

Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente

Recibido: 22 de noviembre de 2006. Aceptado en versión final: 14 de septiembre de 2007

José Ramón Hernández Santana*
Mario Arturo Ortiz Pérez*
Ana Patricia Méndez Linares*
Lilia Gama Campillo**

Resumen. El análisis de los impactos y modificaciones en los ambientes costeros modernos constituye uno de los problemas de mayor importancia científica internacional, en la actualidad, y de especial interés gubernamental a nivel local, tal como lo representa el caso particular del sistema costero tabasqueño. En este trabajo se exponen las tendencias morfodinámicas en el margen costero estatal (retroceso y acreción costera), mediante la aplicación del método cartográfico histórico-comparativo de documentos correspondientes a los años 1943, 1972, 1984 y 1995, así como por observaciones y mediciones geomorfológicas de campo (2003-2004). Estas últimas se ejecutaron en algunos sectores con régimen de retroceso sostenido de la costa, entre los que se destacan las tasas medias anuales de retroceso del poblado Sánchez Magallanes (-3 a -5 m/año) y de la des-

embocadura del río San Pedro y San Pablo (-8 a -9 m/año). El estudio morfodinámico costero propició la selección de los sitios para el monitoreo permanente, a mediano y largo plazos, como estrategia complementaria para el seguimiento del grado de modificación de la línea costera de Tabasco y de sus escenarios actuales de vulnerabilidad. Las localidades propuestas para el monitoreo sistemático son, de oeste a este: Sánchez Magallanes, El Alacrán, Barra de Tupilco, Playas El Limón, Dos Bocas y Bruja, zona costera entre San Luis e Ixtapan, todas con tendencia retrogradativa; y La Constanza-San Ramón, y La Barra, ambas con tendencia progradativa o de acreción.

Palabras clave: Morfodinámica costera, acreción, retroceso costero, Tabasco.

Morphodynamic of the Tabasco State shoreline, Mexico: trends from the mid 20th century to the present

Abstract. The analysis of the impacts and modifications on the current coastal environments constitutes one of today's main scientific international issues and is highly relevant for local governments, such as case of the Tabasco coastal system. This work exposes the morphodynamic trends of the state coastal margin (coastal recession and/or coastal

accretion), based on the application of the cartographic historical-comparative method of the 1943, 1972, 1984 and 1995 cartographic surveys, as well as field observations and geomorphological measurements (2003-2004). These measurements were conducted along the zones with a regime of sustained shoreline recession. Annual rates

*Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, México, D.F. E-mail: santana@igg.unam.mx, maop@igg.unam.mx, patyml@igg.unam.mx.

**División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco. E-mail: lillygama@yahoo.com.

of the recession are particularly high at the town Sánchez Magallanes (-3 to -5 m/year) and at the mouth of the San Pedro and San Pablo river (-8 to -9 m/year). The coastal morphodynamics investigation allowed the selection of sectors for mid-term and long-term permanent monitoring of the shoreline, as complementary strategy for monitoring the degree of modification of the Tabasco shoreline and its current scenarios of vulnerability. The localities proposed for systematical monitoring are, from West to East: Sánchez Magallanes, El Alacrán, Tupilco's Bar, Beaches El Limón, Dos Bocas y Bruja, the shoreline between San Luis and Ixtapan, all with recessional trend; and La Constanza-San Ramón, and La Barra, both with accretional trend.

Key words: Coastal morphodynamics, accretion, coastal erosion, Tabasco State.

INTRODUCCIÓN

En México se presentan diversos escenarios costeros, tanto en el margen correspondiente al Océano Pacífico en el borde occidental, como en el Golfo de México y el Mar Caribe, en su extremo oriental, con una longitud total nacional de costa frontal, abierta al mar, de 10 544 km, que junto con los entrantes de aguas costeras interiores e insulares eleva la cifra a alrededor de 24 945 km (Ortiz y De la Lanza, 2005). Este universo costero mexicano está sujeto, en mayor o menor medida, a las fluctuaciones (ascensos principalmente) del nivel medio del mar, los cuales están determinando importantes modificaciones, algunas irreversibles, en su morfología y génesis, así como en sus paisajes físico-geográficos y ecosistemas naturales, al igual que sustanciales afectaciones a sus asentamientos humanos e infraestructuras productivas.

La línea de costa correspondiente al Golfo de México posee una longitud de 2 775 km aproximadamente, a los que se adicionan 4 900 km de márgenes de aguas interiores, resguardadas por barreras bajas arenosas en una planicie costera, que varía entre 30 y 150 km de ancho, la cual es atravesada por más de 25 ríos importantes y 23 lagunas de diferentes extensiones. Los procesos geomórficos terrestres, fundamentalmente los fluviales, lacustres y palustres, así como la morfodinámica litoral, han determinado un complejo sistema interactivo de diferentes ambientes transicionales entre islas de barrera, desembocaduras fluviales, deltas y esteros,

estrechamente conectados a planicies de inundación, lagunas, marismas de manglar, ciénagas y manglares (Ortiz *et al.*, 1996b). Esta compleja estructura de la interfase tierra-mar, determina que en las costas del litoral mexicano del Golfo de México estén ocurriendo cambios geomorfológicos importantes, que operan a distintas escalas espaciales y de tiempo (Psuty, 1965; Ortiz, 1992), derivados de la influencia del cambio climático global sobre el nivel oceánico que, a su vez, son acelerados por las actividades humanas, que de manera consciente o no, acentúan este efecto indirecto de los gases de invernadero sobre el sistema costero (Titus, 1987), y cuya repercusión, en el caso que nos refiere, es el ascenso del nivel medio del mar.

Las consecuencias de este fenómeno son la erosión, las inundaciones y la salinización de tierras, de aguas superficiales y del manto freático cercano que, a su vez, influyen en las características estructurales y en la distribución espacial de los ecosistemas asociados (Pannier, 1992) y, por otro lado, se altera la verdadera vocación original del uso del suelo, con efectos directos sobre la economía regional que, en ocasiones, determinan el abandono del territorio y el éxodo a los vecinos, por el momento no vulnerables (Hernández, 1999).

En el estado de Tabasco existe una gran preocupación gubernamental por las variaciones en los patrones de precipitación y del nivel medio del mar, producto del calentamiento global y de su indiscutible repercusión en los ecosistemas, los asentamientos humanos y la infraestructura socioeconómica de su sistema costero. Por ello, el desarrollo del proyecto "Evaluación del efecto de las variaciones en el nivel del mar y régimen de precipitación como fenómenos climáticos globales en la planicie costera tabasqueña del Golfo de México" (TAB-2003-CO3-11474), tiene como objetivo central propiciar la determinación de las variaciones espacio-temporales de la línea costera del estado, durante las últimas tres décadas, originadas fundamentalmente por las variaciones del nivel medio del mar, así como por la magnitud de las modificaciones geográficas de su territorio.

