

Componentes naturales y de uso del suelo vulnerables a las variaciones del nivel del mar en la costa atlántica de México

Mario Arturo Ortiz Pérez*
Ana Patricia Méndez Linares*

Recibido: 4 de mayo de 1999
Aceptado en versión final: 9 de febrero de 2000

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

Palabras clave: Regionalización de costas, fisiografía, vulnerabilidad costera, uso del suelo.

Abstract. Geomorphological characteristics of the coastal longitudinal profile and the arrangement of the physiographical structure allowed the recognition of two zones: a) the intertidal zone –a basic scene for direct impact of sea level change; and b) an adjacent peritidal (supralittoral) fringe –an area of cushioning or of potential risk. An inventory of the vegetation and land use was performed in both scenes in order to reveal the composition and distribution of vulnerable areas to sea level rise. Vegetation and land use was identified through aerial photo interpretation and field work, the results were processed in a geographical information system.

Key words: Coastal regionalization, physiography, coastal vulnerability, land use.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es una unidad oceanográfica natural, altamente productiva, que representa el 27% del litoral mexicano. De los 10 principales puertos pesqueros del país, seis se localizan en la región del Golfo de México; de los cinco puertos industriales en México, tres están localizados en esta región. Más de 80% del petróleo crudo y 90% de la producción nacional de gas se origina en el Golfo de México y su planicie costera (Botello *et al.*, 1992).

Asimismo, el Golfo de México provee importantes hábitats para una gran biodiversidad, que incluye pantanos costeros, pastos marinos, bosques de manglar, lagunas costeras y estuarios, bocas estuarinas que comunican sus aguas con el mar. Los pantanos del Golfo de México son críticos para las aves acuáticas y son utilizados intensivamente por aves migratorias (EPOMEX, 1994). La importancia de

los humedales no siempre ha sido apreciada. Durante los últimos tres siglos, éstos han sido explotados como canales de drenaje y las marismas y ciénagas han sido desecadas para crear tierras destinadas al uso agrícola y al desarrollo urbano. Se estima que para el próximo siglo, los humedales y las tierras secas se convertirán en aguas abiertas (de mayor energía física) a lo largo de la zona costera (Titus, 1988).

Por otro lado, el incremento en las concentraciones de dióxido de carbono y otros gases que son emitidos a nuestro planeta provoca el efecto de invernadero. Este fenómeno contribuye al calentamiento global que causa la expansión de los océanos (Titus, 1988). Muchos de los humedales de América son tierras bajas susceptibles a inundación, y un aumento en el nivel de los mares tendría efectos directos importantes en las zonas costeras y estuarios, con consecuencias de gran trascendencia en materia ambiental, eco-

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

nómica y social en muchos países (PNUMA, 1989). Se ha estimado que un calentamiento mundial que oscilara entre 1.5 y 4.5 °C podría aumentar el nivel del mar de 20 a 140 cm a fines del siglo XXI (UNEP/ICSI/WHO, 1986; citados por PNUMA, 1989), debido principalmente a la expansión térmica del agua oceánica. 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, donde se registrará un aumento en la temperatura de 1.5°C y un incremento en el nivel del mar de 20 cm, para el año 2025. El calentamiento climático podría también fundir los hielos flotantes del océano Ártico y derretir la capa de hielo del Antártico occidental. 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. Los estuarios, humedales, lagunas y pastizales podrían ser moderadamente afectados por ambos escenarios. Otros ecosistemas relevantes, como 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 y el turismo, entre otros (Maul, 1993).

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 mesolitoral y supralitoral. La primera se considera como la franja adyacente al mar, que está asociada con las variaciones del nivel marino, mediante los ciclos de la marea astronómica y del oleaje, esencialmente. Su espacio de acción son los cuerpos de agua de las lagunas costeras y planicies de inundación, gran parte de las cuales se asocia con el escurrimiento de la porción continental corres-

pondiente. La franja supralitoral, dispuesta inmediatamente por arriba de la mesolitoral, por su posición de tierras bajas y llanas, es susceptible a inundación por mareas altas de tormenta, o al impacto del ascenso del nivel del mar.

