carmen, población principal de la isla y del estado, con Puerto Real, en los extremos oeste y este, respectivamente.

Cuadro 2. Cubrimiento y resolución espacial de las imágenes obtenidas por el sistema de dos cámaras de video. El cubrimiento se refiere a una imagen individual digitizada con resolución de 320 columnas por 240 líneas (76 800 píxeles)

Cámaras	Cubrimiento (m)		Resolución pixel (m)
	Horizontal	Vertical	
Cámara 1	400	300	1.25
Cámara 2	16	12	0.05

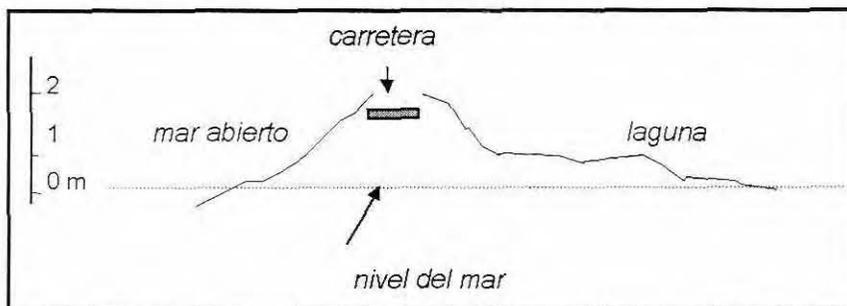


Figura 2. Perfil transversal representativo de Isla del Carmen (escala aproximada).

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS GENERALES

La Isla del Carmen es una barra constituida por depósitos arenosos cuaternarios que muestran una disposición en cordones longitudinales paralelos a la línea de costa, localmente truncados. Ello refleja una acreción constante a lo largo del tiempo, interrumpida por períodos de erosión (Yáñez, 1971; Coll, 1975; Gutiérrez y Castro, 1988).

Los cambios geomorfológicos de la isla pueden deducirse con base en documentos cartográficos de los siglos XVIII y XIX. De acuerdo con los mapas de ese tiempo, compilados por Antochiw (1994), puede apreciarse que la barra originalmente se encontraba desmembrada en un rosario de pequeñas islas, separadas por bocas y canales intermareales.

Aun considerando la imperfección cartográfica de la época, los mapas referidos ofrecen una descripción excepcional desde el punto de vista hidrográfico, toda vez que resultaba de gran importancia, tanto para comerciantes como para los piratas de la época, contar con información sobre las profundidades y accesos a la Laguna de Términos, que constituía un refugio natural.

En la mayoría de los mapas portulanos se identifican cuando menos cuatro canales que separan tres islas principales (Figura 3A). En cada acceso se muestran los fondos bajos que tienen forma semicircular o arqueada, que corresponde a abanicos deltaicos de intermareas. Hoy en día, la ubicación de dos paleo-canales en Isla del Carmen puede identificarse por inflexiones en la línea de costa, que truncan de manera discordante a los cordones litorales antes referidos. Altitudinalmente, estos paleo-canales corresponden a terrenos relativamente deprímidos, lo cual es aprovechado por las mareas y oleaje de tormenta para penetrar nuevamente, re trabajar sedimentos de la playa y depositarlos en las marismas interiores a manera de abanicos de displayamiento, proceso mantenido desde hace por lo menos dos siglos. La ubicación de los cuatro canales referidos se incluye en la Figura 3; dos de ellos corresponden a los canales de Carmen y Grande, actualmente funcionales. Un tercer paleo-canal se ubica en

Cocoyotes y el cuarto sobre la barra de Isla Aguada, al este de Isla del Carmen.

Los procesos referidos aseguran la permanencia de la barra, y por otro lado, evidencian el extraordinario dinamismo de su configuración.

RESULTADOS

A lo largo de los 40 km de costa marina de Isla del Carmen pueden apreciarse los estragos causados por el paso del huracán "Roxanne". El oleaje provocado por el meteoro creó rasgos que se asocian con el retroceso de la costa, aunque en algunos sectores se aprecian formas acumulativas.

Entre los rasgos que indican retroceso de la línea de costa puede apreciarse una franja de acumulación arenosa tierra adentro, misma que varía en promedio alrededor de 80 m y llega localmente a más de 300. Estas entrantes de arena son frecuentes a lo largo de toda la barra que constituye la isla; la Figura 4 muestra un ejemplo.