Por otra parte, tanto los cálculos de retroceso y acreción costera por cartografía histórica comparativa (INEGI, 1943, 1972, 1984 y 1995), así como

por evidencias y monitoreo de cambios morfodinámicos de la línea de costa, recopilados durante los recorridos de campo realizados en septiembre de 2003 y 2004, permitieron satisfacer el objetivo primordial de este trabajo, en cuanto a la valoración de las tendencias morfodinámicas actuales del margen costero de interés, y contribuyeron a la selección de sectores clave para el establecimiento del monitoreo permanente de la línea costera, a mediano y largo plazo de la línea de costa, como estrategia adicional para el seguimiento del nivel de vulnerabilidad y del grado de modificación del medio costero estatal de Tabasco.

Múltiples trabajos en el Golfo de México (Ortiz, 1992; Ortiz *et al.*, 1996a; GEF-PNUD, 1999; Pérez, 2003; Morton *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2005) reflejan un predominio de los procesos de retroceso de la costa del Golfo de México. Magaña *et al.* (2000) señalan que más de 15 000 km² de zonas costeras mexicanas están amenazados por el ascenso del nivel del mar, afectando por igual a los ecosistemas, la ganadería y la agricultura.

En el Hemisferio Sur americano, Lanfredi *et al.* (1988) estimaron los daños territoriales en las costas de Argentina, a partir de diversos escenarios de ascenso del nivel del mar, de 0.2, 0.5 y 1.0 m de incremento hasta el 2100, propuestos por Dennis *et al.* (1995). Más recientemente, Lanfredi *et al.*

(1998) pronostican ascensos de 1.6 ± 0.2 mm/año en la región argentina de Quequén.

Realmente, cualquiera de los estimados determinaría fuertes modificaciones en los ambientes costeros del Golfo de México, pero con mayor intensidad en los sectores con subsidencia sostenida de la corteza terrestre y con procesos intensos de consolidación de sus depocentros terciario-cuaternarios.

ÁREA EN ESTUDIO

Localización geográfica

La zona costera del estado de Tabasco está comprendida entre los 92° 28' y los 94° 10' de longitud Oeste aproximadamente, y los 17° 15' y los 18° 39' de latitud Norte, localizada en la meso-región sureste de México, limitada al norte, por el Golfo de México; al sur, por el estado tabasqueño; al este-noreste, por el estado de Campeche; y al oeste, por el estado de Veracruz (Figura 1).

Constitución geológica y condiciones geomorfológicas

Su territorio costero ocupa extensas planicies planas, bajas y muy bajas, con pendientes inferiores a los 0.5°, y de carácter acumulativo

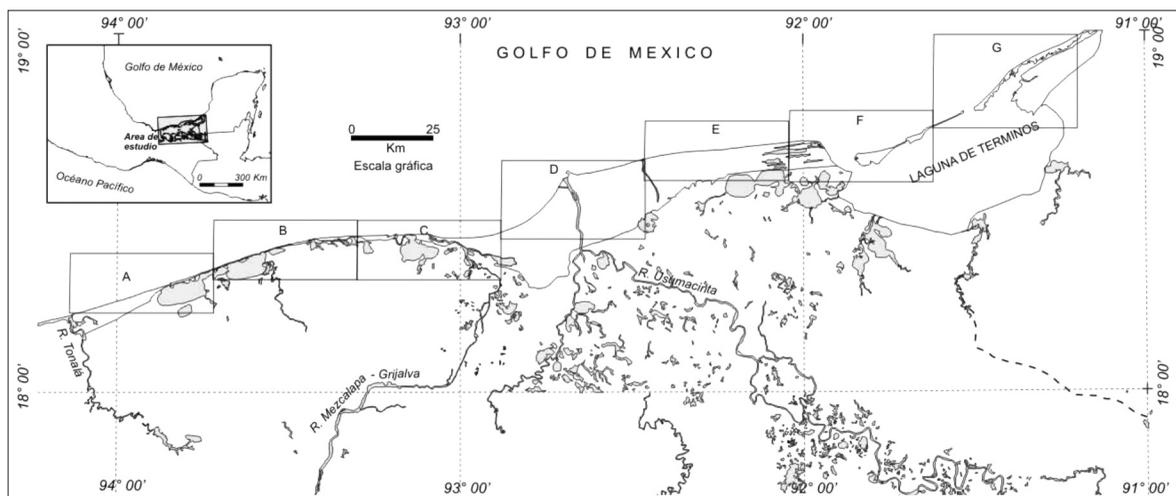


Figura 1. Localización del área en estudio. Sectores de cartografía comparativa: A. E15A77, Sánchez Magallanes; B. E15A87, Cocohital; C. E15A79, Comalcalco; D. E15B71, Villa Vicente Guerrero; E. E15B61, Felipe Carrillo Puerto; y F. E15B62, Frontera.

poligenético (fluvial, lacustre, palustre y marino), constituidas por depósitos cuaternarios recientes (arenas, arcillas y limos), sobre un zócalo de rocas calcáreas terciarias. La línea costera tabasqueña presenta un predominio morfológico de playas bajas y arenosas, en ocasiones, con presencia de islas barreras, que encierran una serie de lagunas litorales, entre las que se destacan: El Carmen, Pajonal, Machona, Tupilco, Tres Palmas, Arrastradero, Las Flores, Mecocacán, La Tinaja y otras de menor extensión.

Características climáticas generales

El clima tabasqueño es muy cálido y húmedo, con un régimen hidrotérmico caracterizado por precipitaciones anuales entre 1 500 y 2 000 mm (Vidal, 1990) y temperaturas medias anuales superiores a los 26° C (García y Vidal, 1990a), con valores extremos mínimos entre 20-22° C, en enero, y máximos entre 30-34° C, en mayo (García y Vidal, 1990b). El régimen de vientos posee un fuerte predominio de la dirección E-NE (Pérez Villegas, 1990a), con una velocidad promedio entre 4 y 6 m/seg, en ocasiones superiores a 8 m/seg (Pérez Villegas, 1990b).

Sistemas hidrográficos

Los principales sistemas hidrográficos son los de las cuencas de los ríos Grijalva y Usumacinta, caracterizados por una elevada movilidad y migración, determinadas por la débil pendiente de sus planicies y por el abundante escurrimiento proveniente de la Sierra Norte de Chiapas. En general, el territorio presenta un escurrimiento medio anual entre 1 000 y 2 000 mm, fundamentalmente en los meses de julio a diciembre (Jiménez y Maderey, 1990).