OBJETIVO

Proporcionar un inventario de los componentes naturales y usos del suelo que conforman la franja costera, a fin de conocer las características y la distribución de las zonas vulnerables al ascenso del nivel del mar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la identificación de las zonas intermareal y supralitoral, se siguieron 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 intermareal y la supralitoral, se llevó a cabo el levantamiento de las áreas naturales y de uso del suelo para la línea de costa del Golfo de México, a manera de inventario. Éste se realizó básicamente con fotografías aéreas de INEGI que cubrieron toda la franja costera. Debido a la amplitud de la zona en estudio, se seleccionaron fotografías en diversas escalas y con fechas de los años ochenta.

En este estudio de gran visión y sin pormenorizar en la diversidad del gradiente ambiental, se distinguieron en la zona intermareal: marismas cubiertas de manglar y marismas sin vegetación aparente, es decir, planicies de inundación con pastos halófitos, ensalitradas o con blanquizaes y cuerpos la-

gunares.

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

Las unidades fotointerpretadas se transfirieron a una cartografía base escala 1:50 000, mediante el uso del transferómetro y del stereosketch, ésta fue digitizada posteriormente en un sistema de información geográfica (ILWIS). Se obtuvieron las áreas de las unidades resultantes y se analizaron la distribución espacial de los componentes naturales y el uso del suelo. Finalmente se llevó a cabo una regionalización de la costa Atlántica de México, 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.

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA

Después de una larga y complicada historia geológica, la cuenca del Golfo adquiere el arreglo de una gran estructura concéntrica y escalonada, en cuyo núcleo o centro se aloja la fosa de Sigsbee y cuya llanura abisal se dispone a partir de la isobata de 3 600 m, nivel que por otro lado, es el límite circundante del talud continental.

La plataforma continental sumergida constituye el escalón siguiente, se dispone en forma de franja anular, pero de anchura variable. Se extiende 80 km frente a la desembocadura del río Bravo; 45 km frente al puerto de Tampico y experimenta su máximo estrechamiento de entre 6 y 16 km a la altura de la zona volcánica de los Tuxtlas, Veracruz. A partir de ahí, se amplía nuevamente hasta alcanzar 130 km frente a la Isla del Carmen; 170 km frente a

Campeche y 260 aproximadamente en el extremo norte de la península de Yucatán (Lugo, 1985).

La costa mexicana, que circunda al Golfo de México y pertenece al océano Atlántico norte, así como la del Mar Caribe, tienen un desarrollo longitudinal de 3 117 km. Se extienden desde el estado de Tamaulipas hasta la península de Yucatán y la costa del estado de Quintana Roo (INEGI, 1991).

El relieve que lo caracteriza consiste en su mayor parte de una amplia faja de llanura costera que llega a medir de 30 a 150 km de ancho y es generalmente llano y bajo. Ahí se reconocen más de 25 corrientes fluviales de importancia y se localizan 23 lagunas costeras de muy diversas dimensiones, en donde son muy importantes las condiciones de estuariñidad. Son numerosos los contactos de transición en los enlaces fluviomarineros que hay entre las islas barrera y la porción continental en conexión con las planicies de inundación, lagunas, marismas, pantanos y manglares.

Las costas rocosas que se presentan en tramos cortos registran bajas alturas. Las hay constituidas de rocas volcánicas compactas, formando promontorios aislados que salen fuera de la traza general de la costa, los que a su vez se hayan unidos por barras de arena. Configuran en su conjunto una costa mixta con amplias bahías abiertas. En el Caribe domina una costa rectilínea de playas y tramos cortos de costas rocosas con tramos escasos de configuración dentada, los acantilados son bajos y formados de rocas calcáreas, en cuya base se establece una corta plataforma de abrasión y/o acumulación.

