

REPERCUSIONES POR ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR EN EL LITORAL DEL GOLFO DE MEXICO

Mario Arturo Ortiz Pérez y Ana Patricia Méndez Linares *

Resumen

Considerando el arreglo de la estructura fisiográfica e identificando las características geomorfológicas del perfil longitudinal de la costa, se reconocen dos zonas: la de intermareas (infralitoral) como el escenario básico de impacto directo en las variaciones del nivel del mar, y una franja adyacente perimareal (supralitoral) que por su disposición constituye una área de amortiguamiento o de riesgo potencial. En ambos escenarios se llevó a cabo un inventario de la vegetación y uso del suelo con objeto de conocer la composición y distribución de las áreas vulnerables al ascenso del nivel del mar. La identificación de uso del suelo se realizó mediante fotointerpretación con verificación de campo, estos resultados se procesaron en un sistema de información geográfica.

A partir del análisis anterior se identificaron cinco zonas vulnerables o susceptibles a las variaciones del nivel medio del mar, en el Golfo de México y Mar Caribe.

Palabras Clave: Variaciones del nivel del mar, vulnerabilidad costera, cambio climático, humedales.

1. Introducción

Desde el punto de vista hidrológico, el Golfo de México es una provincia distributiva, integrada por un área sedimentaria del orden de 5.40×10^6 km²; es un sistema de 159 890 km de ríos (entre los que sobresalen dos de los mayores sistemas deltaicos del mundo: el del río Mississipi en Estados Unidos, y el de la cuenca del Grijalva-Usumacinta en México. Nuestro país posee 23 grandes sistemas lagunares-estuarinos; Tamaulipas cuenta con 41% de esta superficie estuarino-lagunar, Veracruz con el 19% ; Tabasco con el 3% y Campeche con el 37% (Contreras, 1988; citado por Botello, et al., 1992).

Estos sistemas estuarinos se encuentran estrechamente incorporados con cuatro de los más productivos ecosistemas trópicos conocidos: las marismas, los manglares, los pastos marinos y los arrecifes coralinos (Botello, 1992).

Recientemente se advierte que las modificaciones globales de las condiciones naturales pueden generar cambios severos en los diferentes tipos de ecosistemas (ITESM-Guaymas, 1993).

Una de las consecuencias esperadas por el aumento del nivel del mar es la pérdida de humedales (Titus, 1985 citado por Titus, 1987) incrementándose el nivel de inundación en algunas áreas y decreciendo en otras. Por otro lado con la pérdida de humedales podría remover una importante barrera natural contra tormentas (Gagliano, et al. 1981; citado por Titus, 1987).

Tomando como referencia lo anterior, en este trabajo se consideró de interés principal a los humedales y usos del suelo que se ubican en la costa atlántica de México. Se llevó a cabo un análisis de distribución a lo largo de las zonas infralitoral y supralitoral y se determinaron las zonas con mayor susceptibilidad a las variaciones del nivel del mar.

* Instituto de Geografía, UNAM.

Antecedentes

Desde un punto de vista funcional, las zonas costeras representan áreas con estados físicos de alta energía en donde interactúan una diversidad de procesos geofísicos: terrestres y oceánicos, los cuales moldean de forma continua y permanente la geomorfología del borde continental, determinando a su vez, las propiedades biológicas, expresadas en la estructura y extensión espacial de los ecosistemas asociados (Pannier, 1992).

En particular el cambio climático global puede generar cambios biogeográficos en la tierra, de gran importancia ecológica y socioeconómica. Un grupo de 29 expertos (Task team on the Impact of Expected Climate Change on Mangroves) designados por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental y Aspectos Marinos Relacionados (COMAR), conjuntamente con el Programa Ambiental de Naciones Unidas (UNEP) refieren las condiciones del cambio climático en el Golfo de México con un aumento en la temperatura de 1.5°C y un incremento en el nivel del mar de 20 cm, para el año 2025 (Maul, 1993). Para algunos ecosistemas el aumento del nivel del mar y de la temperatura es muy importante, por ejemplo los deltas y las playas son vulnerables al ascenso del nivel del mar, pero no al ascenso de la temperatura. En el caso de estuarios, humedales, lagunas y pastizales podrían ser moderadamente afectados por ambos fenómenos. Otros ecosistemas muy importantes como son los manglares y arrecifes coralinos presentan de baja a moderada vulnerabilidad al cambio climático, per se, pero ambos experimentan la presión de las actividades antrópicas como la deforestación, la sobrepesca, el turismo, etc (Pannier, 1992).

Pannier (1992) considera a los arrecifes coralinos, a los manglares, a las praderas de fanerógamas marinas, a las lagunas costeras, a la costa rocosa, a las playas y a la vegetación costera terrestre entre los ecosistemas más factibles a ser afectados por cambios globales.

El cambio climático no implica una elevación homogénea del mar. Durante los últimos 100 años, en todas las latitudes, la elevación global del nivel medio del mar ha sido de +/- 15 cm; sin embargo la *Environmental Protection Agency* de EUA ha predicho que el nivel del mar puede ascender a un máximo de 4.5 m en corto tiempo. Hay mucha controversia al respecto, especialmente por las variaciones que ocurren en escala local (Maul, 1993).

