

GEODINÁMICA HOLOCÉNICA Y RECIENTE DEL SISTEMA FLUVIO- DELTÁICO GRIJALVA-USUMACINTA, SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

*Holocene and Recent Geodynamics of the Fluvial-Deltaic Grijalva-Usumacinta
System, Southwest Gulf of Mexico*

J. Eduardo Aguayo C.¹, Mario A. Gutiérrez-Estrada¹, Juan Araujo
Mendieta², José H. Sandoval-Ochoa¹ y Felipe Vázquez-Gutiérrez¹.

RESUMEN

La Planicie Costera del suroeste del Golfo de México, desde el Cuaternario al Reciente, es consecuencia del aporte de sedimentos terrígenos provenientes de la denudación de las rocas de la Sierra Madre del Sur; de la efectividad del transporte, dispersión y depósito de los procesos costeros por corrientes litorales, oleaje, mareas y eólicos, y de las corrientes generadas durante las épocas de tormentas. Aunado a estos mecanismos, las condiciones continentales y marinas durante el Holoceno tardío (5 600 años), fueron propicias para que en el área se depositaran grandes extensiones progradantes de bermas y de cordones litorales hacia el Golfo de México, cuya progradación hacia el norte fue del orden de 6 a 10 metros/año. La planicie costera se reactivó tectónicamente y los depósitos sedimentarios holocénicos se desplazaron 7.5 km hacia el noroeste, a razón de 4 metros por año, a lo largo de un sistema de fallas transcurrentes, exponiendo los frentes del complejo fluvial deltaico a la acción de los procesos erosivos costeros; simultáneamente, la porción oriental del área de estudio, se desplazó en sentido opuesto, hacia el sureste, a lo largo de la traza de la Falla Xicalango, depositándose en la actual Punta Xicalango, los sedimentos transportados del occidente, provenientes de la denudación de los frentes deltaicos. Actualmente, el frente del complejo deltaico se sigue erosionando, a razón de 3 a 4 metros/año, a la misma velocidad del desplazamiento tectónico durante el Holoceno; su erosión también se debe al poco aporte de sedimentos terrígenos arenosos, así como a la influencia de la corriente oceánica anticiclónica que acarrea hacia el noroeste a los sedimentos fluvial-deltaicos, y a la corriente oceánica de frontera que incide en el talud y en la plataforma continental del occidente del Golfo de México; más aún, es probable que la erosión también se deba a cambios climáticos globales. Por lo tanto, con las condiciones actuales de sedimentación e hidrodinámica marina, es baja la posibilidad que el complejo fluvial-deltaico Grijalva-Usumacinta, prograda hacia el norte.

Palabras clave: Golfo de México, geología marina y costera, tectónica reciente y sedimentación fluvial-deltaica.

ABSTRACT

The Coastal Plain at southwestern Gulf of Mexico, since Quaternary to Recent, resulted from the supply of terrigenous sediments, due to denudation of the outcropping rocks of the Sierra Madre del Sur and also because the efficiency of the transport, dispersion and deposition of the coastal processes by means of litoral currents, waves, tides, eolian, and washovers. Moreover, the continental and marine conditions were favorable during the late Holocene (5 600 years) to deposit extensive prograding terrigenous sediments toward the Gulf of Mexico, developed by berms and beach-ridge deposits with a rate of northern progradation about 6 to 10 meters/year. The coastal plain suffered a tectonic

1. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Facultad de
Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México.
Apartado Postal 70-305, México 04510 D.F.

2. Subdirección de Exploración y Producción, Instituto
Mexicano del Petróleo Eje Central Lazaro Cárdenas 152,
México 07730, D.F.

reactivation and as consequence the holocene sedimentary deposits moved 7.5 km northwestern along a fault-transcurrent system with a rate of 4 m/year; then, the fluvial-deltaic fronts were exposed to the action of the erosional coastal processes. Contemporaneously to these tectonic displacements, eastern block moved along the Xicalango-Fault to the southeast and the stratigraphic sequence at Punta Xicalango at the eastern portion of the studied area, resulted from the sediments derived from the denudation of the fluvial-deltaic front at western side of the studied area. The complex-deltaic front, is undergoing erosion today at a rate of 3 to 4 meters/year, same speed as such of that of the tectonic displacements occurred during Holocene; also erosion occurs due to the scarcity of sand and because the presence of anticyclonic ring marine current transporting the sediments northwestern and also, because the collision of a loop current anticyclonic ring against the continental shelf-slope, which also transport the sediments along the coastal zone of the western Gulf of Mexico; moreover, may be erosion occurs because global climate changes. Therefore, under the actual sedimentary and marine hydrodynamics, possibility is low that Grijalva-Usumacinta fluvial-deltaic complex system progrades northern.

Palabras clave: Gulf of Mexico, Geology marine and coastal, recent tectonic, fluvial-deltaic sedimentation.

Introducción

La Planicie Costera del suroeste del Golfo de México de sur a norte, desde sus estribaciones con la Sierra Madre del Sur hasta el litoral del golfo, tiene una extensión horizontal aproximada a los 124 km., y de oriente a poniente, desde la Laguna de Términos, Campeche, hasta el Río Tonalá, Tabasco, comprende alrededor de 350 km., y por sus dimensiones, es la llanura fluvial-deltaica más extensa de México, con un escurrimiento medio anual de 10, 560 millones de metros cubicos (Jiménez-Román y Maderey-Rascón, 1990); representa casi el 35 % el escurrimiento total de las cuencas hidrográficas del país. No obstante a su gran flujo, el volumen de sedimentos en suspensión acarreados anualmente, es relativamente bajo (menos de 50 tons / km²), si se le compara con los de otras cuencas hidrográficas, por ejemplo, los de la Cuenca del Río Balsas, en la que se transportan anualmente más de 500 tons / km² de sedimentos en suspensión (Maderey-Rascón, 1990). Las causas principales, son la dimensión y capacidad de las cuencas hidrográficas, y la distancia del transporte de los sedimentos desde su fuente de origen hasta el lugar del depósito; que son de mayor magnitud en la Cuenca del Balsas que en la del Grijalva-Usumacinta.