Siguiendo las pautas del gradiente climático de zonalidad geográfica o latitudinal, se tiene que, de norte a sur, corresponden a climas áridos y secos en el litoral noroccidental, seguidos de climas subhúmedos en el sector central y tropicales húmedos en la porción meridional, y un clima seco en la costa norte de la península de Yucatán. El Golfo constituye un área favorable para el desarrollo de ciclones

tropicales en verano, mismos que son acompañados de inundaciones y mareas de tormenta. Casi el 35% de los ciclones que se originan en el Mar Caribe afectan a las costas de México (Jáuregui, 1967).

Según Lankford (1977) existen tres tipos de régimen de oleaje que tienen lugar en el Golfo de México y Mar Caribe: a) olas y marejada de tormenta asociadas a ciclones tropicales, b) olas y marejada de tormenta asociadas a frentes fríos conocidos en México como "nortes", y c) olas y marejadas generadas dentro del límite del *fetch* de la superficie del Golfo.

Los vientos dominantes son los alisios, que provienen del sector oriental durante todo el año, generando olas con típicos períodos de entre cinco y siete segundos, y crestas que alcanzan alrededor de 1.5 m de altura. De esta forma, el oleaje incide predominantemente en el sector este, con una frecuencia de poco más de 60% del total anual. El litoral del Mar Caribe recibe el oleaje frontal del oriente con un ángulo comprendido entre el sector noreste y sureste, esencialmente bajo las mismas condiciones del oleaje típico de las cuencas mediterráneas o semicerradas, que puede ser considerado de baja y moderada energía, excepto durante los huracanes, cuando olas de más de 4.5 m han sido observadas (Lankford, 1977).

Los huracanes ocurren en verano, causando intensas tormentas. Las trayectorias ciclónicas normalmente inciden sobre la costa del litoral noroccidental afectando a menudo a la península de Yucatán.

Los nortes se desarrollan normalmente entre octubre y febrero; cada año se presentan entre 15 y 20 de ellos, cada uno con una duración de uno a cinco días. Los vientos frecuentemente exceden los 40 km/hr, creando mareas de tormenta que inundan las tierras bajas, erosionan playas y transfieren sedimentos en diversas direcciones. Hay movimiento de arenas en los campos de dunas con una orientación de norte a sur, progradando a las lagunas costeras situadas a sotavento.

Aunque el rango de mareas es pequeño a lo largo del Golfo (< 0.5 m), es muy importante en las zonas de mezcla de ambiente estuarino con movimiento de agua y sedimentos, particularmente en las desembocaduras fluviales, los esteros, brazos deltaicos y bocas de lagunas (Phleger, 1969).

Las aguas superficiales del Golfo alcanzan su mayor temperatura en el verano. Aparentemente guardan cierto arreglo latitudinal en la distribución, ya que las temperaturas registran alrededor de 28° C en la costa noroccidental del Golfo (Fernández *et al.*, 1992), y se incrementan en el sector central y suroriental a los 29.7 y 28.9° C, respectivamente (Toledo, 1996). Los niveles de salinidad superficial muestran una relativa uniformidad al oscilar entre valores de 36 y 36.7‰ (De la Lanza, 1991).

En invierno existe un gradiente de temperaturas que varía de 19.5 a 22.5° C (Fernández *et al.*, 1992), en la costa noroccidental. La temperatura se incrementa en la porción central y costa oriental de Yucatán hasta los 24° C. En las aguas superficiales del litoral correspondientes al Mar Caribe la temperatura asciende a valores de entre 25 y 25.5° C (*Ibid.*). En esta estación, la salinidad registra un mínimo de 31‰ en el sector septentrional del Golfo y un máximo de 36.68‰ frente a las costas de Campeche (Toledo, 1996).