Existen diversos factores que están controlando los cambios en el nivel medio del mar (Dawes, 1986):

- 1) Cambios en masas oceánicas debido al aporte del hielo y glaciares en regiones polares en respuesta al calentamiento climático.
- 2) Cambios en el volumen del océano como resultado de la temperatura.
- 3) Cambios en el campo gravitacional debido a la redistribución del hielo, agua y ajuste dentro del manto de la Tierra.
- 4) Cambios en las formas de las cuencas oceánicas.
- 5) Movimientos de la corteza terrestre.
- 6) Cambios en el espesor de los sedimentos costeros no consolidados debido a compactación, consolidación, sedimentación y erosión de sedimentos, así como extracción de aguas freáticas, petróleo y gas, de los sedimentos.
- 7) Cambios en el nivel de áreas costeras debido a los cambios de los vientos locales y presión atmosférica.
- 8) Cambios en el régimen de descargas de ríos.
- 9) Cambios en las corrientes oceánicas.

3. Método

Se llevó a cabo una regionalización del Golfo de México y Mar Caribe que consistió en dividir convencionalmente al litoral en cinco amplias regiones, las cuales responden de cierta manera a las condiciones naturales, ya que desde el punto de vista climático, geomorfológico e hidrológico existen ciertas correspondencias.

Se identificaron las zonas infralitoral y supralitoral, siguiendo los criterios sugeridos por Davies (1980). Sin embargo, la delimitación de la zona supralitoral es un problema complejo de resolver debido a la falta de cartografía. Por ello y de manera convencional el área de riesgo potencial se delimitó definiendo a la zona en cuestión como una estrecha franja comprendida entre dos líneas imaginarias aproximadas: a) la línea de la altura media de las mareas altas; y b) la zona de inundación estacional o excepcional por marea de tormenta.

Una vez zonificadas las áreas costeras en dos franjas marginales: la infralitoral y la supralitoral, se llevó a cabo el levantamiento de las áreas naturales y uso del suelo para la línea de costa del Golfo de México a manera de inventario. Este, se realizó básicamente con fotografías aéreas de INEGI que cubrieron toda la franja costera. Debido a la amplitud de la zona de estudio, las fotografías fueron de diversas escalas y con fechas de los años 80's.

Considerando para la zona intermareal sin llegar a pormenorizar en la diversidad del gradiente ambiental, sólo se distinguieron en este estudio de gran visión a las marismas cubiertas de manglar y a las marismas sin vegetación aparente, es decir, a las planicies de inundación con pastos halófitos, ensalitradas o con blanquizales y a los cuerpos lagunares.

Con el propósito de obtener la caracterización y composición de los escenarios de vulnerabilidad para la zona supralitoral, se agruparon cinco clases de uso del suelo y vegetación (pantanos, pastizales, cultivos, campos de dunas y asentamientos humanos) y de esta forma se estimaron las áreas potencialmente afectadas.

Las unidades fotointerpretadas fueron transferidas a una cartografía base escala 1:50 000, haciendo uso del transferómetro y stereosketch, que posteriormente fue digitalizada en un sistema de información geográfica (ilwis). Se obtuvieron las áreas de las unidades resultantes y se llevó a cabo el análisis respecto a la distribución espacial de los componentes naturales y uso del suelo.

Se proyectaron los niveles de 1 y 2 m, con el fin de conocer el arreglo de distribución espacial o configuración tentativa, de las áreas de peligrosidad, y estimar cuáles son las localidades o tramos costeros de mayor fragilidad por dónde penetrará la inundación. Se generaron los modelos digitales de elevación a partir del banco de datos altimétricos de INEGI, dispuestos en una malla o canevas con bases equidistantes a cada 90 metros. Con la altitud conocida de estos puntos georeferenciados se procedió a una interpolación de los valores obteniendo el modelo del terreno aproximado, con curvas de nivel a cada metro.

4. Resultados

La regionalización que se obtuvo a partir de las características climáticas, geomorfológicas (Ortiz, P y L. M. Espinosa, 1991) e hidrológicas de la zona costera del Golfo de México y Mar Caribe se observa en la figura 1.