Peculiaridades del suelo y de la vegetación

Los suelos son muy uniformes, representados por gleysoles, con propiedades hidromórficas extremas (López, 1990), sobre los cuales se desarrolla una abundante vegetación acuática y subacuática, así como sectores aislados de bosques tropicales perennifolios (Rzedowski, 1990). Dentro de los tipos de vegetación que se encuentran en la subprovincia de las Llanuras y Pantanos Tabasqueños, sobresale la asociación de tular-popal, que abarca aproxi-

madamente el 23% de la superficie total estatal. El desarrollo de esas comunidades vegetales está condicionado fundamentalmente por la presencia de zonas pantanosas y de inundación poco profundas, que han sido originadas por la abundante precipitación, de 2 000 a 3 000 mm anuales, sobre planicies con suelos arcillosos y de drenaje lento, como los suelos Gleysoles, Solonchak gléyicos y Vertisoles pélicos (<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/tab>).

La vegetación de manglar está distribuida en la parte posterior del cordón litoral, bordeando las lagunas, que se extienden paralelas a la costa y que tienen conexión con el mar; su presencia está condicionada a las situaciones de inundación y concentración de sales disueltas en agua (Moreno *et al.*, 2002); las especies dominantes son mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*, (L.) Gaertn) y mangle prieto (*Avicennia germinans*, (L.) L.), (García y Palma, 1998). El manglar se desarrolla sobre suelos que permanecen constantemente inundados por agua salina estancada, y soporta cambios fuertes de nivel de agua y salinidad, pero no se establece en lugares francamente rocosos o arenosos, ni en zonas sometidas a oleaje fuerte.

Mareas, corrientes marinas litorales y régimen de oleaje

De acuerdo con datos de las estaciones mareográficas Coatzacoalcos, Usumacinta y Ciudad del Carmen, el régimen mareográfico es de tipo mixto (Fernández *et al.*, 1990a). La circulación superficial del mar alcanza valores de 14 cm/seg, en el verano, y de 6 a 8 cm/seg, en invierno, con predominio direccional de este a oeste (Fernández *et al.*, 1990b).

A lo largo de las costas mexicanas, en el Golfo de México existen varios regímenes de oleaje, determinados por la influencia de las tormentas tropicales, los frentes fríos y el fetch de los vientos Alisios del noreste, a lo largo del Golfo de México. En general, las olas alcanzan entre 1.4 y 2.3 m de altura (energía baja a intermedia), con excepción de las generadas por los huracanes y los frentes fríos cuyas alturas alcanzan a los 4.5 m (Lankford, 1977). Estas características energéticas del oleaje

sobre un litoral de génesis acumulativa y en condiciones de tendencias al ascenso del nivel medio marino, constituye una permanente y creciente amenaza a todo el sistema costero tabasqueño, que debe considerarse seriamente en los planes actuales de ordenamiento ecológico de su territorio.

ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR: ALGUNOS CRITERIOS CUANTITATIVOS ACTUALES Y FUTUROS

Las predicciones sobre las variaciones del ascenso del nivel medio del mar, para los mares intra-americanos, son diversas, de 3.0 a 5.3 mm/año (Aparicio, 1993, citado en Ortiz y Benítez, 1996), de 10 cm para el 2025 (Hanson y Maul, 1993), de entre 10 y 20 cm durante el siglo XX (Raper, 2000), y otros, pero todos convergen en la realidad oceanográfica del ascenso, que determinará, en el futuro, la gran crisis ambiental y socioeconómica de las zonas costeras, a nivel global. En este sentido, el Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2001) alerta sobre un incremento de dos a cinco veces sobre lo propuesto por Raper (2000) para el presente siglo XXI.

En años anteriores, el IPCC (1998), basado en registros menos fiables, proponía ascensos entre 50 y 90 cm pero, posteriormente, este estimado disminuía entre 13 y 68 cm (IPCC, 2001), y en estimaciones más recientes (IPCC, 2007) alcanzan de 18 a 59 cm para el presente siglo. Por ejemplo, ante este panorama de amenaza costera, el GEF-PNUD (1999) ha estimado ascensos de 2.9 mm/año en las últimas tres décadas para el territorio insular cubano, ubicado en la boca del Golfo, y con una proyección del ascenso del nivel marino entre 8 y 44 cm, hasta el 2050 (Pérez, 2003). Indiscutiblemente que los cambios geográficos de estos escenarios, debidos al retroceso costero, serán de dimensiones incalculables, y por citar algunos ejemplos, en Bretaña es de 1.0 m/año, en la isla japonesa de Nii Jima es de 2.3 a 2.9 m/año, en la costa inglesa de Lyme Bay, que presenta subsidencia a un ritmo de 2.0 m/año, existe un retroceso de 40 m/siglo (Fernández-Suárez, 2005). El retroceso en las costas de la Federación Rusa, también registra valores

significativos debidos a la abrasión marina: Mar Báltico, 0.5-2.5 m/año; Mar del Lejano Oriente, 0.5-2.0 m/año; Mar Negro, 0.3-0.5 m/año; y Mar de Azov, 1.8-2.0 m/año (Pastuchkoba, 2006).

Otras instituciones reportan tasas más críticas de ascensos del nivel medio del mar, por ejemplo: Mar Negro (52.5 cm/siglo), partes de Indonesia (30 cm/siglo), región de Venecia (30 cm/siglo), Países Bajos (20 cm/siglo), costa sureste de Inglaterra (10 cm/siglo; Fernández-Suárez, 2005). Una de las predicciones más utilizadas es la de Warrick *et al.* (1996), quien plantea, según sus modelos experimentales, ascensos de 49 cm para el 2100, pero con un rango de incertidumbre entre 20 y 86 cm. A su vez, Miller y Mountain (1994) señalan que la aceleración del ascenso del nivel del mar en las costas de New Jersey, desde hace 5 000 años hasta unos 200 años atrás, era de 1 mm/año, lo que contrasta con su duplicación a 2 mm/año, a partir de los reportes mareográficos desde 1850, y satelitales más recientes, hasta el presente. Realmente, cualquiera de los estimados propuestos a nivel mundial, conducirían a fuertes modificaciones en los ambientes costeros del Golfo de México, pero con mayor intensidad en las planicies acumulativas bajas tabasqueñas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el cálculo de los cambios en la línea costera del estado de Tabasco se digitalizó la información planimétrica de ésta, contenida en las hojas cartográficas E15A77-Sánchez Magallanes, E15A87-Benito Juárez, E15A78-Cocohital, E15A79-Comalcalco, E15A71-Villa Vicente Guerrero, E15B61-Felipe Carrillo Puerto y E15A62-Frontera, todas a escala 1:50 000 (INEGI, 1980, 1982, 1985, 1998, 1999, 2001). Las primeras ediciones, de 1980, 1982 y 1985, con el sistema de Datum NAD27 y las más recientes, como segunda línea comparativa, con el sistema de ITRF92 (Tabla 1). Ambas informaciones fueron compatibilizadas y procesadas digitalmente, utilizando los SIGs ILWIS versión 3.0 Academic y Arc View versión 3.0, lo que permitió la obtención de los datos vectoriales de la línea de costa, en cada período, y observar los cambios ocurridos mediante