RESULTADOS

Diferenciación de las costas mexicanas del Golfo de México

La zonificación costera se fundamenta en el carácter regional, es decir, las zonas o regiones costeras se determinaron y diferenciaron con base en las características distintivas y únicas de homogeneidad relativa que en el conjunto territorial dan lugar a un arreglo privativo de los componentes naturales.

De esta manera, los elementos diferenciadores: geomorfología, clima y algunos aspectos

tos de hidrología, proporcionan los contrastes y/o regularidades territoriales que condicionan al medio ambiente. De acuerdo con la clasificación costera propuesta y las afinidades más sobresalientes del medio natural, se reconocen cinco provincias en la costa del litoral Atlántico de México (Figura 1).

Litoral Noroccidental (Tamaulipas)

La totalidad de la línea de costa, de alrededor de 500 km de longitud, se extiende desde la desembocadura del río Bravo en el norte, hasta su límite meridional un poco más al sur del Trópico de Cáncer, prácticamente a todo lo

largo de la costa del estado de Tamaulipas. El litoral está constituido por una costa acumulativa de playas bajas arenosas de configuración rectilínea y de fisonomía monótona, expresada por la geomorfología de una larga barra formada de islas barrera de manera muy semejante a la costa de Texas. De acuerdo con los datos registrados, la extensión de la zona de intermareas es mayor a 2 800 km², de esta área más de 60% (Figura 2) está cubierta por el amplio sistema lagunar de la laguna Madre, con un desarrollo longitudinal de 225 km, alojada en la porción septentrional de la costa.