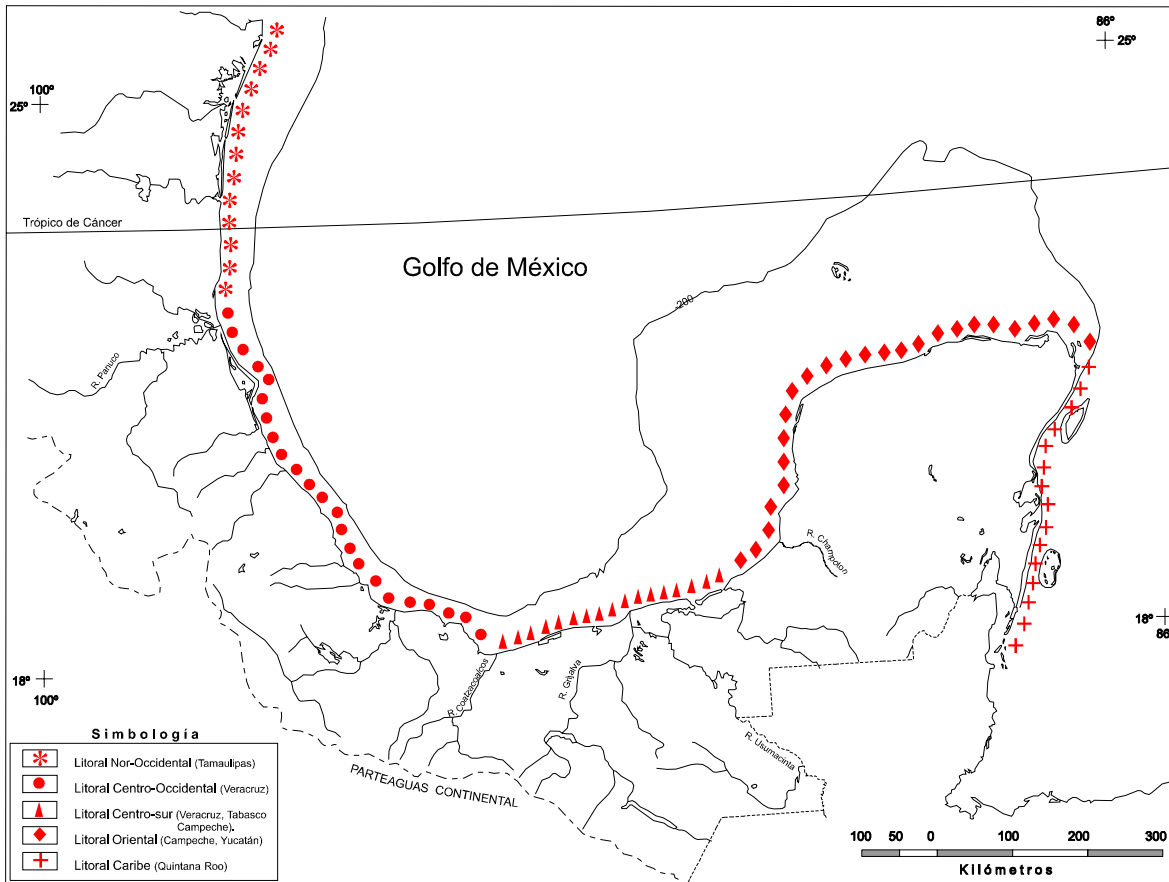


Figura 1. Zonificación costera y de mares marginales del Golfo de México.

Considerando esta regionalización los resultados que arroja este trabajo se expresan en los cuadros 1 y 2. En ellas se observa la distribución de los componentes naturales y de uso del suelo para las zonas intermareal y supralitoral, a lo largo de la costa del Golfo de México y del mar Caribe.

En el cuadro 1 se puede observar que las áreas de manglar alcanzan el 38% de la superficie total de la costa, con respecto al resto de los componentes. De este total el 15% se concentra en la porción centro-sur del Golfo de México (figura 2) comprendiendo a los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche. Ahí las características climáticas son las más óptimas dentro del contexto general, para el desarrollo de estos ecosistemas. Además, como ya se mencionó, esta zona recibe un gran aporte de escurrimientos y por lo tanto de nutrientes debido a que encierra a los principales sistemas deltaicos.

Cuadro 1. Áreas estimadas para la vegetación y usos del suelo ubicadas en zona infralitoral, considerada como el escenario de impacto directo ante las variaciones del nivel marino.

AREAS TOTALES (Km ²) PARA LA ZONA INFRALITORAL (Intermareal)						
	MARISMA CON MANGLAR		MARISMA CON HALOFITAS		LAGUNAS	
		%		%		%
Litoral Nor-Occidental (Tamaulipas)	50	0.4	481	3.9	1797	14.6
Litoral Centro-Occidental (Veracruz)	401	3.3	207	1.7	688	5.6
Litoral Centro-Sur (Ver, Tab. Y Camp.)	1891	15.4	1168	9.5	1430	11.6
Litoral Oriental (Campeche y Yucatán)	1293	10.5	531	4.3	351	2.9
Litoral Caribe (Q.Roo)	1050	0.6	72	7.2	886	7.6
TOTAL	4685	38.1	2459	20.0	5152	41.9