La llanura costera en mención, es el resultado del aporte de sedimentos terrígenos provenientes de la Sierra Madre del Sur, transportados por los sistemas fluviales del Tonalá, Mezcalapa y Grijalva-Usumacinta, desde el Cuaternario al Reciente, así como al transporte y depósito de los sedimentos marinos y costeros acarreados por corrientes litorales, que son retrabajados y depositados por el oleaje y las mareas, eólicamente y por las corrientes generadas durante las tormentas. La distribución y el depósito de los sedimentos terrígenos y marinos, son depen-

dientes de los procesos geológicos, climáticos e hidrodinámicos, que conforman ambientes y subambientes sedimentarios, tales como: planicies de inundación con pantanos y marismas, lagunas, canales fluviales y depósitos deltaicos, entre otros asociados. La llanura costera y la plataforma continental fueron afectadas al ser expuestas o inundadas, por los procesos de intensa erosión o de extrema sedimentación, ocurridos durante las oscilaciones del nivel del mar por los cambios climáticos globales de los períodos glaciales y posglaciales del Pleistoceno tardío y el Holoceno, respectivamente (Coleman, Roberts y Bryant, 1991). Sin embargo, los ecosistemas no solo fueron alterados por estos cambios climáticos, también interactuaron otros procesos, como son los geológicos, que afectan regional y localmente a las provincias sedimentarias marinas, costeras y continentales, por la acción de fenómenos tectónicos, volcánicos, por la subsidencia y emersión diferencial del basamento, por compactación y expansión sedimentaria, entre otros procesos naturales. En síntesis, la planicie costera del suroeste del Golfo de México, ha estado expuesta a procesos geológicos, oceánicos, climáticos y atmosféricos, que interactúan permanentemente desde el Neógeno a la época actual, y durante las últimas décadas, también está siendo afectada de forma acelerada por las diversas actividades humanas, que inciden significativamente en los ecosistemas litorales y costeros, dañando a las comunidades ribereñas y a los recursos naturales de forma irreversible (Vázquez-Gutiérrez, *et. al.*, 1994).

Localidad

El área de estudio, está situada en la planicie costera del Estado de Tabasco y en la porción occidental del

de Campeche, de la provincia del Suroeste del Golfo de México. Geográficamente se enmarca entre las siguientes coordenadas: 92° 00' - 93° 00' de Longitud Oeste, y 18° 00' - 18° 30' de Latitud Norte. La provincia corresponde al complejo fluvial-deltaico de los ríos Grijalva-Usumacinta, en las zonas de bermas y cordones litorales holocénicos y actuales, cubriendo una superficie de 4 125 km², (Fig. 1A).

Objetivos

1. Establecer el modelo de evolución tectónica-sedimentaria de la planicie fluvial-deltaica, con base en el estudio de los rasgos geológico-estructurales, morfológicos y fisiográficos, y en la definición cronoestratigráfica de sus depósitos sedimentarios, por el método de carbono radioactivo en conchas de moluscos.
2. Identificar y caracterizar los impactos recientes causados por los procesos erosivos marinos y costeros, en el frente del complejo fluvial-deltaico del Usumacinta-Grijalva.
3. Definir los procesos hidrodinámicos marinos interactuantes con los costeros de transporte, dispersión y sedimentación, que impiden la progradación del frente deltaico hacia el interior de la Plataforma Continental.

Métodos de trabajo

1. En gabinete, se elaboró el mapa geo-referenciado, identificando las estructuras geológicas regionales y destacando a los cordones litorales, barras de desembocadura, zonas de humedales y a los canales principales, sus tributarios y distributarios; por medio de la observación de fotografías de vuelo bajo, con cartas topográficas de INEGI, ambas a escalas 1: 50,000, y con el apoyo de fotografías satelitales LANSAT, bandas 3, 4 y 5 (1987) y NOAA-GOES (Octubre 12, 1997).
2. Se seleccionaron 24 sitios de muestreo en aquellas zonas que manifiestan diferencias evidentes entre sí: fisiográficas, morfológicas, geológico-estructurales y estratigráficas.
3. En el campo, se verificó el área, y se localizaron y situaron los sitios de muestreo utilizando plancheta y tránsito, referidos a las mojoneras y a las estaciones hidrográficas de la SARH, así como a los poblados ribereños, lo cuales están localizados geográficamente.

4. En los afloramientos, se documentaron los impactos causados a los ecosistemas y a las obras civiles debido a los procesos erosivos actuales; se colectaron muestras de sedimentos terrígenos y conchíferos. Las muestras del subsuelo se obtuvieron por medio de una perforadora manual con motor de diesel, de tramos de rosca sin fin, tipo NX (7.5 cm. de diámetro), con capacidad de penetración hasta de 5 metros; la perforadora se transportó en una plataforma montada en cayucos, arrastrados por otro cayuco con motor fuera de borda y con vehículo terrestre en los caminos de acceso.
5. En cada sitio de muestreo, se separó el sedimento terrígeno de los residuos orgánicos; se colectaron selectivamente las conchas de moluscos bivalvos y gasterópodos mejor preservadas. De los 24 sitios de muestreo previamente programados en gabinete, únicamente se pudieron colectar en 15 sitios, sedimentos y conchas de moluscos, por su factibilidad de análisis por el método de carbono radioactivo. Las muestras de los otros 9 sitios restantes se descartaron por su inaccesibilidad en el área, o bien, las muestras que se colectaron presentan un alto grado de intemperismo y abrasión.
6. En el laboratorio de Sedimentología y Petrología Sedimentaria del Instituto Mexicano del Petróleo y el de Ocenografía Geológica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM; se procesaron y estudiaron textural y composicionalmente los sedimentos colectados, siguiendo los criterios establecidos por Folk y Ward (1957). Con el microscopio petrográfico convencional de luz polarizada, se identificaron las partículas minerales por medio de láminas delgadas. Las determinaciones de edades radiométricas por el método de carbono radioactivo, se obtuvieron de los laboratorios del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Antecedentes

No obstante la importancia social y económica de la región, hay relativamente pocos trabajos de investigación geológica del Cuaternario, que en forma integral definan la problemática sobre el deterioro ambiental, que por fenómenos de erosión costera ocurren a lo largo del frente fluvial-deltaico del Grijalva-Usumacinta. Putsy (1965, 1967) describe y explica el origen de los cordones litorales ("beach-ridge"),