Tabla 1. Hojas cartográficas de INEGI empleadas en el análisis de las tendencias morfodinámicas de la línea de costa del estado de Tabasco

Código	Nombre	Sistema de georreferenciación y año de edición.	
		NAD27; Esferoide Clarke (1866); Proyección Transversa de Mercator, INEGI	ITRF92; Elipsoide GRS80; Proyección Transversa de Mercator, INEGI
E15A77	Sánchez Magallanes	Fecha de vuelo 1984; 1ª. edición, 1985	Fecha de vuelo 1995; 3ª. edición, 1999
E15A87	Benito Juárez	Fecha de vuelo 1984; 1ª. edición, 1985	Fecha de vuelo 1995; 2ª. edición, 1998
E15A78	Cocohital	Fecha de vuelo 1984; 1ª. edición, 1985	Fecha de vuelo 1995; 2ª. edición, 1998
E15A79	Comalcalco	Fecha de vuelo 1972; 1ª. edición, 1982	Fecha de vuelo 1995; 3ª. edición, 2000
E15B71	Villa Vicente Guerrero	Fecha de vuelo 1972; 1ª. edición, 1980	Fecha de vuelo 1995; 3ª. edición, 2000
E15B61	Felipe Carrillo Puerto	Fecha de vuelo 1972; 1ª. edición, 1980	Fecha de vuelo 1995; 3ª. edición, 2001
E15B62	Frontera	Fecha de vuelo 1972; 1ª. edición, 1980	Fecha de vuelo 1995; 3ª. edición, 1999

la comparación de los mismos. Además, en el caso del poblado Sánchez Magallanes, se realizó un levantamiento topográfico en 2003, con ayuda de un GPS y de cintas métricas, lo cual permitió tener otra referencia de línea costera, en ese sector costero, tan altamente dinámico.

En este último análisis, la captura digital se realizó en el SIG ILWIS 3.0 con la extensión E00, y posteriormente, se convirtieron a la extensión SHP para el manejo de vectores y de edición en el SIG Arc View 3.0, para hacer el análisis comparativo de las posiciones y distancias entre las líneas de costa de diferentes períodos de tiempo, mediante el trazado de transectos perpendiculares a las mismas con espaciamiento entre ellos de cada 5 km de longitud, a lo largo de la costa.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Tendencias morfodinámicas de la costa tabasqueña

La problemática de los cambios morfodinámicos de las costas en el Golfo de México es el reflejo de las manifestaciones regionales del ascenso del nivel medio del océano mundial, como resultado tanto del ascenso normal por la influencia del actual período interglacial, como por los efectos inducidos por la actividad humana durante el Antropoceno, en la etapa antrópica más reciente del Holoceno.

Investigaciones sistemáticas emprendidas por Morton *et al.* (2005) en las costas de los estados de la Florida, Alabama, Mississippi, Louisiana y Texas (EUA) comparando materiales de cartografía histórica y reciente, correspondientes a varios momentos temporales (mediados y finales del siglo XVIII, 1920 a 1930, 1970 y 1998 a 2002) y en un total de 25 778 perfiles transversales elaborados, arrojaron un promedio general de 73.6% de sectores costeros con un retroceso significativo, del orden de -14 m/año, como promedio máximo general, con retrocesos máximos particulares en las costas de Louisiana (-36.8 m/año) y de Mississippi (-13.5 m/año), siempre para valoraciones de largo período. El promedio del proceso de retroceso es de -2.78 m/año, con promedios extremos en los mismos estados entre -8.2 y -3.1 m/año. Por otra parte, el proceso de acreción se desarrolla en un 26.4% de las costas como promedio general, con valores promedios de +7 m/año, con máximos en Texas por el orden de +14.9 m/año.

Estos mismos autores, pero para un período corto, posterior a 1998 y hasta el 2002, y a lo largo de 27 386 perfiles transversales, calcularon un 59% de costas en franco retroceso y un 41% en progradación. El promedio general de retroceso costero reportado es de -4.68 m/año, con máximos extremos de hasta -78.6 m/año en el estado de Louisiana y de -46.4 m/año en Mississippi. En cuanto a la acreción, se registran valores promedios de

+2.84 m/año, con extremos de +48.2 m/año y de +37.3 m/año en los estados de Texas y la Florida, respectivamente.

Otros territorios de la cuenca del Golfo, como la región noroccidental cubana, señalan retrocesos de costa en varias playas de ese país, con efectos máximos superiores a 3 m/año (Pérez, 2003); y desde 1 hasta 9 m/año, registrado en las playas del Mar Caribe (<http://www.elsalvador.com/hablemos/2006/060806/060806-9.htm>). Estos efectos morfodinámicos, sumados a los reportados en este trabajo sobre las costas tabasqueñas, evidencian el comportamiento, tanto del retroceso costero como de la acreción en la región del Golfo de México, pero indican una marcada tendencia del primero sobre el segundo, tanto en extensión geográfica como en magnitud anual del proceso degradativo.

Con respecto a las costas de Tabasco, desde el punto de vista morfodinámico costero, los cambios morfológicos de su línea de costa son una de las evidencias más claras en el retroceso de la misma

hacia el interior de la porción continental (Ortiz, 1992), lo cual está plenamente comprobado mediante el análisis comparativo de distintas imágenes aéreas de diferentes fechas de vuelo, sobre el frente deltaico del río San Pedro y San Pablo, en el límite político de Tabasco y Campeche; así como, por las evidencias de estos cambios costeros, a través de la destrucción de tierras, de la erosión e inundación de las planicies bajas.