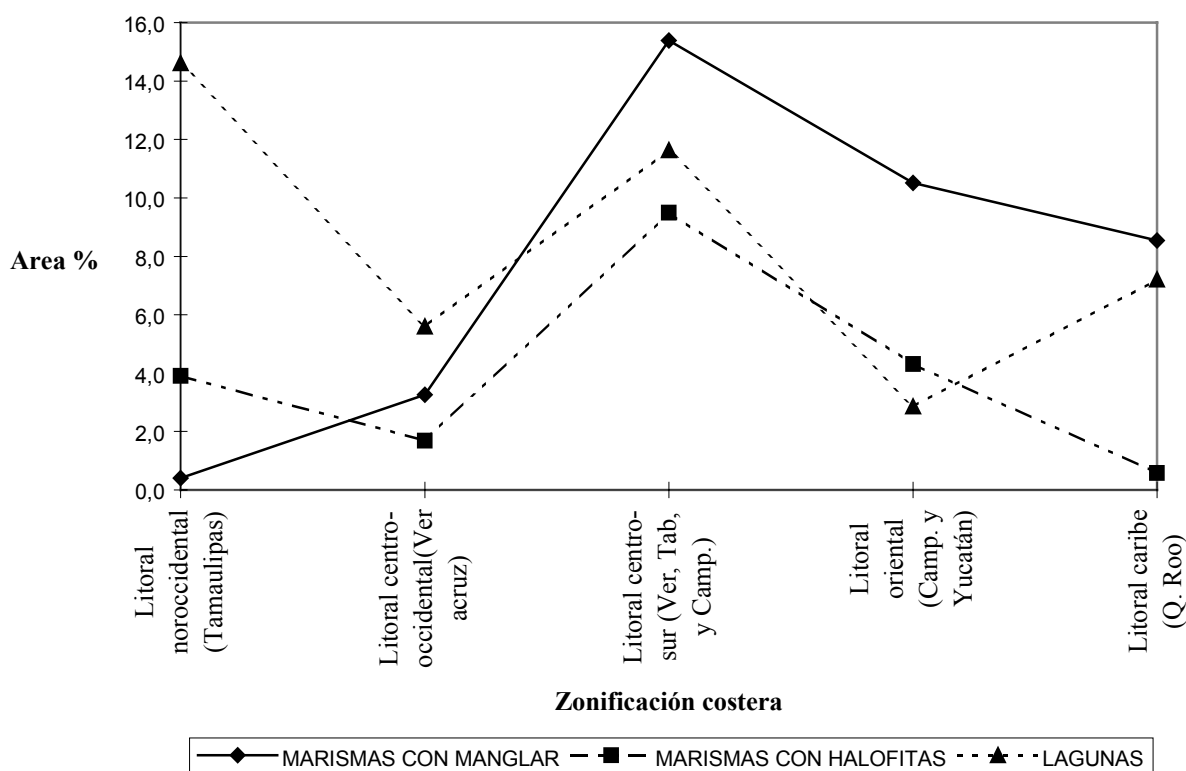


Figura 2. Distribución de los componentes naturales de la franja intermareal en la línea costera del Golfo de México y Mar Caribe.

En orden de menor importancia se ubica el litoral oriental y el litoral del Mar Caribe, observándose una disminución relativa de manglares, esto se explica por las condiciones climáticas que cambian gradualmente a climas menos húmedos.

Las marismas con halófitas constituidas por los géneros de *Spartina*, *Salicornia*, *Suaeda*, etc. (Rzedowski, 1978) se extienden en una área de 2460 km², superficie equivalente al 20% con respecto al total, incluyendo las áreas de manglar y de lagunas correspondientes a la zona infralitoral. De ese 20% la mitad se localiza en el litoral centro-sur decreciendo hacia los extremos, tanto hacia el litoral norte como al litoral sur de la costa, esta disminución se acentúa todavía más en el litoral del Mar Caribe hasta un rango menor de 0.6% debido al carácter climático de mayor humedad.

Con respecto al componente lagunar, este se extiende por 5152 km² equivalente al 42% de la superficie total; cabe hacer notar que si bien el 15% se concentra en el litoral nor-occidental (Laguna Madre), se considera que representa un sistema con factores físicos limitantes, si se compara con el complejo deltaico tabasqueño y el sistema fluvial Usumasinta correspondientes al litoral centro-sur.

En la zona supralitoral (cuadro 2 y figura 3) se distingue la proporción que existe de la vegetación de pantanos y pastizales 37.5 y 32.8% es decir el 70% del área total, el 25% corresponde a campos agrícolas y el 5% restante se distribuye entre campos de dunas y asentamientos urbanos. De total de pantanos, el 17% se ubica en el litoral del mar Caribe y el 12 % en el litoral centro sur. Los pastizales se concentran en un 15% hacia el litoral centro-sur. En muchas ocasiones, estas comunidades están asociadas, ya que el tular y popal crecen en superficies pantanosas o bien en agua dulce permanentemente estancada, de 0.5 a 1.5m. de profundidad en la planicie costera de Tabasco y al sur de Veracruz, y Campeche. En una buena parte de Tabasco y en algunas áreas adyacentes constituye la vegetación más difundida y característica, ya que se trata de llanuras aluviales, prácticamente sin declive, atravesada por caudalosos ríos, cuyos cauces se encuentran topográficamente por arriba de las llanuras de inundación. Estas áreas de pantano también tienen alto desarrollo hacia el litoral del Mar Caribe, donde cubren casi una quinta parte del área total con respecto a las demás comunidades de vegetación.

Cuadro 2. Áreas estimadas para la vegetación y usos del suelo ubicadas en la zona supralitoral, considerada como área de amortiguamiento o riesgo potencial ante los impactos causados por las variaciones de nivel marino.

AREAS TOTALES (km²) PARA LA ZONA SUPRALITORAL (amortiguamiento o riesgo potencial)										
	PANTANOS		PASTIZALES		AGRICULTURA		CAMPOS DE DUNAS		ASENTAMIENTOS URBANOS	
		%		%				%		%
Litoral Nor-Occidental (Tamps)	57	0.3	361	2.2	41.02	0.2	84	0.5	6.12	0.0
Litoral Centro-Occidental (Ver)	739	4.5	1134	6.9	1486	9.0	255	15	77	0.5
Litoral Centro-Sur (Ver, Tab. y Camp)	2101	12.7	2577	15.6	1543	9.3	31	0.2	14	0.1
Litoral Oriental (Camp. y Yuc.)	482	2.9	1217	7.4	987	6.0	216	1.3	37	0.2
Litoral Caribe (Q.Roo)	2836	17.1	132	0.8	83	0.5	22	0.1	36	0.2
TOTAL	6215	37.5	5421	32.8	4140	25	608.1	3.7	170.47	1.0