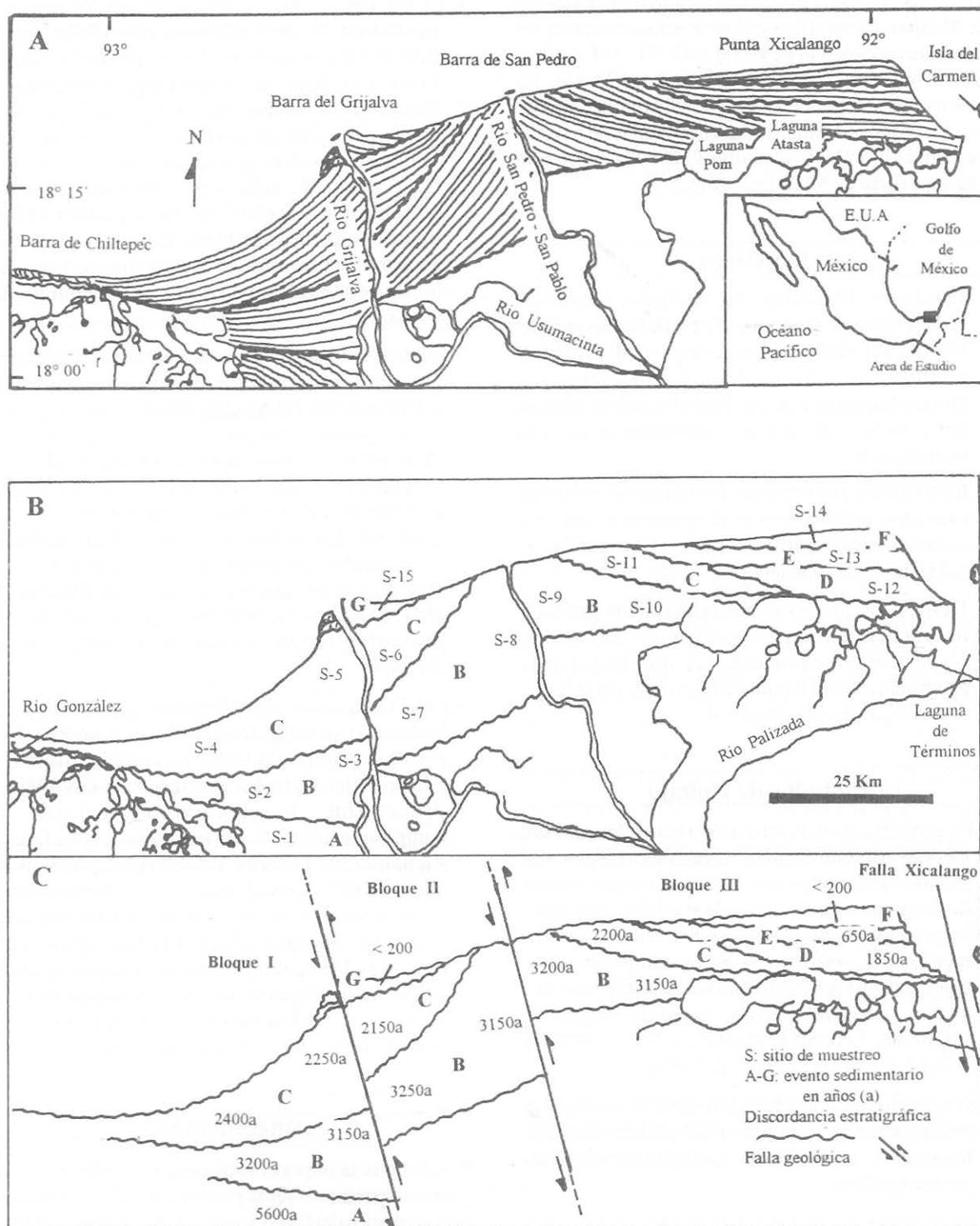


Figura 1. En la figura 1A, se muestra la localidad geográfica del área de estudio y la distribución de los cordones litorales del complejo fluvial deltaico Grijalva-Usumacinta; en la figura 1B se señalan los eventos sedimentarios mayores (A-G) y los sitios de muestreo S (1-15); en la figura 1C, se muestran los eventos sedimentarios y su posición cronoestratigráfica, en relación al sistema geológico-estructural del área.

durante la etapa de progradación holocénica deltaica hacia el Golfo de México, cuando el nivel del mar básicamente era el mismo que el actual, con ligeras fluctuaciones, hace 6,000-5,000 años, y con un gran aporte de sedimentos fluviales, depositados como bermas en las playas durante el verano; posteriormente, estos mismos sedimentos eran retrabajados y redepositados como cordones litorales por las corrientes generadas durante las tormentas de invierno. Tanner y Stapor (1971), explican los procesos de erosión que ocurren en el frente del complejo deltaico Grijalva-Usumacinta y concluyen que, cuando menos en los últimos 50 años o hace varios siglos, la planicie costera dejó de progradar, y que actualmente se encuentra en una etapa de franca retrogradación por insuficiencia de aportes de sedimentos arenosos y porque, al igual que en otras planicies costeras en varias partes del mundo, se manifiestan procesos erosivos desde hace algunos siglos, debido a cambios climáticos globales. Según los dos autores, la máxima progradación del complejo sedimentario ocurrió durante el Holoceno tardío, hace aproximadamente 5,000 años, y la velocidad de extensión superficial de la llanura costera, fue a razón de 300 a 400 m²/año.

En esta provincia, otros autores, Gutiérrez-Estrada y Galaviz (1983), estudian y relacionan a los sedimentos recientes con la morfobatimetría de las lagunas El Carmen-Pajonal y la Machona, Tabasco; situadas aproximadamente a 100 km al occidente de las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta. Galaviz, Gutiérrez-Estrada y Castro del Río (1987), investigan la morfobatimetría y los sedimentos en relación a la hidrodinámica, en las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco; ambas situadas en el extremo occidental de este estudio. Aguayo y Carranza-Edwards (1990), enmarcan la dirección del sistema fluvial-deltaico del Grijalva-Usumacinta, con las características tectónicas de la región. Cruz-Abrego (1990), relaciona la distribución de moluscos bentónicos con los patrones texturales de los sedimentos y con otros parámetros físico-químicos, en los abanicos costeros de los ríos mayores del Golfo de México; entre ellos el Grijalva y el San Pedro-San Pablo. Rosales-Hoz *et al.* (1992) y Carranza-Edwards *et al.* (1993) analizan los sedimentos recientes del sureste del Golfo de México. Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1994), relacionan en forma integral la estabilidad de las bocas del sistema lagunar El Carmen-Pajonal y la Machona, con la hidrodinámica y la estabilidad de la línea de costa. Aguayo (1997), enfatiza sobre la dinámica costera y su impacto ambiental en el occi-

dente del Golfo de México. Gutiérrez-Estrada *et al.* (1998) y Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1998), estudian la morfología y los sedimentos superficiales de la Plataforma Continental en los estados de Tabasco y Campeche, y sus relaciones con los procesos de erosión costera y de impacto ambiental.