En este sentido, los resultados de las interpretaciones por cartografía comparativa, entre los años 1943-1958 y 1972-1984 (Ortiz y Benítez, 1996), muestran que el retroceso de la costa es un evento común en todo el frente deltaico de los estados de Tabasco y Campeche, con una tasa media anual de -8 m, con años extremos de hasta -15 m/año, en la desembocadura del río San Pedro-San Pablo. Los cálculos de las tendencias entre 1984 y 1995, presentados en este trabajo, también reflejan la tendencia sostenida desde 1943, con valores entre -9 y -10 m/año (Figura 2). En la costa de Atasta se mantienen retrocesos costeros del orden de -8 a

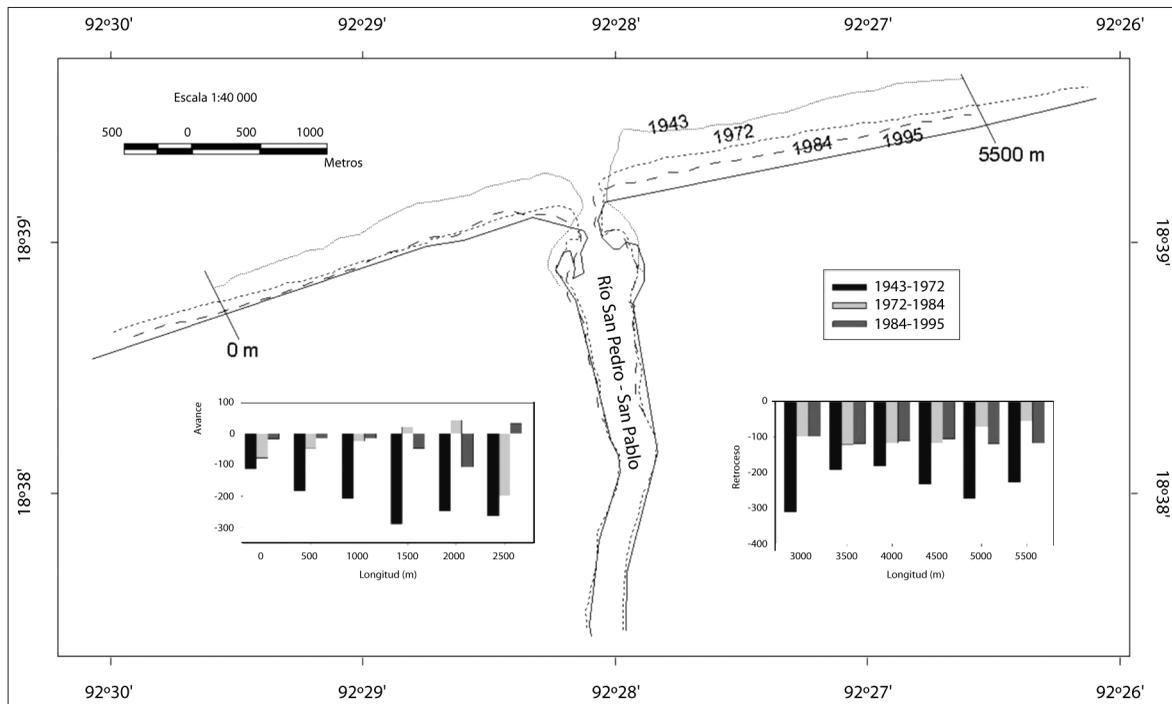


Figura 2. Retroceso de la costa en el frente deltaico del río San Pedro y San Pablo, entre los períodos 1943-1972, 1972-1984 y 1984-1995.

-9 m/año, con valores extremos de hasta -21 m/año. Los cálculos recientes sobre la morfodinámica de la línea costera tabasqueña, determinados en este trabajo mediante la comparación de las líneas de costa de 1972, 1984 y 1995, revelan cifras alarmantes de retroceso costero en diversos sectores. Por ejemplo, el análisis de la línea costera en el sector del poblado de Sánchez Magallanes (hoja E15A77-Sánchez Magallanes), revela retrocesos de entre -3 a -5 m/año. Entrevistas realizadas a los habitantes de esta localidad denotan un retroceso intenso de -25 m en cinco años aproximadamente (Concepción de la Cruz Martínez, comun. pers., 2004). Esta valoración se aproxima a los datos obtenidos durante el último año de monitoreo, donde alcanzó -3 m/año (septiembre de 2003 a septiembre de 2004). Además, se refleja en las construcciones derribadas y ocupadas por el mar y las defensas (frentes de palizadas y de sacos de arena) improvisadas por los habitantes para atenuar los efectos del oleaje (Figura 3), así como por el deterioro de los oleoductos de PEMEX,

localizados a lo largo de la costa, que han sido exhumados por la morfodinámica litoral en la porción occidental del poblado de Sánchez Magallanes (Figura 4).

Sin embargo, si se comparan los valores morfodinámicos, entre 1995 y 2003, del microsector de 4 km en la zona de Sánchez Magallanes, se destaca una fuerte tendencia al retroceso costero, con valores mínimos de -10 a -20 m y con máximos de hasta -70 y -87 m, en el extremo noreste del sector. Esta tendencia queda marcada en la situación destructiva actual de las instalaciones del poblado, como se aprecia en las Figuras 3 y 4.

Más hacia el noreste de Sánchez Magallanes, en las localidades de Campo Arjona y Sinaloa (segunda y primera secciones), los valores reflejan una ciclicidad entre los procesos progradativos y los retrogradativos, con valores promedios entre ± 20 m; lo cual varía bruscamente en El Manatinero, con retrocesos de -55 a -60 m, entre 1984 y 1995.

La interpretación del sector costero de la hoja E15A78-Cocohital, de configuración ligeramente



Figura 3. Retroceso de la costa en la localidad de Sánchez Magallanes, estado de Tabasco (septiembre de 2004). Obsérvense las casas derribadas y ocupadas por el mar, y las defensas (frentes de palizadas y de sacos de arena) improvisadas por los habitantes para atenuar los efectos del oleaje.



Figura 4. Deterioro de los oleoductos de PEMEX, localizados a lo largo de la costa, que han sido exhumados por la morfodinámica litoral en la porción occidental del poblado de Sánchez Magallanes, estado de Tabasco (septiembre de 2004).

convexa en Barra Tupilco, indica un acelerado retroceso en diversas localidades: El Alacrán (-127 m), Tupilquillo (-28 m); Barra Tupilco a Guano Solo (-47 a -98 m) y Playa Azul (-22 a -48 m; Figura 5). En la localidad de Playa Azul, el estimado de los pobladores para esta misma zona (Renato Segura, comun. pers., 2004), refleja un gradiente de retroceso de -1.5 m/año aproximadamente, y se considera que esta tendencia, desde 1932 hasta el presente, ha sido superior a los -100 m de retroceso total. Esta tendencia retrogradativa de la costa ha determinado la ruptura, por sectores, de la carretera costera en el poblado El Alacrán (Figura 6, septiembre de 2004).