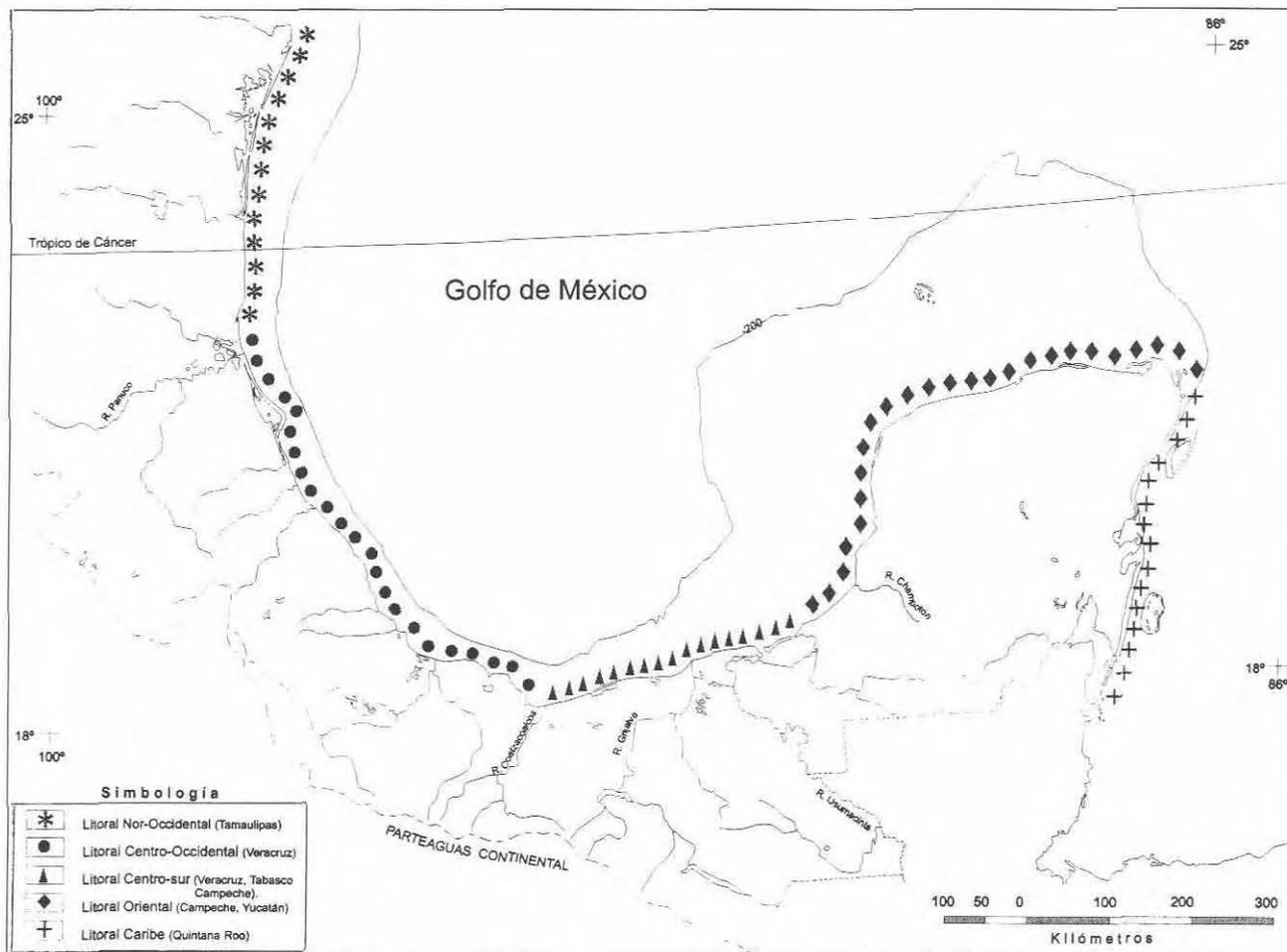


Figura 1. Regionalización costera del Golfo de México y Mar Caribe.

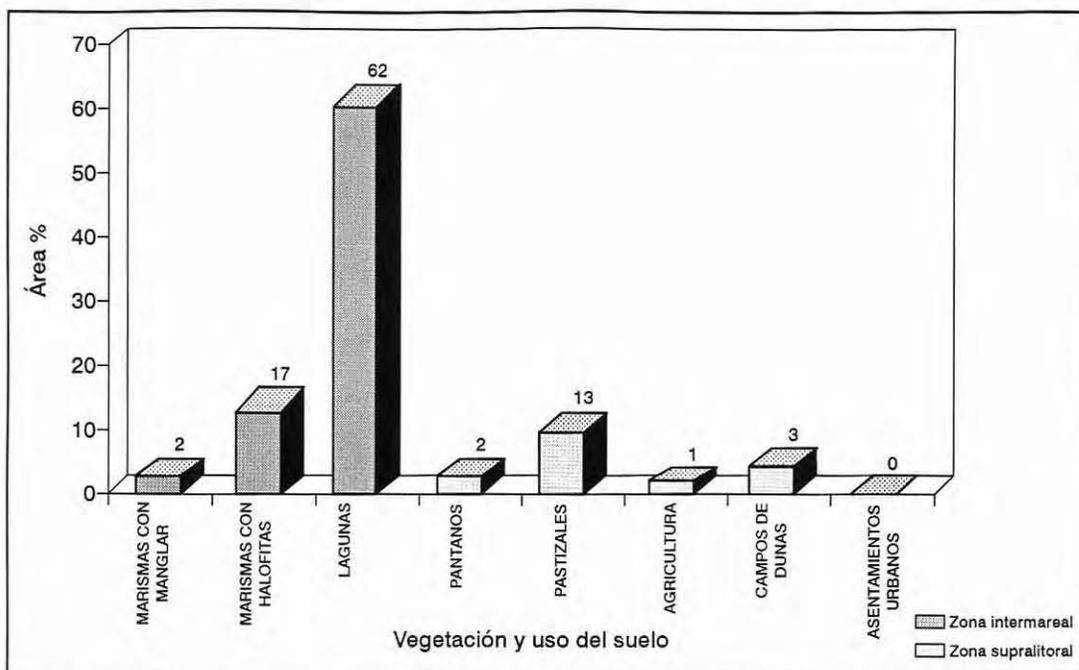


Figura 2. Distribución de la vegetación y uso del suelo en la zona noroccidental. El área ocupada por los embalses de las lagunas comprende más de 60% con respecto a los demás elementos. El clima seco, junto con el papel de los vientos reinantes, propicia la existencia de planicies de inundación con elevada evaporación, incrementando las áreas ensalitradas, siendo mínima la distribución de manglares, pantanos y terrenos agrícolas.