Discusión de resultados

En el área de estudio, geológicamente se distingue un sistema de tres bloques tectónicos limitados por las trazas de las fallas transcurrentes con desplazamiento lateral izquierdo, situadas en las zonas de los cauces de los ríos Grijalva, San Pedro-San Pablo (Usumacinta) y en Punta Xicalango, situada en la porción occidental de Isla del Carmen y Laguna de Términos (Fig. 1).

Las dos primeras fallas transcurrentes son la continuación hacia el noroeste del sistema de fallas transpresivas con movimiento lateral izquierdo, expuestas en la Sierra Madre del Sur, en Chiapas, las que han sido ampliamente documentadas por Sánchez (1978); la Falla Xicalango limita regionalmente al Banco de Campeche y al Bloque de Yucatán de las Cuencas Terciarias del sureste de México (Aguayo y Marin, 1987).

El sistema estructural de fallamientos y plegamientos, se reactivó a partir del Mioceno, originado por la rotación dextral del bloque tectónico de Yucatán, a lo largo de la Falla Motagua-Polochic en Centro-América; la rotación del bloque yucateco aún continúa activo, lo que es evidente en la Plataforma Continental del suroeste del Golfo de México, manifestandose por las fallas geológicas distensivas que bisectan a la Sonda de Campeche, cuya prolongación hacia el sureste inciden en las zonas de los cauces de los ríos Grijalva y San Pedro-San Pablo-Usumacinta (Aguayo y Marin, *op cit.*; Aguayo y Carranza-Edwards, *op cit.*).

En este trabajo de investigación, se detallan los movimientos corticales holocénicos y los actuales que se manifiestan en la planicie costera del área de estudio, como tres bloques tectónicos limitados por las trazas de las fallas geológicas, y que tienen entre sí, corrimientos laterales izquierdos de 7.5 km. Durante su avance hacia el noroeste, los depósitos sedimentarios costeros holocénicos y recientes del frente del complejo deltaico, sufren el impacto de los procesos erosivos del Golfo de México, siendo éstos de menor intensidad en el frente del bloque I, que es el de menor desplazamiento hacia la zona litoral del

Golfo, por lo tanto, los cordones litorales están más protegidos contra la acción erosiva costera. El bloque I corresponde a la porción occidental del río Grijalva (Fig. 1), en el que se observan los cordones litorales holocénicos con mayor extensión horizontal superficial, alrededor de 33 km, desde el frente del litoral hacia el interior de la planicie costera (Figs. 1, 5b). El bloque II está limitado por los ríos Grijalva y San Pedro-San Pablo-Usumacinta; este bloque se desplaza del bloque I hacia el noroeste. El extremo occidental del bloque III, lo limitan los ríos San Pedro-San Pablo-Usumacinta, y hacia el oriente, la Falla Xicalango, cuya traza corresponde a Punta Xicalango y a la zona limítrofe occidental de la Laguna de Términos.

Los frentes costeros del bloque II y de la porción occidental del bloque III, han sido los más expuestos a los procesos erosivos, desde hace varios siglos hasta la época actual, debido a la posición que guardan los frentes geológico-estructurales, con la fisiografía litoral del Golfo de México. Los sedimentos resultantes han sido transportados y depositados como un sistema de barras litorales acrecionadas, en la porción más oriental del área de estudio, en Punta Xicalango, adyacente a Laguna de Términos, por el desplazamiento tectónico, hacia el sureste, de esta porción oriental del bloque III a lo largo de la traza de la falla transcurrente de Xicalango (Fig. 1A, C).

Siendo uno de los objetivos de este estudio, definir cronoestratigráficamente a la secuencia sedimentaria durante la progradación de la llanura fluvial-deltaica holocénica, y su relación con los movimientos tectónicos de los bloques a lo largo de las fallas transcurrentes, se colectaron selectivamente de acuerdo al mejor estado de preservación, sedimentos y conchas de moluscos para su análisis textural y mineral, y para determinaciones radiométricas, respectivamente.

La profundidad a la que se colectaron los sedimentos en el subsuelo somero de la llanura costera, varió entre 4 y 5 metros. En general, en todos los sitios muestreados, los sedimentos de los cordones litorales del Holoceno, son terrígenos arenosos texturalmente inmaduros, con abundantes fragmentos retrabajados de conchas de moluscos; los terrígenos son arenas medias a gruesas, ligeramente limo-arcillosas, moderadamente a mal clasificadas, subredondeadas, y cuya dispersión tiende hacia los tamaños gruesos. Mineralógicamente predominan los granos de cuarzo (50 a 65 %), fragmentos de rocas metamórficas e ígneas (25 a 35 %) y feldespatos potásicos (5 a 15 %).

Las partículas de limo son producto de la desintegración física de las rocas metamórficas y de la descomposición por intemperismo de los feldespatos y de la materia orgánica, que es una importante generadora de limo y de arcilla.

En las conchas de moluscos bien preservadas se determinaron edades radiométricas por el método de carbono radioactivo; se identificaron siete eventos sedimentarios mayores, representados de los más antiguos a los más recientes, por las letras de la A a la G, en los 15 sitios de muestreo (Fig. 1B):

Sitio 1, A (5,600 años); Sitio 2, B (3,200 años); Sitio 3, B (3,150 años); Sitio 4, C (2,400 años); Sitio 5, C (2,250 años); Sitio 6, C (2,150 años); Sitio 7, B (3,250 años); Sitio 8, B (3,150 años); Sitio 9, B (3,000 años); Sitio 10, B (3,150 años); Sitio 11, C (2,200 años); Sitio 12, D (1,850 años); Sitio 13, E (650 años); Sitio 14, F (< 200 años); Sitio 15, G (< 200 años) (Fig. 1C).

Las variaciones de edad en un mismo evento, están consideradas dentro del rango de error propias del método analítico, o bien, se interpretan que estén dentro del lapso de tiempo que comprende el depósito sedimentario. No obstante, la información radiométrica integrada con los datos locales y regionales, geológicos, fisiográficos y morfológicos, permiten interpretar evolutivamente a la provincia costera.