En otro sector de la costa, a lo largo de poco más de un kilómetro, se aprecian evidencias de la deriva de playa (Figura 5), identificada por la creación de una secuencia de pequeñas barras de espiga (*spits*). Como puede apreciarse, no obstante los rasgos acumulativos referidos, la ubicación de los cocoyotes en la rompiente de olas evidencia el carácter recesivo de la costa, lo que pone de manifiesto la alternancia de procesos erosivos y acumulativos y, finalmente, la importante dinámica geomorfológica costera.

La acción del oleaje y el poder erosivo del mismo fue causante de daños en la infraestructura carretera. A lo largo de 21 km, la carretera Ciudad del Carmen-Puerto Real fue afectada en diferentes grados, siendo totalmente destruida en diversos tramos localizados a menos de 150 m de la línea de costa. La Figura 6 muestra los estragos causados sobre la carretera costera, en donde se aprecia la nueva carpeta asfáltica que comienza a ser reconstruida (abajo) y la carretera destruida por la erosión marina (abajo derecha); la porción oeste (izquierda en la figura) corresponde al estero de Cocoyotes, cubierto por el mangle.

En algunos sectores, aun a distancias de la costa mayores que la referida (150 m), la carretera sufrió severos daños, como se observa en las Figuras 6 y 7. Se aprecian los trabajos de reposición de la carpeta asfáltica, destruida por el paso del agua y sedimentos acarreados por el oleaje de tormenta sobre la cresta de la barra (*wash-over*), ocasionando la depositación de sedimentos en el estero y la destrucción de algunos

sectores de manglar. El proceso referido llega a cortar la barra para comunicar el mar abierto con las áreas cubiertas de mangle de la laguna interior, de la cual drenan las aguas lagunares. Los sitios afectados por este proceso se identifican en las figuras antes señaladas, y corresponden a un bajo topográfico del antiguo canal de Cocoyotes (Figura 3), reactivado durante la tormenta.