Desde el punto de vista geológico y fisiográfico, consiste en una cuenca geológica marginal del terciario que se expresa superficialmente a través del sistema deltaico del río Bravo, cuya cuenca llega a tener una columna de sedimentos cercana a los 10 000 m de espesor (Yáñez y Schlaepfer, 1968) sujeta a un proceso de subsidencia de 5 mm/año en el ápice del delta, decreciendo a 1 mm/año cerca de la desembocadura del río Soto La Marina (Rona, 1974).

La activa acreción de sedimentos a lo largo del litoral contrarresta los efectos del fenómeno de la subsidencia. Por otra parte, los sedimentos de las barras son retrabajados por el viento, que forman campos de dunas activos, y parte de estos sedimentos azolvan las lagunas en el flanco de sotavento. Al mismo tiempo, contribuyen las cercenaduras de erosión o "washover channels" de los abanicos de desplajamiento o "washover fans", que son

muy numerosas en las islas barrera, depositando los sedimentos en la cuenca lagunar durante las tormentas.

Otro de los componentes naturales que constituye la zona intermareal, son las marismas con halófitas representadas esencialmente por pastos abiertos que se extienden en 500 km² de superficie, aproximadamente.

Con respecto a la unidad de manglar, ésta se distribuye en forma de bandas estrechas a lo largo de angostas llanuras marginales ubicadas en el extremo meridional de la laguna Madre. La vegetación se extiende con una estructura espacial a manera de corredores o de manglar de borde, consistente de mangle negro *Avicennia nitida* (Contreras, 1993). Semejante distribución se aprecia en las márgenes de las lagunas de San Andrés y Morales en la costa sur de Tamaulipas, la que cubre un área total de sólo 50 km².

El carácter contrastado de tal distribución se debe a una serie de razones, entre las que se encuentran: el gran embalse que rebasa en casi tres veces la extensión de las áreas inundables cubiertas de manera alternante por la marea que es de escasa amplitud, entre 40 y 60 cm; la variación media diurna es de sólo 45 cm en términos generales, pero adquiere importancia por la escasa pendiente, ya que una pequeña variación del nivel del agua provocaría inundaciones extensas (CIFSA, 1967). La vasta extensión del espejo de agua queda a merced de los vientos dominantes, pues no existe barrera topográfica alguna, debido a que se halla expuesta a la tirada de viento o *fetch* muy amplia, tanto por el mar del Golfo como por la porción continental, ya que la rodean vastas llanuras. Este hecho contribuye a la presencia del fenómeno de marea de viento, que se traduce en un ambiente de alta energía física, siendo un factor limitante para la expansión del manglar, simplemente porque el área no reúne las condiciones óptimas para el desarrollo de este tipo de vegetación, y por tanto hay un crecimiento precario del mangle. Por otra parte, cabe mencionar que el efecto del viento provoca una evaporación más efectiva del embalse, la que a su vez repercute en una mayor salinidad del agua de hasta 48 ppm, siendo entonces el cuerpo lagunar hipersalino más importante de las costas del Golfo de México, que permite sólo el desarrollo de plantas halófitas.

Por otro lado, la zona supralitoral muestra condiciones limitantes, semejantes a la intermareal, influenciadas por la salinización de los suelos, existiendo un abatimiento de las áreas de pantanos, pastizales, uso agrícola y asentamientos urbanos.

El Litoral Centro-Occidental (Veracruz)

Ocupa casi todo el estado de Veracruz, cuya línea de costa tiene aproximadamente 750 km de desarrollo longitudinal.