En el bloque tectónico I, en el extremo occidental de la planicie fluvial-deltaica del sistema Grijalva-Usumacinta, se identificaron los eventos sedimentarios A (5,600), B (3,200-3,150) y C (2,400-2,250). En el bloque II, situado entre los sistemas fluviales mayores, la planicie fluvial está desplazada hacia el noroeste; el evento A no aflora y los eventos B (3,250-3,150) y C (2,150), están parcialmente erosionados en sus frentes, debido que el bloque tectónico II se desplazó 7.5 km. hacia el noroeste del bloque I.

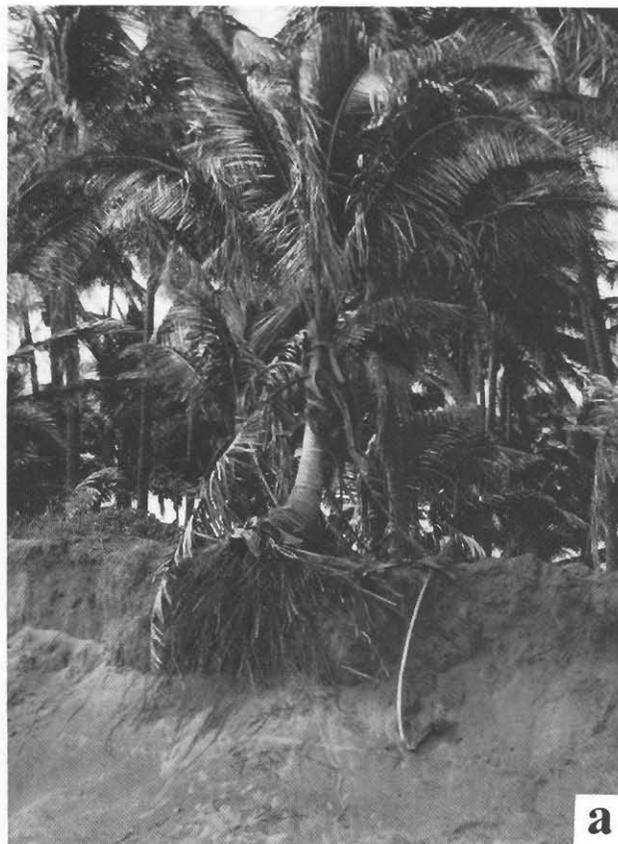
En la porción occidental del bloque III, adyacente al bloque II, los eventos B (3,200-3,150) y C (2,200), están parcialmente erosionados, porque el bloque está desplazado hacia el noroeste, 7.5 km del bloque II y 15 km del bloque I; en el extremo oriental del bloque III, no se identificaron los eventos A, B y C. Por lo tanto, los eventos sedimentarios progradantes del Holoceno tardío, están mejor representados en el bloque tectónico I, porque es el menos desplazado tectónicamente.



Figura 2. Obsérvese los efectos de la erosión costera reciente que ha destruido a la antigua carretera federal 180, en las inmediaciones del poblado Nuevo Campechito, en la margen derecha de la desembocadura del Río San Pedro-San Pablo.

**a****b**

Figura 3. En 1982 en el frente costero, entre las desembocaduras de los ríos Grijalva y San Pedro-San Pablo, la zona de manglares presentaba un deterioro incipiente (Fotografía a). En 1992, la misma zona está inundada por el mar (Fotografía b).



a



b

Figura 4. En la misma zona de la figura anterior, es notoria la erosión de los suelos (Fotografía a) y el derrumbe de las palmeras (Fotografía b), debido a los procesos erosivos costeros en el frente del complejo fluvial-deltáico.

Para tener una estimación de la velocidad de progradación, se consideró la secuencia, cuya extensión horizontal es la más amplia, como es el caso de la del bloque I, con 33 kilómetros de extensión, desde el litoral hasta el interior de la llanura costera (Figs. 1, 5bc) considerando la edad del evento sedimentario más antiguo al actual, evento A con 5,600 años, la velocidad mínima de progradación calculada, fue a razón de 6 metros/año. Si se considera la edad mínima del evento sedimentario C (2,250 años) en este mismo bloque I, la velocidad de progradación sería la razón entre la extensión horizontal de los eventos A a C, de 33 km y la diferencia de tiempo entre los mismos, 3,350 años; por lo que la velocidad mínima progradante sería de 10 metros/año. Con exactitud, no es posible conocer, qué tanto se ha erosionado el frente del complejo sedimentario desde su depósito, por lo que, el rango mínimo progradante estimado sería de 6 a 10 metros/año.

Para estimar el tiempo relativo en la que ocurrieron los desplazamientos tectónicos de los bloques II y III, hacia el noroeste, exponiendo los frentes del complejo fluvial-deltaico a la acción erosiva costera, al mismo tiempo que el extremo oriental del bloque III se desplazaba en sentido opuesto, hacia el sureste, a lo largo de la falla Xicalango; se interpretó que el evento D (1,850) en Punta Xicalango, por su posición estratigráfica, estructural y geográfica, representa las primeras pulsaciones de los desplazamientos de los bloques tectónicos hacia el noroccidente y la velocidad del desplazamiento tectónico, fue a razón de 4 metros por año, tomando en cuenta la relación del desplazamiento entre los bloques tectónicos de 7.5 km y la edad mínima del depósito del evento D de 1,850 años. Se concluye que los depósitos sedimentarios de Punta Xicalango, eventos: D (1,850), E (650) y F (< 200), son el resultado de los procesos intermitentes de la erosión, el transporte y el depósito de los sedimentos provenientes de los frentes costeros del occidente (eventos B y C). Para calcular la tasa de acreación sedimentaria mínima en este sector, se consideraron los 11 km de extensión horizontal en Punta Xicalango, y el tiempo relativo máximo del depósito del evento D de 1 850 años, siendo la velocidad mínima de acreación del orden de 6 metros/año; valor que está dentro del rango de la velocidad estimada de los procesos de progradación, entre 6 y 10 metros/año.

Durante las verificaciones de campo, en la década de 1982 a 1992, se observó que el frente del complejo deltaico se estaba erosionando a razón de 3 a 4 metros por año, tomando en cuenta los efectos destructivos

causados a las vías de comunicación terrestre, el avance del deterioro en las zonas de manglares, el desplome de las palmeras, la erosión del suelo (Figs. 2, 4) y la formación de acantilados por la erosión marina, tales como los de la margen derecha de la desembocadura del río Grijalva (Sitio 15, evento sedimentario G), y la invasión y erosión de los canales fluviales, como el de uno de los afluentes del río González (Fig. 5).