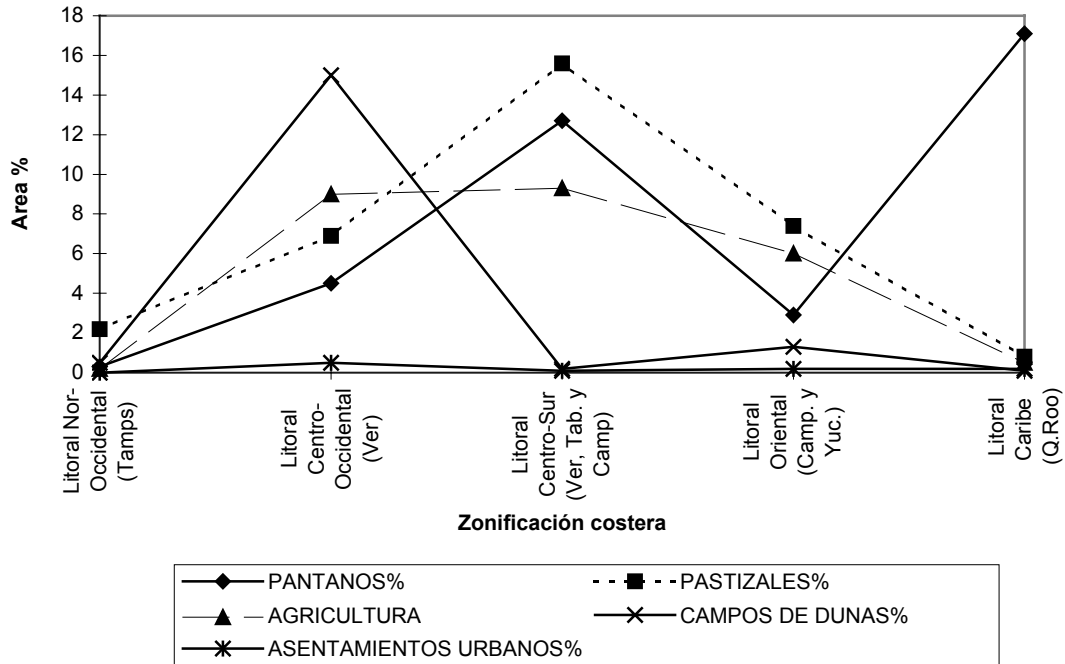


Figura 3. Distribución de los componentes naturales de la franja supralitoral ó escenario de riesgo potencial en la línea costera del Golfo de México y Mar Caribe.

Otras áreas en riesgo potencial son las zonas agrícolas, mismas que se pueden ver afectadas por altas concentraciones salinas, ubicándose las áreas más extensas en el litoral centro-occidental y centro-sur. Asimismo, en la zona centro occidental y oriental, los campos de dunas adyacentes se encuentran en mayor proporción con respecto a toda la costa, amortiguando con ello el peligro de inundación. Otro uso del suelo de importancia lo constituyen los asentamientos urbanos sobre las zonas costeras, siendo mayor la afectación hacia el litoral centro-occidental siguiendo en orden de importancia el litoral oriental y del mar Caribe.

Con estos elementos de análisis y los modelos de elevación del terreno resultantes, se detectaron cinco regiones críticas o vulnerables (figura 4). Tres se relacionan con las cuencas geológicas marginales de los grandes sistemas deltaicos de los Río Bravo o Grande, Papaloapan y el complejo deltaico del Grijalva-Mexcalapa-Usumacinta; en todos hay claras evidencias de hundimiento en la costa por subsidencia de las cuencas. Las otras dos áreas se sitúan en la península de Yucatán, corresponden a plataformas calcáreas con problemas estructurales de tectónica de hundimiento asociadas con disolución cárstica y de comportamiento geohidrológico.



Figura 4. Localización de las cinco zonas susceptibles o vulnerables al ascenso o descenso del nivel del mar.

4.1 Llanura Deltaica del río Bravo

Entre los fenómenos o procesos naturales sobresalientes que impactan la zona costera se distinguen los que ocurren en el amplio sistema lagunar de la Laguna Madre que se extiende más de 200 km de largo. Sobre la superficie del embalse, la marea de viento es de tal importancia que sobreeleva el nivel del agua entre los 0.30 y 1.20 m principalmente, recluida en el sector sur de la laguna, cuando los vientos predominan del norte, y por tanto se abate el tirante de agua en el sector septentrional a menos de 0.8 m. Con vientos del sur-sureste las condiciones se invierten, llegando a abatirse alrededor de 1.00 m en el sector sur y elevándose 0.60 m en la porción septentrional (CIFSA, 1967). Sin embargo, el impacto de la inundación no es notoria debido a que las márgenes están bordeadas por cordones y dunas que se elevan de inmediato por arriba de uno o dos metros, constituyendo barreras de amortiguamiento que minimizan la influencia de las variaciones del nivel del mar que se oponen al avance transgresivo. La exposición de la llanura y laguna litoral a la marea de vientos en la hidrodinámica de la laguna y áreas circundantes, deja al fenómeno de subsidencia¹ como un proceso accesorio. El hundimiento de esta parte de la margen continental es del orden de 5 mm para el ápice delta y disminuye a 1 mm en las inmediaciones de la desembocadura del río Soto La Marina (Rona, 1974).

¹ El fenómeno de subsidencia en cuencas geológicas marginales "deltas" tienen un comportamiento análogo a los efectos del ascenso del nivel del mar. Sin embargo, la velocidad de hundimiento no es constante y regular para toda la cuenca, debido al diferente espesor de la columna de sedimentos en el arreglo de distribución de los sedimentos acumulados. El hundimiento diferencial se refleja en la expresión superficial de las tierras bajas y en las características de distribución que adquiere la zona comprendida entre la planicie de intermareas (infralitoral) y la zona perimareal (supralitoral), es decir, la franja comprendida por la ruptura de pendiente de la playa que se toma como el límite del nivel medio de las pleamares y los dos metros que representa a la zona potencial de afectación.