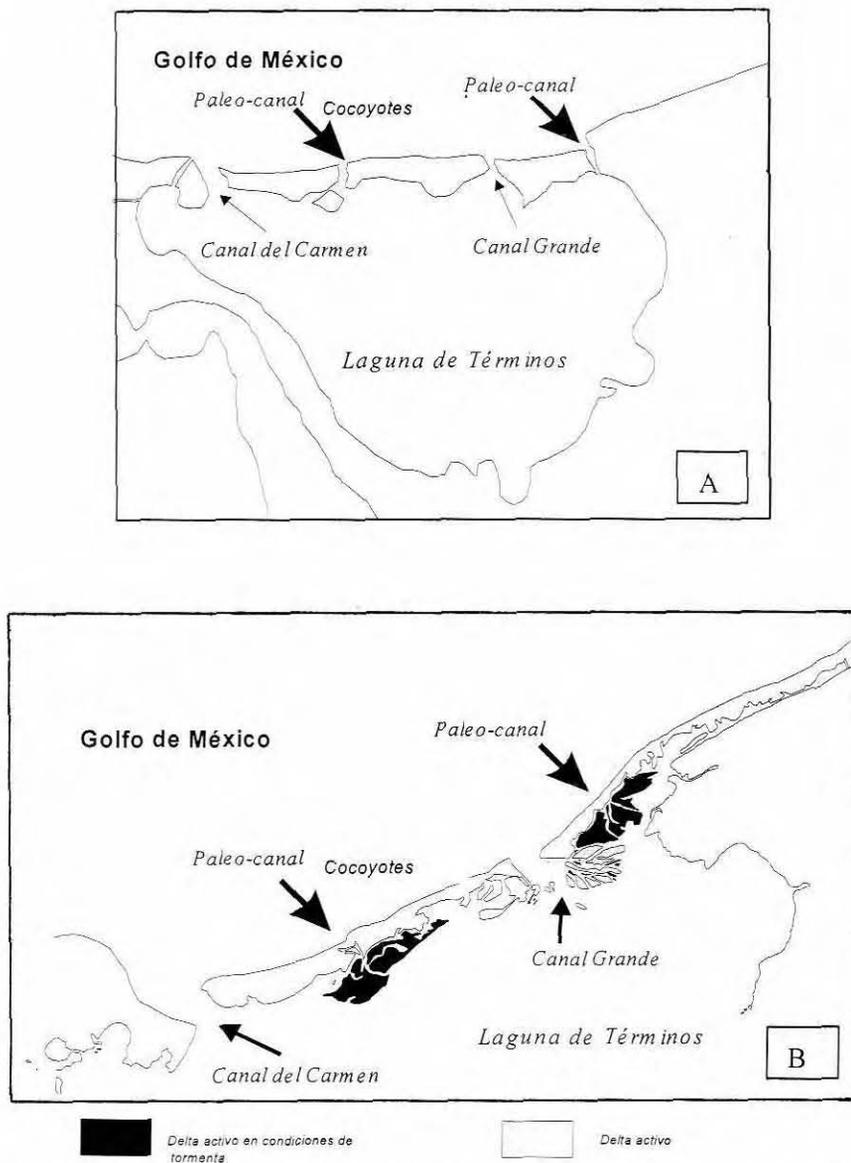


Figura 3. A) Configuración de la línea de costa en 1756, según mapa de Juan Pérez Ramírez (compilado por Antochiw, 1994); B) Configuración actual.



Figura 4. Acumulaciones de arena en forma de "lenguas" (véase también la Figura 5).
(El norte se encuentra hacia la parte inferior de la Figura).



Figura 5. Se aprecian pequeñas barras (*spits*) a lo largo de la costa, evidencia de acreción y del movimiento de los sedimentos en dirección E-W.
(El norte se encuentra al norte de la Figura).

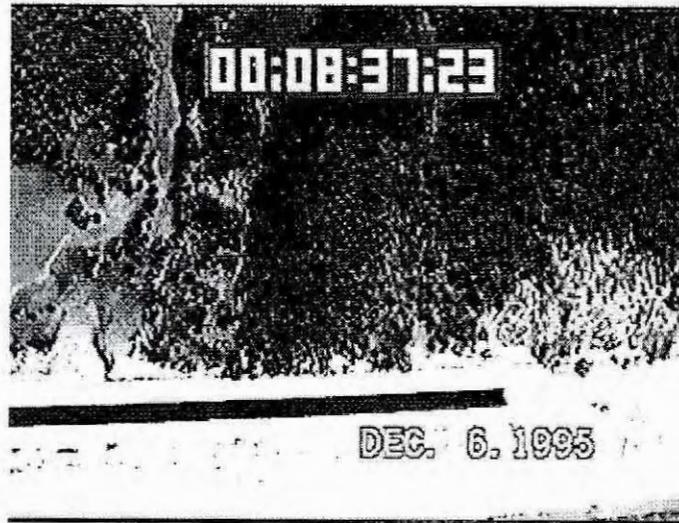


Figura 6. Se observan los estragos sobre la carretera, el tendido de la nueva carpeta asfáltica y el estero de los Cocoyotes.
(El norte se encuentra en la parte inferior de la Figura).

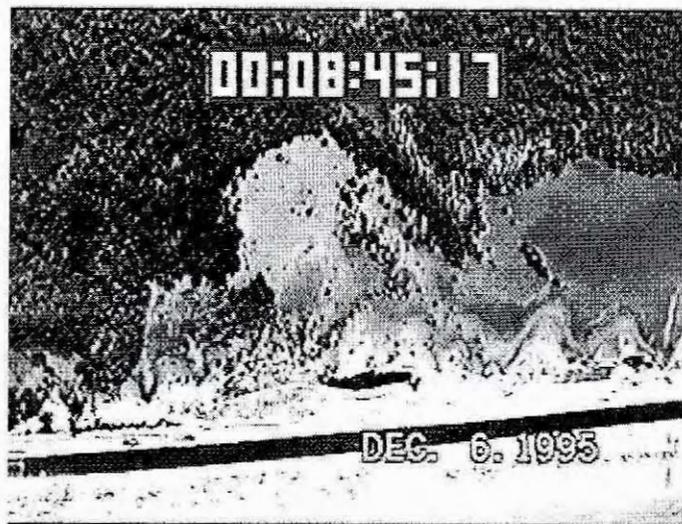


Figura 7. Se observa la depositación de arenas en el estero como consecuencia de un proceso de *wash over*.
(El norte se encuentra hacia la parte inferior de la Figura).