En relación a la etapa sedimentaria actual en la que se encuentra el Sistema-Grijalva-Usumacinta y de acuerdo con lo reportado en décadas anteriores por otros autores (Putsy, *op cit.*; Tanner y Stapor; *op cit.*), existen claras evidencias de los procesos de erosión que están ocurriendo en el frente deltaico, debido a que la llanura costera está en una etapa de retrogradación, por insuficiencia en el aporte de sedimentos arenosos de corto plazo, y en el presente trabajo, además se interpreta que la retrogradación también se debe a causas tectónicas de mayor plazo, (Fig. 1c). Cruz-Abrego (*op cit.*), en su contribución sobre el estudio de los abanicos costeros de los ríos mayores del Golfo de México, refiere que, en el caso particular de los del Grijalva y San Pedro-San Pablo, el fondo marino próximo a las desembocaduras, es lodoso. Esto es contrario a lo interpretado por Tamayo (1990), que refiere al sistema Grijalva-Usumacinta, como aportador eficiente de sedimentos arenosos hacia el Golfo de México. Aún cuando en la desembocadura de los dos ríos hay formación de barras arenosas, el volumen de sedimentos arenosos no es suficiente para progradar los frentes deltaico hacia el Golfo.

En relación a la dirección dominante del transporte marino de los sedimentos provenientes del sistema Grijalva-Usumacinta, las fotoimágenes satelitales para estudios ambientales de la NOAA-GOES (octubre 12, 1997), reflejan que los sedimentos en suspensión provenientes del sistema fluvial-deltaico, son acarreados hacia el noroeste por una corriente anticiclónica (Fig. 6a), cuyo anillo fue detectado a través de los filtros para estudiar las propiedades de reflectancia y de pigmentación de los sedimentos marinos en suspensión; la primera refleja la turbidez del agua debida a sedimentos en suspensión (Fig. 6b), y la segunda manifiesta la presencia y la distribución del fitoplancton (Welsh y Walker, 1997) y que no se ilustra en este trabajo. Por otro lado, los sedimentos del fondo marino del abanico costero Grijalva-Usumacinta, también muestran la misma tendencia de dispersión hacia el noroccidente, según lo documentado por Cruz-Abrego (*op cit.*); por lo tanto, el

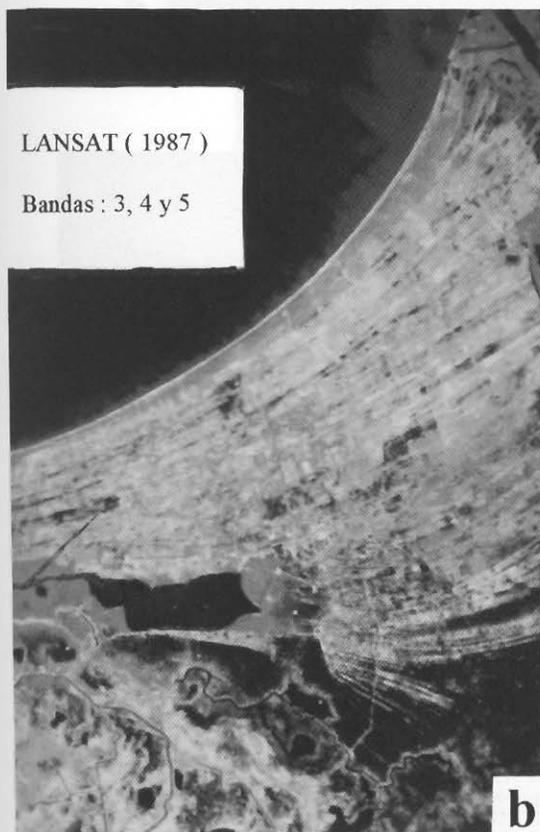


Figura 5. La labor erosiva del mar es intensa en las inmediaciones de la Barrera de Chiltepéc, en el cauce del río González (Fotografía a), extremo occidental de la planicie holocénica del río Grijalva (Fotografía b); el canal del río está erosionado e invadido por el frente marino (Fotografía c).

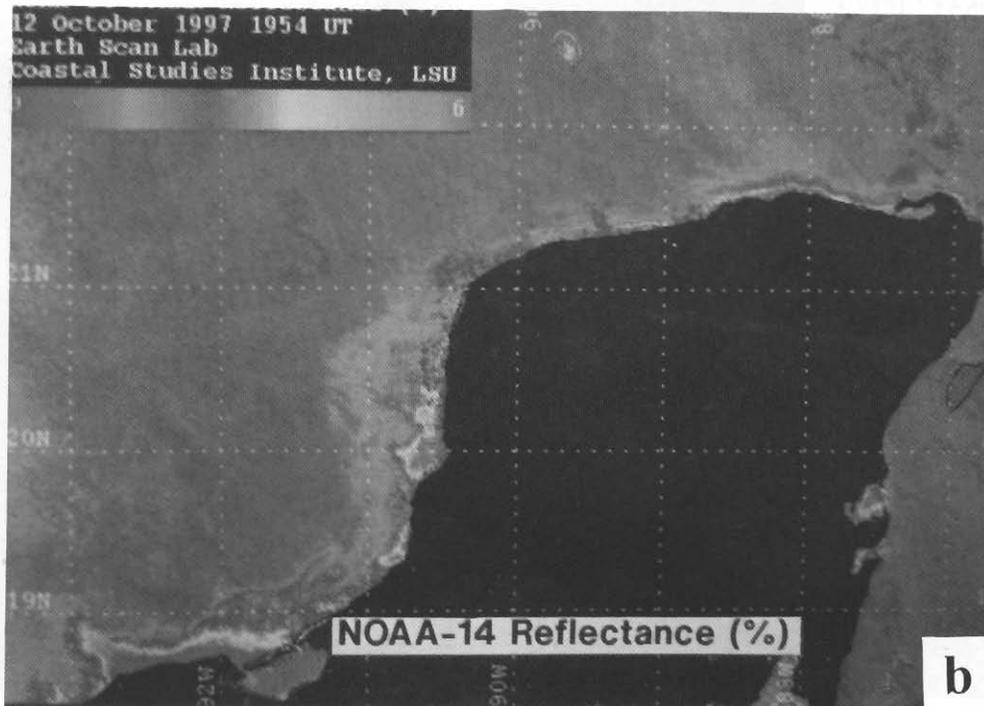
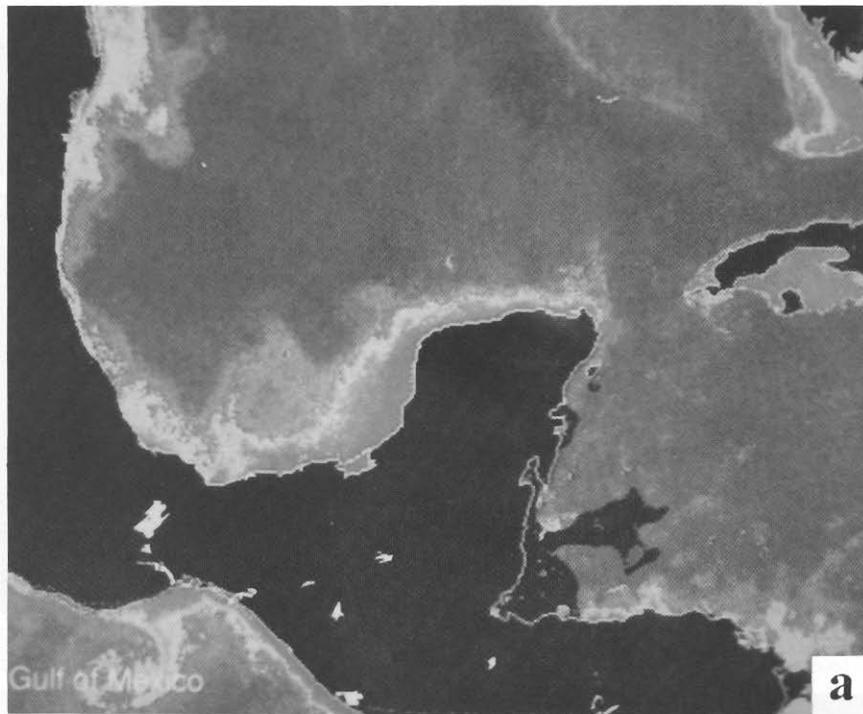