Como efecto colateral de la subsidencia es la modificación en las trayectorias del escurrimiento superficial que reconoce a la Laguna Madre, tal es el caso por ejemplo, del Río San Fernando que es el tributario más importante de la laguna en cuestión, dicho curso fluvial antiguamente reconocía hacia la Bahía de Catán en la porción meridional de la laguna. Pero como se sabe, el hundimiento es más rápido en el ápice del delta, por tanto, la corriente migró reconociendo hacia el nuevo nivel base, fenómeno que queda grabado en la fisiografía formando en la trayectoria del curso fluvial un codo de captura por el cambio de dirección y el paleocauce del curso original (Hernández y Ortiz, 1995).

4.2 Laguna de Alvarado y curso bajo del río Papaloapan, Veracruz

La región del curso bajo del Río Papaloapan, constituye una zona de mayor fragilidad y riesgo potencial del litoral centro-occidental del Golfo. Se expresa en el relieve como una planicie fluvio-deltaica cuyos brazos deltaicos distributarios emergen sobre el nivel de tierras bajas de inundación y de pantanos de inundación permanente. Desde el punto de vista geológico, consiste en una cuenca geológica marginal con un espesor de sedimentos del orden de 700 m (Lozano, 1995); procesos de hundimientos sucesivos durante el Cenozoico y eventos de transgresiones marinas y de cobertura continental (Viniestra, 1992).

El Río Papaloapan es uno de los ríos de mayor escurrimiento del país, de régimen perenne, pero caracterizado por fuertes variaciones en sus volúmenes de descarga, con intensas avenidas de verano generadas por perturbaciones ciclónicas que provocan extensas inundaciones a largo de su cauce y principalmente en las zonas bajas.

Proyectando los escenarios de riesgo hasta el nivel de los 2 m de altura, la configuración de la zona vulnerable forma un amplio embahiamiento. De esta forma, la zona de intermareas infralitoral está representada por 400 km² con vegetación de manglar y de pantanos que se extienden por una superficie de 740 km².

Si se considera que el sistema lagunar de Alvarado y del río Papaloapan comprende un área de 1183.3 km² y la extensión que cubre la zona de inundación es de aproximadamente 1448 km², al obtener el cálculo del área de inundación establecida entre el nivel de los 0 y 1 m de altura sobre el nivel del mar se encuentra un 84% cubierta por la zona intermareal, es decir, donde tienen lugar las más importantes variaciones del nivel del mar. Este nivel de inundación se sitúa hasta 47.5 km tierra adentro sobre las tierras bajas. El siguiente nivel de inundación corresponde al rango de 1 a 2 m de altura, en términos del área afectada se extiende por una superficie de 168 km² que es 16% de la superficie total.

4.3 Complejo deltaico Grijalva-Mezcalapa-Usumacinta, Tabasco

El complejo deltaico Grijalva-Mezcalapa-Usumacinta aporta en promedio una descarga de 87 millones de metros cúbicos por año, volumen que transita y anima los ecosistemas de extensos humedales y aguas costeras que representan cerca de 30% del escurrimiento total del país, siendo de esta manera el sistema deltaico más importante de Mesoamérica (Chavéz, 1988).

Por la magnitud de la extensión y por las consecuencias y cambios en los sistemas naturales sobresale como el área de mayor susceptibilidad. Al igual que el caso anterior, este complejo deltaico está sujeto a una subsidencia, con la particularidad de contar con hundimientos diferenciales debido a las distintas velocidades de descenso, contrastes que son impartidos por las estructuras mayores del subsuelo como son las fallas geológicas que originan depresiones y pilares entre los cuales hay desplazamientos activos muy recientes, pues tienen expresión superficial y controlan estructuralmente la red hidrográfica de las llanuras fluviales (Ortiz, 1992).

De esta manera, en las fosas o depresiones donde hay una mayor velocidad de descenso, se establece una analogía semejante a la de un ascenso del nivel del mar, hecho que se traduce en una mayor erosión de la playa y su consecuente retroceso de la línea de costa hacia el continente (Ortiz 1992, 1994, 1988; Ortiz, P. y J. Benitez, 1996).

La zona comprendida entre 0 y 2 m de elevación sobre el nivel del mar tiene una extensión aproximada de 5000 km², de los cuales el 60 % representa la zona infralitoral y el 40% corresponde a la supralitoral.

En la zona de la Laguna de Términos, una de las entrantes de mayor longitud, en el nivel de 0 - 1 m es de 20 km. En la zona del río Usumacinta el nivel de inundación de 0-1 m alcanza hasta 55 km, proyectándose el siguiente nivel hasta 62 km tierra adentro. En el área que corresponde al río Grijalva la extensión del primer nivel de inundación es de aproximadamente 25 km, el segundo nivel es de 32 km.

En el punto donde se ubica la laguna Machona los niveles de inundación disminuyen, siendo así para el rango establecido entre 0-1m de 6 km, para el rango de 1-2 m es de 8 km; en promedio se tienen diferentes niveles de inundación en diversos puntos del complejo Grijalva-Usumacinta, siendo esto un reflejo o manifestación de la irregularidad del terreno de las diferentes entrantes del mar.

4.4 Los Petenes, Campeche

La región de los Petenes enclavada en la costa norte de Campeche consiste en una planicie de inundación que se extiende con anchura media de 15 km y con una dirección generalizada norte-sur.

El área en estudio está ocupada por ciénagas y marismas de una amplia diversidad florística, condiciones propiciadas por el escaso gradiente de pendiente de una planicie tendida y baja que constituye un nivel base de transición en la interfase tierra/mar, nivel sobre el cual reconocen para la porción media innumerables surgencias o manantiales “petenes” de acuíferos someros o subsuperficiales, marcando condiciones palustres que derivan gradualmente a fases salinas en las marismas adyacentes a la costa.