El escenario básico consiste en islas barrera que, en la porción septentrional, encierran a la laguna costera de Tamiahua, formada a partir de la sedimentación de sus barras sobre arre-

cifes coralinos que salen fuera de la traza general de la línea de costa y que dan prueba de la importancia que tiene la circulación de sedimentos de la deriva litoral, con dirección generalizada de norte a sur. Desde el punto de vista geomorfológico, incluye a las costas acumulativas de playas bajas arenosas con exposición abierta al mar. Formadas a partir de islas barrera con campos de dunas y cordones de playas antiguas, separadas del continente por marismas y esteros estrechos con disposición paralela a la línea de costa.

En el sector central dominan las costas mixtas abrasivo-acumulativas, en tramos que se alternan salientes rocosas y embahamientos amplios y abiertos, para ceder gradualmente su lugar a playas bajas abiertas al mar en contacto con campos de dunas costeras. Esta fisonomía se modifica súbitamente en el sector sur, para volver a identificar una costa mixta abrasivo-acumulativa formada de rocas volcánicas recientes. Por otra parte, cabe mencionar que la celda de deriva costera claramente manifestada en el norte se pierde por completo en este tramo de la costa.

Sobresalen dos áreas en las cuales hay una clara manifestación de las variaciones presentes del nivel del mar. La primera se sitúa en el sector meridional de la laguna de Tamiahua y el río Tuxpan, que cubre más de la tercera parte de las marismas. Otra zona importante es la que corresponde a la porción meridional de Tampico. Sin embargo, el área realmente vulnerable se ubica en la región de la laguna de Alvarado, Veracruz. Aquí se presenta la superficie de inundación principal de este trecho del litoral, facilitado por la amplia bocana de Alvarado, así como por el sistema fluvial del Papaloapan, que reconoce esta depresión; es probable que el origen de ésta sea de carácter tectónico de hundimiento, como indican las mediciones geofísicas (Lozano, 1955). Estos sistemas reconocen a la región de la laguna de Alvarado que se extiende en un área próxima a los 700 km², de los que 400 están cubiertos por manglares, siendo dicha área la más sobresaliente de este tramo correspondiente a la zona intermareal (Figura 3). De menor magnitud areal se

presentan zonas con vegetación halófila (alrededor de 200 km²).

No obstante, en la zona supralitoral destacan dos áreas de humedales que comprenden a los pantanos, que ocupan una superficie de 740 km², y los pastizales con más de 1 140 km² que, por su amplia extensión y condiciones geomorfológicas de la costa, son consideradas como las áreas de mayor riesgo al ascenso del nivel medio marino.

Litoral Centro-Sur (Veracruz-Tabasco y Campeche)

La costa meridional del Golfo se extiende desde la laguna del Ostión al oeste, hasta la laguna de Términos en el oriente, con una longitud aproximada de 365 km. El rasgo distintivo de este litoral con respecto a las otras regiones, es que comprende a los principales sistemas deltaicos y estuarinos de la costa mexicana del Golfo, que influyen de

manera determinante en el mar adyacente por el importante aporte de agua y sedimentos continentales, que seguramente representan una fuente importante de nutrientes.

La línea de costa baja arenosa se distingue por la formación de islas barrera establecidas por la sucesión continua de cordones de playa de carácter regresivo, edificadas en el Holoceno, favorecidas por una fuente constante de sedimentos reabajados por la acción de las corrientes de deriva costera y que se disponen flanqueando el frente de las planicies deltaicas. Tal arreglo espacial facilitó la presencia de amplios ambientes lacustres formados por las marismas y lagunas costeras de barrera, que están caracterizadas por tener cuerpos de agua de configuración elongada, cuyo eje mayor se orienta paralelamente a la línea de costa (West *et al.*, 1969). También favoreció a los ambientes palustres y de llanuras de inundación ante la deficiencia del drenaje superficial.