La mitad oriental de la isla presenta formaciones rocosas en la costa, excavadas y exhumadas por la acción del oleaje. La presencia de estas rocas de playa (*beach rocks*) incide en una morfología costera sinuosa, contrastante con la homogeneidad del trazo rectilíneo de la costa arenosa (Figura 8). La presencia de rocas de playa en el sector

oriental de la barra y la ausencia de las mismas en el occidental sugiere una deriva de playa con dirección noroeste-sureste, lo cual concuerda con la dirección de las barras de espiga (*spits*) referidas en la Figura 5, o bien, el límite de la plataforma calcárea de Yucatán.

La Figura 9 muestra con claridad el papel de la vegetación en la protección de la costa. Se aprecian dos sectores cubiertos por selva baja y uno intermedio deforestado, en donde la transgresión arenosa penetra a tierra de manera significativamente mayor que en los sectores primeramente mencionados.

La Figura 10, finalmente, refiere las formas y procesos descritos anteriormente a lo largo de la costa estudiada. El área afectada por el *wash-over* se estima en 24 km²; las barras se aprecian en un sector de cuatro kilómetros de longitud y los daños a la carretera son perceptibles a lo largo de 21 km.



Figura 8. Se observa la presencia de roca de playa o *beach rock*.
(El norte se encuentra hacia la parte inferior de la Figura)

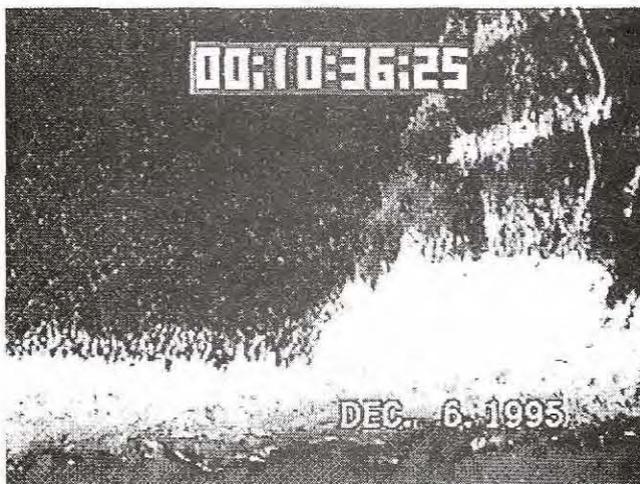


Figura 9. Se aprecia la entrada de arena tierra adentro, siendo este proceso más evidente en áreas deforestadas (a la derecha de la figura) que en áreas forestadas (a la izquierda).
(El norte se encuentra hacia la parte inferior de la Figura)