Los componentes naturales de la franja costera se estructuran con un arreglo de franjas paralelas a la línea de costa motivadas por la presencia del manglar de franja costera dispuesta directamente a las aguas marinas sin la presencia de una playa. Indicando, por un lado, la baja energía física del ambiente y por otro el papel geomorfológico del manglar para retener sedimentos y hojarasca de la biomasa del propio mangle. Este proceso contribuye a elevar las riberas de la costa y de los esteros formando bordos bajos perimetrales o marginales causando represamiento del agua y originando, deficiencias de drenaje que se traducen en cuencas de evaporación o blanquizales que son típicas de la planicie externa. Gradualmente, hacia el interior de la llanura, se identifica a la marisma ensalitrada con parches de manglar que es sustituida por una asociación mixta de manglar y tular con intercalaciones de petenes en el sector septentrional. Para la porción meridional de características climáticas de mayor humedad se observan manchas más extensas de manglar y petenes de extensión más amplia en contacto con selvas medianas subcaducifolias.

Las características, en su conjunto, dan lugar a un complejo de humedales único por la distribución de estructura espacial y sumamente frágil desde el punto de vista de la vulnerabilidad por variaciones del nivel del mar.

De acuerdo con el emplazamiento geológico, constituye la zona de mayor hundimiento de toda una serie de planicies estructurales o bloques tectónicos escalonados de baja altura que parten del centro-sur de la península de Yucatán, y que van cayendo hacia la periferia en el litoral. Es difícil de constatar si persiste aún la subsidencia, pero si ese fuese el caso, el proceso de hundimiento se contrarrestaría con el aporte continuo de sedimentos de deriva costera provenientes de la costa de Yucatán, y que se manifiestan claramente en los ganchos de barra formados en la isla de Celestún y de Isla Arena con acrecentamiento de la línea de costa hacia el mar. Esta sedimentación se contempla como un proceso a largo plazo en términos de tiempo geológico; sin embargo, hay que recordar que gracias a este marco geológico-tectónico se cuenta con las condiciones de ambiente mixto costero que da lugar a una reserva muy importante de humedales.

La región de los Petenes, alcanza extensas áreas de inundación. En este sentido la configuración de las entrantes de inundación se comportan de la siguiente manera: de 0-1 msnm alcanza una penetración tierra adentro de aproximadamente 16 km de longitud con una área de inundación aproximada a los 520 km². Por otro lado el nivel correspondiente entre 1 y 2 m alcanza hasta 19 km de penetración salina con una área de 200 km².

4.5 Bahías de Sian Ka'an-Chetumal, Quintana Roo

Sian Ka'an constituye un humedal importante que se localiza en la costa del Caribe en el extremo suroriental de la península de Yucatán en el Estado de Quintana-Roo, comprende 528,000 ha de las cuales 120,000 son marinas (SEDUE, 1987). Esta zona es considerada como Reserva de la Biosfera (SEDUE, 1987). Tectónicamente son fosas en proceso de hundimiento, constituidas de sedimentos calcáreos de origen marino.

Se ubica en un área poco elevada sobre el nivel del mar, por lo cual los pequeños cambios topográficos tienen mucha importancia en la configuración del paisaje. En las partes bajas se presentan pantanos, mientras que los lugares más elevados están cubiertos de selvas. Variaciones edáficas y sobre todo topográficas en un área tan plana y tan baja ocasionan diferencias en los períodos de inundación, y la interacción de estos factores con la salinidad determinan en gran medida el tipo de vegetación que se establece en cada sitio (Olmsted y Durán, 1986).

El hundimiento de las fosas da lugar a un comportamiento transgresivo del espacio litoral, toda vez que el proceso es análogo a los efectos del ascenso del nivel del mar y permitiendo una migración del ambiente costero hacia el interior de la porción continental, originando con ello un gradiente ambiental de las hidroseries que varía principalmente de unidades de manglar, marismas de inundación marginal (pantanos y selvas bajas inundables).

La extensión de las áreas de inundación comprendida en la porción meridional de Sian Ka'an y para los niveles establecidos entre los 0 y 2 m de altura sobre el nivel del mar se manifiestan de la siguiente manera: el primer nivel es considerado dentro de la zona intermareal y es ahí donde tienen lugar las más importantes variaciones del nivel del mar. Para el área en estudio su importancia es tal que ocupa 97%, representado por casi 585 km². Este nivel de inundación se sitúa bordeando la bahía a través de una faja de unos 500 m de anchura aproximadamente aunque puntualmente en los esteros llega alcanzar hasta 32 km tierras adentro. Esta zona es la de más alta peligrosidad o de riesgo fuerte, ya que representa a la franja directamente afectada por la sobreelevación de las mareas de tormenta además de constituir porciones de las áreas deprimidas a donde reconoce el escurrimiento superficial y subsuperficial. El siguiente nivel de inundación corresponde al rango de 1 a 2 m de altura. La gran amplitud de área evaluada como peligrosa o de alto riesgo, sobresale de una manera absoluta, atributo al que hay que agregarle el arreglo de la distribución espacial, pues el avance marino se lleva a cabo esencialmente a lo largo de la depresión limitada por fallas geológicas, por las cuales reconoce la cuña de penetración marina que llega alcanzar hasta 29 km tierra adentro.