Figura 6. Los sedimentos fluviales y costeros del suroeste del Golfo de México, son transportados hacia el noroeste por la corriente marina anticiclónica (Fotografía a). Nótese que los sedimentos en suspensión muestran fuerte tendencia de transporte y dispersión hacia el noroeste (Fotografía b).

**a****b**

Figura 7. Durante el transporte y dispersión de los sedimentos fluviales y marinos hacia el noroeste, se forman barreras a lo largo de la franja costera (Fotografía a); a su vez, las lagunas litorales se azolvan con los sedimentos provenientes de las barreras, durante los flujos de pleamar, el oleaje y por corrientes generadas en épocas de tormenta (Fotografía b).

transporte efectivo de los sedimentos provenientes del sistema costero en mención, suspendidos y de fondo, es hacia el noroeste, y son las corrientes secundarias y las contracorrientes, que se derivan de la principal anticiclónica, las que transportan y depositan a los sedimentos a lo largo de la zona costera, hacia el oriente de los sistemas fluviales en mención, y no necesariamente por una corriente principal de tipo ciclónico, según lo reportado por Carranza-Edwards *et al.* (*op cit.*). Por lo tanto, debido a que los sedimentos en suspensión y los del fondo marino muestran tendencias de transporte y de dispersión hacia el noroeste, estos procesos evitan que los frentes costeros del suroeste del Golfo de México, prograden hacia el norte; además, como los sedimentos lodosos predominan sobre los arenosos, las corrientes marinas erosionan el frente del complejo deltáico, evitando también su progradación hacia el interior del Golfo.

Los sedimentos arenosos son acarreados por las corrientes litorales hacia el oriente y hacia el noroccidente, a lo largo de la planicie costera del occidente del Golfo de México (Aguayo, *op cit.*). Las corrientes litorales transportan el sedimento arenoso, azolvando a las lagunas litorales (Fig. 7); estas corrientes, a la vez, están controladas por una corriente oceánica mayor de tipo anticiclónico de frontera ("loop-current"), cuyo diámetro de influencia es de unos 500 km., y se impacta en el talud de la Plataforma Continental del occidente del Golfo de México (Vidal *et al.*, 1992). Por lo tanto, el frente del complejo fluvial-deltaico Grijalva-Usumacinta, es controlado por un sistema anticiclónico de corrientes marinas, por lo que la dirección del transporte masivo de los sedimentos a lo largo de la zona costera, es hacia el noroccidente del Golfo de México, y en menor volumen, hacia el oriente de la desembocadura del complejo fluvial deltáico Grijalva-Usumacinta. Hacia el norte, poco es el aporte de sedimentos arenosos, restandole posibilidades al abanico costero de progradar al interior de la Plataforma Continental.

Conclusiones

1. La Planicie Costera del suroeste del Golfo de México desde sus estribaciones con la Sierra Madre del Sur hasta el litoral del golfo, es consecuencia del transporte de sedimentos continentales y fluvial-deltaicos, desde el Holoceno tardío al Reciente.
2. La provincia sedimentaria estuvo gobernada por fenómenos eustáticos durante el Pleistoceno, por

procesos erosivos al ser expuesta a los fenómenos meteóricos, y por alta sedimentación fluvial-deltaica, en las épocas de inundación costera. A partir del Holoceno tardío (5,600 años), la llanura fluvial-costera progradó hacia el Golfo de México, a razón de 6 a 10 metros/año (velocidad mínima), con el depósito de sistema de bermas y de cordones litorales.

3. Se identificó un sistema de tres fallas geológicas transcurrentes izquierdas, con dirección hacia el noroccidente, y cuyo desplazamiento entre ellas es de 7.5 km., a razón de 4 m/año. Los desplazamientos tectónicos expusieron a los frentes de los complejos sedimentarios fluvial-deltaicos, a la acción de los procesos erosivos marinos.
4. Los depósitos sedimentarios del oriente del frente deltáico, en Punta Xicalango; por su posición estratigráfica, estructural y geográfica, representan las primeras pulsaciones de los desplazamientos estructurales hacia el noroccidente de los frentes del complejo fluvial-deltáico del occidente y, por lo tanto, de la erosión de los mismos.
5. En el período de 1982 a 1992, se observó que el frente del complejo sedimentario actual, se está erosionando a razón de 3 a 4 metros/año; por lo que el depósito sedimentario está en una etapa de retrogradación.
6. El proceso erosivo en los frentes sedimentarios costeros, se deben al poco aporte de sedimentos arenosos, a la presencia de una corriente marina anticiclónica que incide en la zona frontal de las desembocaduras del sistema Grijalva-Usumacinta y que transporta a los sedimentos hacia el noroccidente, y a la presencia de la corriente oceánica de frontera que transporta a los sedimentos a lo largo de la zona costera del Occidente del Golfo de México; además, probablemente a cambios climáticos globales.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto FIES-IMP-UNAM (96-17-1), financiado por el Instituto Mexicano del Petróleo: "Geodinámica Marina del Neógeno al Reciente, Suroeste del Golfo de México". Los autores agradecen al Instituto Nacional de Antropología e Historia, por los análisis de las muestras por carbono-radioactivo, a la Sociedad Mexicana de Historia Natural por las facilidades otorgadas para la publica-

ción del artículo y a la Dra. Susan E. Welsh del Coastal Studies, Louisiana State University por las imágenes satelitales que gentilmente nos proporcionara.