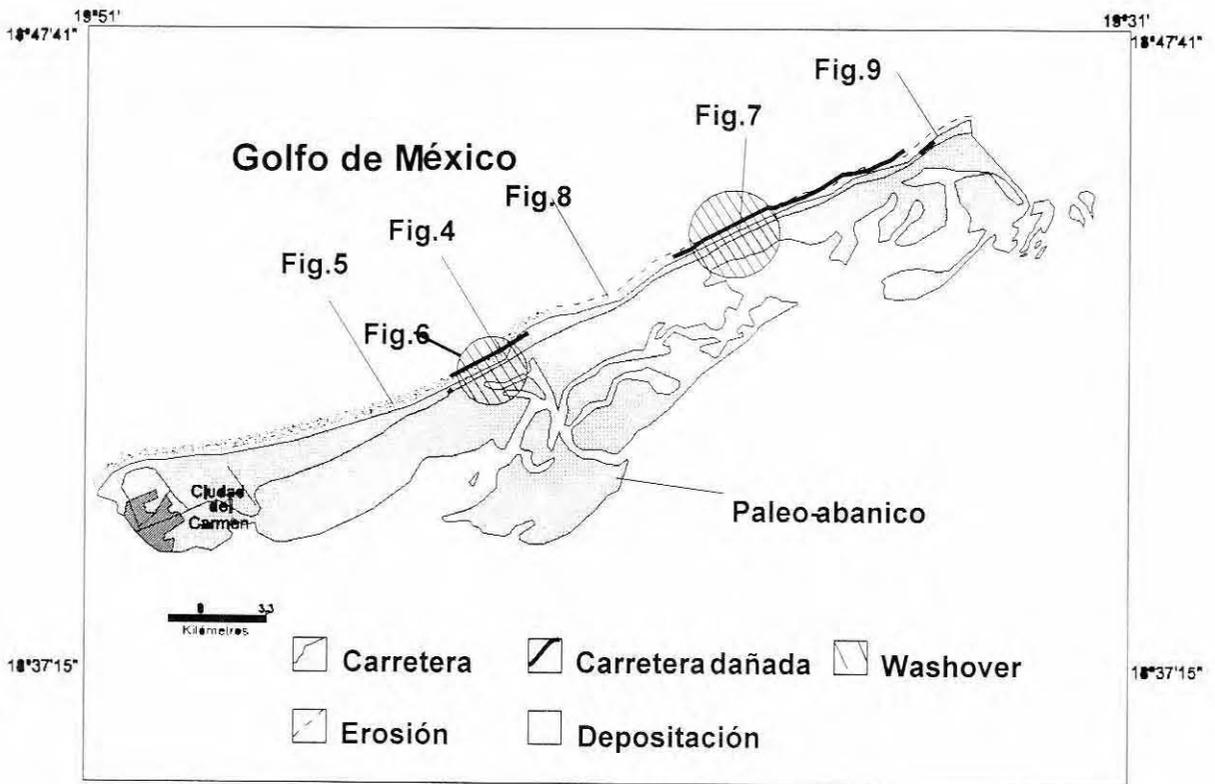


Figura 10. Ubicación general de daños en la costa marina de Isla del Carmen. Se muestra la ubicación de las figuras referidas en el texto.

CONCLUSIONES

La dinámica geomorfológica de la costa marina de Isla del Carmen, asociada con el paso del huracán "Roxanne", se caracteriza por procesos erosivos acumulativos que determinan un balance de transgresión o recesivo de la costa en la porción oriental de la isla, mientras que el sector occidental muestra rasgos acumulativos principalmente, intercalados localmente con zonas de erosión. En esta distribución se aprecia la influencia de la deriva de playa, con dirección noreste-suroeste.

Los daños causados a la infraestructura y los rasgos geomorfológicos descritos, permiten reconocer un área de alto riesgo por la acción del oleaje, ubicada hasta los 80 m de la costa

aproximadamente, y en ocasiones hasta de 150 m, en la cual pueden preverse consecuencias en el caso de ocurrencia de huracanes como el "Roxanne". Localmente, esta franja puede ser considerablemente mayor (el máximo detectado fue de unos 300 m). Los paleo-canales intermareales son también zonas vulnerables al oleaje de tormenta (*wash-over*) en los que pueden esperarse daños en eventos futuros.

En lo referente al uso del video como herramienta de reconocimiento y detección geomorfológica, la tecnología puede considerarse de gran utilidad, sobre todo en relación con fenómenos que requieren de una rápida evaluación y respuesta, como en el caso de los estragos causados por fenómenos atmosféricos como el referido.

REFERENCIAS

- Antochiw, M. (1994), *Historia cartográfica de la península de Yucatán*, Gobierno del Estado de Campeche, México.
- Coll, A. (1975), *El suroeste de Campeche y sus recursos naturales*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Everitt, J. H. y P. R. Nixon (1985), "Video imagery: a new remote sensing tool for range management", *Journal of range management*, 38, pp. 421-424.
- Everitt, J. H. y D. E. Escobar (1995), "Using video imaging technology for remote sensing of natural resources", *VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, noviembre, Puerto Vallarta, Jalisco, México, pp. 753-773.
- Gutiérrez, M. y A. Castro (1988), "Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos", en *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México*, Organización de los Estados Americanos-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.
- Palacio, J. L. y J. López (1994), "Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion", *ITC Journal*, 3, pp. 233-237.
- Tropical Prediction Center (1996): <http://thunder.met.fsu.edu/explores/Tropical/td19/td19.html> (información obtenida por Internet).
- Yáñez, A. (1971), "Procesos costeros y sedimentos recientes de la plataforma continental al sur de la bahía de Campeche", *Bol. Soc. Geológica Mexicana*, vol. 32, núm. 2, pp. 75-115.