5. Conclusión

- Por primera vez se llega a un inventario de los componentes naturales y uso del suelo de forma sistemática para toda la línea de costa Atlántica del Golfo de México, basado en un reconocimiento cartográfico escala 1:50 000.
- El aporte fundamental es el conocimiento de la distribución espacial de los componentes naturales y de uso del suelo para la zona infralitoral y supralitoral de la costa, determinando de este modo la magnitud aproximada de las áreas que se consideran como vulnerables o de

amortiguamiento a los efectos del ascenso del nivel del mar. Reuniendo esta información en un banco de datos, utilizando un sistema de información geográfica.

- Estos elementos de análisis en su conjunto representan la estructura básica de datos, que determinan a la zona centro-sur como área de mayor peligro a las variaciones del nivel del mar, en donde se encuentran grandes extensiones de marismas con manglar y halófitas. De la misma forma se identifican y delimitan las áreas de riesgo potencial en pastizales, pantanos y zonas agrícolas.
- Las zonas sujetas a inundación con la sobre elevación del nivel del mar por mareas de tormenta, indican que la penetración de la cuña marina de lleva a cabo con una distribución no uniforme y de manera muy irregular a lo largo de amplios tramos de la costa.
- En las zonas de mayor vulnerabilidad la influencia marina se llega a sentir a 40 y hasta 50 km tierra adentro, por ejemplo, el caso del río Mezcalapa-Usumacinta y humedales de Centla, Tabasco.
- Desde el punto de vista técnico, se considera que el uso de los modelos de terreno son una herramienta de utilidad para extrapolar patrones de relieve en zonas donde no existen mapas con curvas de nivel a equidistancias tan cortas y de altura pequeña.
- Desde el punto de vista metodológico se requiere mejorar las estimaciones y medidas en el presente trabajo. Se considera que la escala fue la adecuada en este enfoque de tipo regional.
- Deberá actualizarse la base de datos con fechas de años recientes, con objeto de contar con una referencia para comparar los cambios y las modificaciones del uso del suelo y conocer la magnitud de los impactos.

Referencias bibliográficas

- Botello, A., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz y S. Villanueva. 1992. Ecología recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. Ciencia y Desarrollo. Vol. XVII. (102): 28-48.
- CIFSA, 1967. Estudio regional de la laguna Madre de Tamaulipas. Estudio preliminar para la rehabilitación de la laguna Madre de Tamaulipas, México. 458 p.
- Chávez, L. 1988. Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta-Grijalva. INIREB. División Regional-Tabasco y Gobierno del Estado de Tabasco. 720 p.
- Davies, J. L. 1980. Geographical Variation in Coastal Development. 2nd edition, Edited. K.M. Clayton. Logman.
- Dawes, C. 1986. Botánica Marina. Limusa: México.
- Hernández, L. y Ortiz, P. 1995. Evidencias geomorfológicas de subsidencia en el sistema deltaico del río Grande, Tamaulipas, México, utilizando percepción remota. VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. MEMORIAS. SELPER: México. Pp 243-246.
- ITEMS-Guaymas, CECARENA. 1993. Taller para el manejo de humedales costeros en el noroeste de México. MEMORIAS del 7 al 11 de diciembre de 1993. p. 8
- Lozano, R.F. 1955. Bosquejo geológico de la provincia del Papaloapan. Estado de Veracruz. México. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. VII. No. 1-2.
- Maul, G.A. 1993. Climatic Change in the Intra-Americas Sea. UNEP. Gran Bretaña. 389 pp
- Olmsted, I. y R. Durán, 1986. Aspectos ecológicos de la selva baja inundable de la reserva Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Biótica. Vol. 11. Núm. 3. Pp. 151-179.

- Ortiz, P. (1994). Repercusiones del ascenso del nivel del mar en costas bajas de planicies deltaicas. En *Geografía y Desarrollo* Num 11, Vol 2. pp 69-72.
- Ortiz, P. 1988. Evidencias de cambios geomorfológicos del sistema litoral mediante el análisis de imágenes aéreas. *Memorias. Ecología y Conservación del Delta de los Ríos Usumacinta y Grijalva*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. División Regional Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Pp 43-54.
- Ortiz, P. 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltaico del río San Pedro, Campeche-Tabasco. *Investigaciones geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. Núm. 25. Pp. 7-23.
- Ortiz, P. y J. Benítez. 1996. Elementos Teóricos para el Entendimiento de los Problemas de Impacto Ambiental en Planicies Deltáicas: la región de Tabasco y Campeche. Botello, A.V., J.L. Rojas-Galaviz, J. Benítez y D. Zárate-Lomelí (Eds). En *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. EPOMEX, Serie Científica 5 Universidad Autónoma de Campeche. Pp 483-503.
- Ortiz, P. y L. M. Espinosa. 1991. Una clasificación geomorfológica de las costas de México. *Geografía y Desarrollo* Vol. 2, Núm. 6. Pp 2-9.
- Pannier, F. 1992. El ecosistema de manglar como indicador de cambios globales en la zona costera tropical. *Ciencia*(43) Número especial: 111-113.
- Rona, P.A. 1974. Subsidence of Atlantic Continental Margins. *Tectonophysics* (22): 283-299.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. LIMUSA: México. 432 pp.
- SEDUE, 1987. Plan de manejo de la reserva de la biosfera Sian Ka'an. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología: México. 140 p.
- Titus, J. 1987. Sea level rise and wetland loss: an overview. In *Greenhose effect sea Level Rise and Coastal Wetlands*. EPA (Environmental Protection Agency): United States. 35 p.
- Viniegra, O. 1992. *Geología histórica de México*. Facultad de Ingeniería. UNAM: México. 218 p.