En el sector de costa, ligeramente proyectado al mar y comprendido entre La Unión y Playa Bonita, en la hoja E15A79-Comalcalco, durante el período 1972-1995 (23 años), se destaca el retroceso de la línea costera en La Unión (-18 a -37 m), en Playa El Limón (entre -73 y -262 m), en las playas Dos Bocas y Bruja (entre -35 a -92 m) y al este de Barra Chiltepec. En contraste con el sector ante-

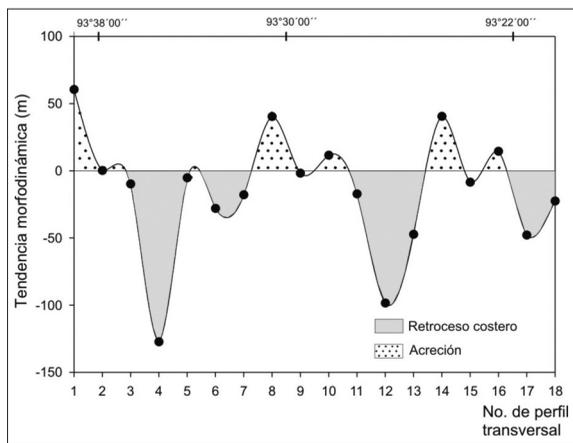


Figura 5. Variaciones de la línea de costa de la hoja E15A78 (Cocohital), a escala 1:50 000, durante el período 1984-1995. Obsérvense los gradientes de retroceso costero de -11.5 m, en la localidad de El Alacrán, y de -9 m/año, en Barra de Tupilco.



Figura 6. Ruptura de la carretera costera como resultado del retroceso de la costa, en el poblado El Alacrán (hoja E15A78, Cocohital), en el estado de Tabasco (septiembre de 2004).

rior, sobresale el tramo comprendido entre Playa Bonita y San Ramón, en la hoja E15B71-Villa Vicente Guerrero, donde el proceso progradativo se extiende en casi toda su totalidad, con valores entre +36 y +44 m (Playa Bonita a Los Doctores, al oeste) y de +90 hasta +110 m (La Constancia a San Ramón, en el este). La configuración suavemente cóncava de este sector costero pudiera explicar el predominio acumulativo creciente en su litoral, a expensas del volumen de sedimentos, previamente erosionados y transportados desde las zonas vecinas (Figura 7).

El tramo comprendido entre Lerma y la Barra, en la desembocadura del río Usumacinta (hoja E15B61-Felipe Carrillo Puerto), revela valores progradativos entre +193 y +223 m, en la localidad de Lerma, variando bruscamente unos kilómetros hacia el noreste, donde se presenta un retroceso notable, entre -354 y -588 m, en las proximidades de la desembocadura de dicho sistema fluvial, el mayor de todo el estado. El panorama cambia nuevamente a tendencias de

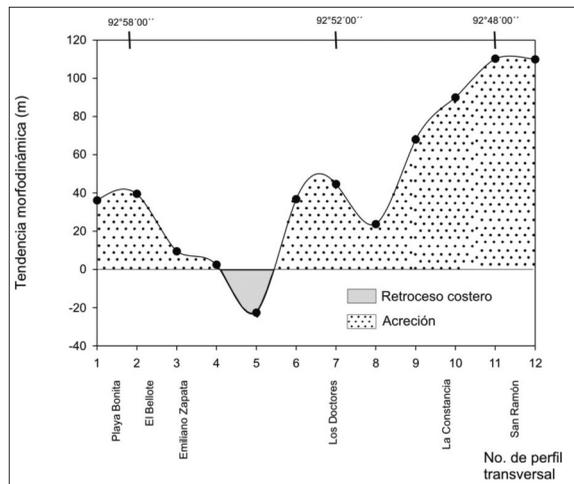


Figura 7. Variaciones de la línea de costa de la hoja E15B71 (Villa Vicente Guerrero), a escala 1:50 000, durante el período 1972-1995. Como contraste con el resto de la zona costera tabasqueña, en este sector se desarrolla un intenso proceso de acreción, con valores hasta de +8 m/año y +10 m/año.

acumulación creciente, con valores de hasta +283 m, en la localidad de La Barra, debido a los grandes aportes de sedimentos fluviales de dicho sistema fluvial (Figura 8).

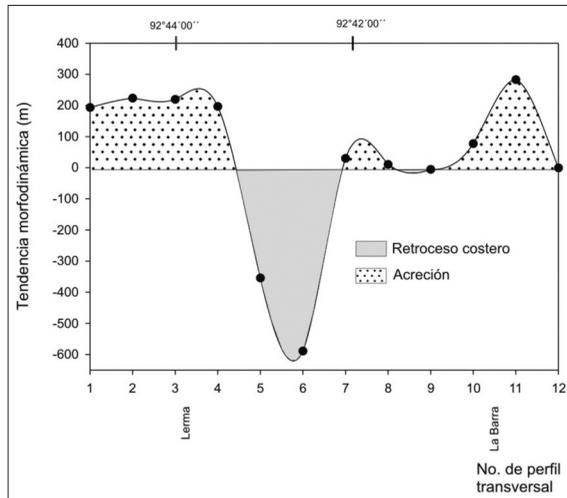


Figura 8. Variaciones de la línea de costa de la hoja E15B61 (Felipe Carrillo Puerto), a escala 1:50 000, durante el período 1972-1995. En este sector se conjuga el proceso de acreción (localidades de Lerma, con +9.6 m/año, y de La Barra, con +12.3 m/año) con el de retroceso intenso, el más notable de todo el estado, en las inmediaciones de la desembocadura del río Usumacinta, con un gradiente de -25 m/año, durante un intervalo de 23 años.

Finalmente, el tramo costero entre Villa del Mar e Ixtapan (hoja E15B62-Frontera), muestra avances progradativos entre +44 y +132 m, en el sector occidental, con configuración ligeramente cóncava de su línea de costa, comprendido entre Villa del Mar y Playa Tropicentla. Estas configuraciones costeras contribuyen a los procesos acumulativos marinos. Hacia el este, la configuración costera se torna convexa, con su eje de inflexión en la desembocadura del río San Pedro y San Pablo, donde los procesos de retroceso costero varían entre -143 m (San Luis) y -226 m (al este de la Barra San Pedro), destruyendo los ecosistemas de manglares (Figura 9). Dicha tendencia retrogradativa se mantiene a lo largo del litoral, con valores entre -18 y -103 m, ya en los alrededores de Ixtapan.

Monitoreo morfodinámico: propuesta de áreas altamente dinámicas y críticas

Los cálculos y el análisis comparativo entre las líneas de costa permitieron identificar ciertos sectores costeros, donde los procesos retrogradativos y progradativos demandan del establecimiento de una red de monitoreo para los próximos años. Este proceso de mediciones constituiría un indispensable sistema complementario, para hacer seguimiento de la morfodinámica y tendencias evolutivas a lo largo de toda la costa tabasqueña, lo cual permitiría adoptar las medidas correspondientes para evitar daños a los asentamientos humanos y a sus infraestructuras sociales y productivas.