Literatura citada

- Aguayo, C.J.E. y S. Marin C., 1987.** Origen y evolución de los rasgos morfotectónicos poscretácicos de México. *Bol. Soc. Geológica Mexicana*, XLVIII (2):15-39.
- Aguayo, C.J.E. y A. Carranza-Edwards, 1990.** Tectónica marina. *Atlas Nacional de México*, Hoja-Naturaleza, Esc. 1:4'000,000. Geología Marina. IV.9.5. Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. Méx.
- Aguayo, C.J.E., 1997.** Coastal dynamics and environmental impact in the Western Gulf of Mexico. In: Ch.N.K. Moores and V.M.V. (Eds.). *Conference on the Transports and Linkages of the Intra-Americas Sea*. U.S.A. Mineral Management Service (MMS); Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC); UNESCO Subcommittee for the Caribbean and Adjacent Waters (IOWCARIBE), Memoir. Cozumel, México, nov.1-5, 1997.
- Carranza-Edwards, A., L.Rosales-Hoz and A. Monreal-Gómez, 1993.** Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology* (Elsevier Science Publ), 112:257-269.
- Coleman, J.M., H.H. Roberts and W.R. Bryant, 1991.** Late Quaternary sedimentation. In: Amos Salvador (Ed.). *The Gulf of Mexico Basin. The Geology of North America*. The Geological Society of America, Vol. J, Chapter 12:325-352.
- Crúz-Abrego, F.M., 1990.** Análisis de la distribución de los moluscos bentónicos en los abanicos costeros de los principales ríos del Golfo de México (Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva-San Pedro y San Pablo) y su relación con condiciones ambientales y sedimentos. *Tesis Doctoral* (inérita). Facultad de Ciencias, Univ. Nal. Autón. Méx.:103 p.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957.** Brazos river bar: a study in the significance of grain-size parameters. *Journ. Sed. Petrology*, 27:3-26.
- Galaviz, A.S., M.A. Gutiérrez-Estrada y A. Castro del Río, 1987.** Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* Univ. Nal. Autón. Méx., 14(2):109-124.
- Gutiérrez-Estrada, M.A., y S.A. Galaviz, 1983.** Morfología y sedimentos recientes de las lagunas El Carmen, Pajonal y la Machona, Tabasco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* Univ. Nal. Autón. Méx., 10(1):249-268.
- Gutiérrez-Estrada, M.A., J.E. Aguayo C., F. Vázquez-Gutiérrez y J.H. Sandoval-Ochoa, 1998.** Morphology and surface sediments, Continental Shelf off Tabasco and Campeche, Mexico. *4th. Pacific Ocean Remote Sensing Conference*. Session PORSEC, Qingdao, China, July 28-31, 1998. Scientific article in Memory.
- Jiménez-Román, A. y L.E. Maderey-Rascón, 1990.** Ecurrimiento medio anual. *Atlas Nacional de México*. Hoja Naturaleza. Esc. 1:4'000,000, IV.6.4. Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. Méx.
- Maderey-Rascón, L.E., 1990.** Volumen medio de sedimentos en suspensión. *Atlas Nacional de México*. Hoja Naturaleza. Esc. 1:4'000,000, IV.6.4. Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. Méx.
- Putsy, N.P., 1965.** Beach-ridge development in Tabasco, Mexico. *Annals Assoc. Amer. Geog.* 55: 112-124.
- Putsy, N.P., 1967.** The geomorphology of beach ridges in Tabasco, Mexico. *Coast. Stud. Inst.*, Louisiana State Univ., *Techn. Rept.* 30: 0-51.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Arias-Reynalda y S. Santiago-Pérez, 1992.** Estudio de sedimentos recientes en el Sureste del Golfo de México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limn. Univ. Nal. Autón. Méx.* 19(2):1-7.
- Sánchez, R. Montes de Oca, 1978.** Geología petrolera de la Sierra de Chiapas. *IX Excursión Geológica al Sureste de México*. Suptcia. Gral. de Dtts. de Exploración, Zona Sur de Petróleos Mexicanos, 57 p.
- Tamayo, J.L., 1990.** Geografía Moderna de México. Editorial Trillas de México, 390 p.
- Tanner, W.F. y F.W. Stapor, 1971.** Tabasco beach-ridge plain: an eroding coast. *Trans. Gulf. Coast Assoc. Geol. Soc.* 21:231-232.
- Vázquez-Gutiérrez, F., M. A. Gutiérrez-Estrada, J. E. Aguayo, C., H. Fernández P., A. Díaz R., y H. Alexander V., 1994.** El sistema Lagunar El Carmen-Pajonal-La Machona del Estado de Tabasco: su hidrodinámica, la estabilidad de sus bocas y de su línea de costa. Edición: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Univ. Nal. Autón. Méx., 132p.

Vázquez-Gutiérrez, F., J. E. Aguayo C. y M. A. Gutiérrez-Estrada, 1998. Coastal erosion off Tabasco State at southwestern Gulf of Mexico. *4th. Pacific Ocean Remote Sensing Conference*. Session PORSEC, Qingdao, China, July 28-31, 1998. Scientific article in Memory.

Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, and J. M. Pérez-Molero, 1992. Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf-slope of the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97C2:2155-2172.

Welsh, Susan E. and N. D. Walker, 1997. Observations and modelling of Upwelling over the Campeche Bank. In: Ch.N.K. Moores and V.M.V. Vidal (Eds.). *Conference on the Transports and Linkages of the Intra-Americas Sea*. U.S. Minerals Management Service (MMS), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) and UNESCO Subcommittee for the Caribbean and Adjacent Waters (IOCARIBE). Cozumel, México, November 1-5, 1997.