Para este monitoreo se emplearía el método de nivelaciones transversales por secciones de la costa, con mediciones dos veces al año, al final del verano y del invierno, respectivamente. Como resulta en casi todas las costas acumulativas del Golfo de México y del Mar Caribe septentrional, los perfiles de playa son destruidos durante el invierno y recuperados nuevamente en el verano. El monitoreo permitirá detectar las tendencias al final de cada estación, y con ello disponer de registros estadísticos que permitan pronosticar los efectos del ascenso del nivel medio del mar en las próximas décadas.

Las localidades que se proponen para dicho monitoreo sistemático son: a) Sánchez Magallanes, b) El Alacrán, c) Barra de Tupilco, d) Playa El Limón, e) Playas Dos Bocas y Bruja y f) sector costero San Luis a Ixtapan, todas de tendencias al retroceso costero; y g) sector costero La Constancia-San Ramón y h) La Barra, ambos de tendencia progradativa. En total, serían ocho sectores a lo largo de todo el litoral tabasqueño.

CONCLUSIONES

Los procesos morfodinámicos a lo largo de la zona costera del estado de Tabasco, determinados en este trabajo para un intervalo de 23 y más años, revelan un predominio del retroceso de su línea de costa sobre los efectos de los procesos de acreción. Estas tendencias, tanto por su extensión litoral y



Figura 9. Destrucción de ecosistemas de manglares costeros, producto del retroceso de la costa, al este de la desembocadura del río San Pedro y San Pablo, estado de Tabasco (septiembre de 2004). En esta localidad, el retroceso sumario durante más de medio siglo (1943 a 1995) registra más de medio kilómetro, con un gradiente anual entre -9 y -10 m.

predominio de los procesos, como por sus valores dinámicos anuales, son también comparables con los existentes en otras regiones del Golfo de México y del Mar Caribe, e incluso con masas marinas de altas y medias latitudes, lo que constituye una nueva evidencia, de carácter morfodinámico, sobre la marcada tendencia al ascenso del nivel medio del mar, reportada en numerosos trabajos internacionales sobre esta problemática.

Las tasas anuales correspondientes a los diferentes intervalos temporales utilizados en el análisis comparativo, reportan gradientes morfodinámicos máximos de retroceso costero, entre -9 y -11 m/año, en las localidades de Sánchez Magallanes, El Alacrán, Playa El Limón y desembocadura del río San Pedro y San Pablo; de retroceso con carácter intermedio, entre -4 y -7 m/año, en El Manatenero, en Playa Azul, en la Barra Tupilco y hasta Guano Solo, y en las Playas Dos Bocas y Bruja; y con erosión débil, entre -0.7 y -2.5 m/año, en La Unión y en Tupilquillo. Las tasas de acreción alcanzan gradientes notables de sedimentación y

crecimiento anual de +8.3 a +9.7 m/año y hasta +12.0 m/año, en las localidades de Lerma y La Barra; tasas intermedias entre +2.0 y +5.7 m/año, desde La Constancia hasta San Ramón, y desde Villa del Mar hasta Playa Tropicentla; y gradientes débiles, del orden de +1.5 hasta +1.9 m/año, en el sector costero comprendido entre Playa Bonita y Los Doctores. Los máximos retrocesos se concentran en los sectores con configuración ligeramente convexa de la costa, mientras los procesos de acreción se encuentran y acrecientan en las configuraciones costeras ligeramente cóncavas y, en ocasiones, en las inmediaciones de algunas desembocaduras fluviales.

RECOMENDACIONES

Sin duda, el contexto de geodiversidad de las costas del Golfo de México y de las tabasqueñas es tan amplio, diverso y multifactorial, que ante los cambios globales y regionales del nivel medio

del mar, se requerirá de análisis espaciales y de modelaciones específicas, tanto para determinar sus alcances, como para precisar las medidas de prevención, mitigación y de manejo de estos frágiles ecosistemas, en aras de su conservación.

Otra de las soluciones a corto y mediano plazo es el establecimiento de programas regionales y locales de ordenamiento territorial, con vistas a la reducción de los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, desafortunadamente fortalecidos por el ascenso del nivel marino, y a la planificación adecuada, fuera de zonas subsidentes de la corteza terrestre, ya sea por el régimen tectónico reciente o por compactación sedimentaria en los extensos depocentros regionales, ambas componentes aún por revelar mediante el empleo de la geodesia aplicada u otros métodos cuantitativos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT y al Gobierno de Tabasco el apoyo presupuestario de sus fondos mixtos al proyecto *TAB-2003-CO3-11474*. A su vez, se reconoce el esfuerzo técnico realizado por los becarios Manuel Figueroa Mah-Eng y Mario Enciso Salazar del Instituto de Geografía de la UNAM.

REFERENCIAS

- Dennis, K. C., E. J. Schnack, F. H. Mouzo and C. R. Orona (1995), "Sea-level rise in Argentine: potential impacts and consequences", *Journal of Coastal Research*, Special Issue, 14.
- Fernández Eguiarte, A., A. Gallegos García y J. Zavala Hidalgo (1990a), "Oceanografía Física 1", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.9.1, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Fernández Eguiarte, A., A. Gallegos García y J. Zavala Hidalgo (1990b), "Oceanografía Física 2", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.9.2, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Fernández-Suárez, E. (2005), "Respuesta de la costa al ascenso del nivel del mar", consultado en octubre de 2005, <http://webs.uvigo.es/esuarez/RNL.pdf>
- García, E. y R. Vidal Zepeda (1990a), "Temperatura media", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.4, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García, E. y R. Vidal Zepeda (1990b), "Temperaturas extremas", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.5, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García, L. E. y D. J. Palma (1998), "Asociación suelo-vegetación en tres zonas fisiográficas de Tabasco", en Magaña, P. (ed.), *Libro de Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica*, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- GEF-PNUD (1999), *Protección de la biodiversidad y desarrollo sostenible en el ecosistema Sabana-Camagüey, Cuba*, Proyecto CUB/92/G31, Alcolado, P. M., E. E. García y N. Espinosa (eds.), CESYTA, S. L., Madrid.
- Hanson, K. and G. Maul (1993), "Analysis of temperature, precipitation and sea-level variability with concentration on Key West, Florida, for evidence of Trace-Gas-Induced Climate Change", Maul, G. (ed.), *Climate change in the Intra-Americas Sea*, UNEP/IOC, pp. 194-214.
- Hernández Santana, J. R. (1999), "Interacción tierra-mar en condiciones de subsidencia reciente sostenida de la corteza terrestre y riesgos ambientales insulares: Cuba Oriental, Grandes Antillas", en *El Caribe: contribución al conocimiento de su geografía*, Ed. GIDO-ALVIGRAF, La Habana, pp. 29-34.
- Hernández-Santana J. R., M. A. Ortiz Pérez, A. P. Méndez Linares, M. Salazar Enciso y J. M. Figueroa Mah Eng (2005), *Variaciones espacio-temporales de la línea costera del estado de Tabasco durante las últimas 4 décadas y su representación cartográfica*, CONACYT-Gobierno del Estado de Tabasco, Villahermosa, México.
- <http://www.elsalvador.com/hablemos/2006/060806/060806-9.htm>, Playas del Caribe y ecosistemas marinos en riesgo, *Tierramérica* (6 de agosto de 2005).
- <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/tab>, Mapa de agricultura y vegetación, INEGI (11 de septiembre de 2007).
- INEGI (1980), Hoja E15B71, Villa Vicente Guerrero, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1980), Hoja E15B61, Felipe Carrillo Puerto, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1980), Hoja E15B62, Frontera, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1982), Hoja E15A79, Comalcalco, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

- INEGI (1985), Hoja E15A77, Sánchez Magallanes, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1985), Hoja E15A87, Benito Juárez, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1985), Hoja E15A78, Cocohital, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2000), Hoja E15B71, Villa Vicente Guerrero, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2001), Hoja E15B61, Felipe Carrillo Puerto, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1999), Hoja E15B62, Frontera, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2000), Hoja E15A79, Comalcalco, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1999), Hoja E15A77, Sánchez Magallanes, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1998), Hoja E15A87, Benito Juárez, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (1998), Hoja E15A78, Cocohital, a escala 1:50 000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- IPCC (1998), *Climate Change 1998*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (2001), "Climate change 2001: third Assessment Report", Intergovernmental Panel on Climate Change Switzerland, <http://ipcc.ch> (20 february, 2003).
- IPCC (2007), "Four Assessment Report: Climate Change 2007", Intergovernmental Panel on Climate Change, Wikipedia. consultado en agosto de 2007, http://en.wikipedia.org/wiki/Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change#IPCC_Fourth_Assessment_Report:_Climate_Change_2007
- Jiménez Román, A. y L. E. Maderey Rascón (1990), "Ecurrimiento medio anual", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.6.4, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Lanfredi, N. W., E. E. D'Onofrio and C. A. Mazio (1988), "Variations of the Mean Sea Level in the Southwest Atlantic Ocean", *Continental Shelf Research*, 8 (11), pp. 1211-1220.
- Lanfredi, N. W., J. L. Pouse and E. E. D'Onofrio (1998), "Sea-level Rise and Related Potential Hazards on the Argentine COAST", *Journal of Coastal Research*, 14 (1), pp. 47-60.
- Lankford, R. (1977), "Coastal lagoons: their origin and classification", in Wiley, M. (ed.), *Estuarine Processes*, Academic Press, New York, pp. 182-215.
- López García, J. (1990), "Unidades taxonómicas de suelos", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.7.1, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez y C. Gay (2000), "Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México", en Gay, C. (comp.), *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*, pp. 15-21.
- Miller, K. G. and G. S. Mountain (1994), "Global sea-level change and the New Jersey margin", in Mountain, G. S. et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, 150: College Station, TX (Ocean Drilling Program), pp. 11-20.
- Moreno Cáliz, E., A. Guerrero Peña, M. del C. Gutiérrez Castorena, C. A. Ortiz Solorio y D. J. Palma López (2002), "Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono", *Madera y Bosques*, núm. esp., pp. 115-128.
- Moreno Casasola, P., E. Peresbarbosa Rojas y A. C. Travieso Bello (eds.; 2005), *Manejo costero integral: el enfoque municipal*, Instituto de Ecología, Xalapa, t. 1.
- Morton, R. A., T. Miller and L. Moore (2005), "Historical Shoreline Changes along the US Gulf of Mexico: a summary of recent choreline comparisons and analyses", *Journal of Coastal Research*, v. 21, no. 4, pp. 704-709.
- Ortiz Pérez, M. A. (1992), "Retrosceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del río San Pedro, Campeche, Tabasco", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 25, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-23.
- Ortiz Pérez, M. A. y J. Benítez (1996), "Elementos teóricos para el entendimiento de los problemas de impacto ambiental en las planicies delticas: la región de Tabasco y Campeche", en Botello, A. V., J. L. Rojas-Galaviz, J. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, EPOMEX, Serie científica 5, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 483-503.
- Ortiz Pérez, M. A., C. Valverde and N. P. Psuty (1996), "The impacts of sea-level rise and economic development on the low-lands of the Mexican Gulf Coast", in Botello, A. V., J. L. Rojas-Galaviz, J. Benítez y D. Zárate-Lomelí (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, EPOMEX, Serie científica 5, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 459-470.

- Ortiz, Pérez, M. A. y G. de la Lanza Espino (2005), *Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional*, Serie Textos Universitarios, núm. 3, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Pannier, F. (1992), "El ecosistema de manglar como indicador de cambios globales en la zona costera tropical", *Ciencia* 43, núm. esp., pp.111-113.
- Pastuchkoba, S. A. (2006), "Marskie noberezhia possinskoi federacii i ij prabobaia zachita" (Costas marinas de la Federación Rusa y su defensa legal), *Zhurnal Geomorfologuia*, no. 1, pp.20-24 (en ruso).
- Pérez Hernández, A. L. (2003), "The territorial planning in the reduction of the vulnerability to natural hazards in Cuba's coastal zone", *Regional Geomorphological Conference*, México, p. 137.
- Pérez Villegas, G. (1990a), "Viento dominante durante el año", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.2, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Pérez Villegas, G. (1990b), "Energía del viento predominante", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.3, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Psuty, N. P. (1965), "Beach-Ridge Development in Tabasco", *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 55, México, pp. 43-54.
- Raper, S. (2000), *Information Sheet 10: Sea-Level Rice*, Nonwich (UK), Climate Research Unit. <http://www.cru.wea.ac.uk/info/slr/> (july 2000).
- Rzedowski, J. (1990), "Vegetación potencial", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.8.2, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Titus, J. (1987), *Sea level rise and wetland loss: an overview, Greenhouse effect, sea level rise and coastal wetlands*, EPA (Environmental Protection Agency), EUA, pp. 1-35.
- Vidal Zepeda, R. (1990), "Precipitación", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.6, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Warrick, R. A., C. Le Provost, M. F. Meier, J. Oerlemans and P. L. Woodworth (1996), "Changes in sea level", in Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kuttnerberg and K. Maskell (eds.), *Climate Change 1995: the Science of Climate Change* (Contribution of WCI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 359-405.