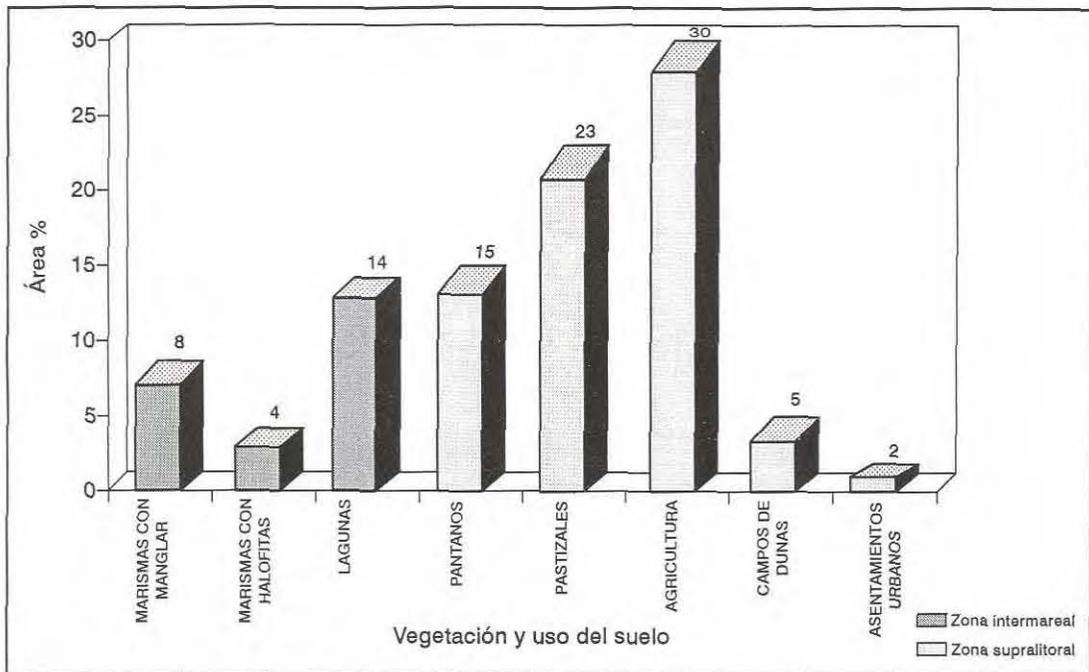


Figura 3. Litoral centro-occidental. En esta región, a diferencia de la porción noroccidental, decrece en gran medida el área de las lagunas y aumenta la proporción de manglares y pantanos, no obstante que el uso del suelo de esta región es dominado por la agricultura y los pastizales.

De esta manera, la zona intermareal (Figura 4) registra una cobertura de manglares de 1 890 km² de extensión, superficie que equivaldría a sostener a lo largo de 350 km de frente costero una faja continua de 5 400 m de ancho. A esto hay que agregar 1 170 km² de marismas con halófitas, es decir, más de 3 000 km², escenarios básicos en donde actualmente tienen lugar las variaciones de marea y la influencia directa del mar. La superficie potencial es aún mayor, pues los pantanos cubren 2 100 km² de superficie, los pastizales 2 580 km² y los campos agrícolas que serían afectados, cubren 1 540 km², con respecto a un total de 6 220 km².

Por las características de la zona y la presencia de importantes sistemas naturales

con gran magnitud areal, esta región costera es la que se modifica principalmente por el impacto del ascenso del nivel del mar.

Litoral Oriental (Campeche y Yucatán)

La línea de costa tiene aproximadamente un desarrollo longitudinal de 745 km, cubre el flanco oriental de la cuenca del Golfo. En Campeche la costa se enfila con rumbo generalizado norte-sur, cambiando de rumbo en la costa de Yucatán con una orientación prácticamente de este a oeste, trazo que se eleva en tres grados de latitud al circundar a la península de Yucatán por el flanco marino del Golfo.

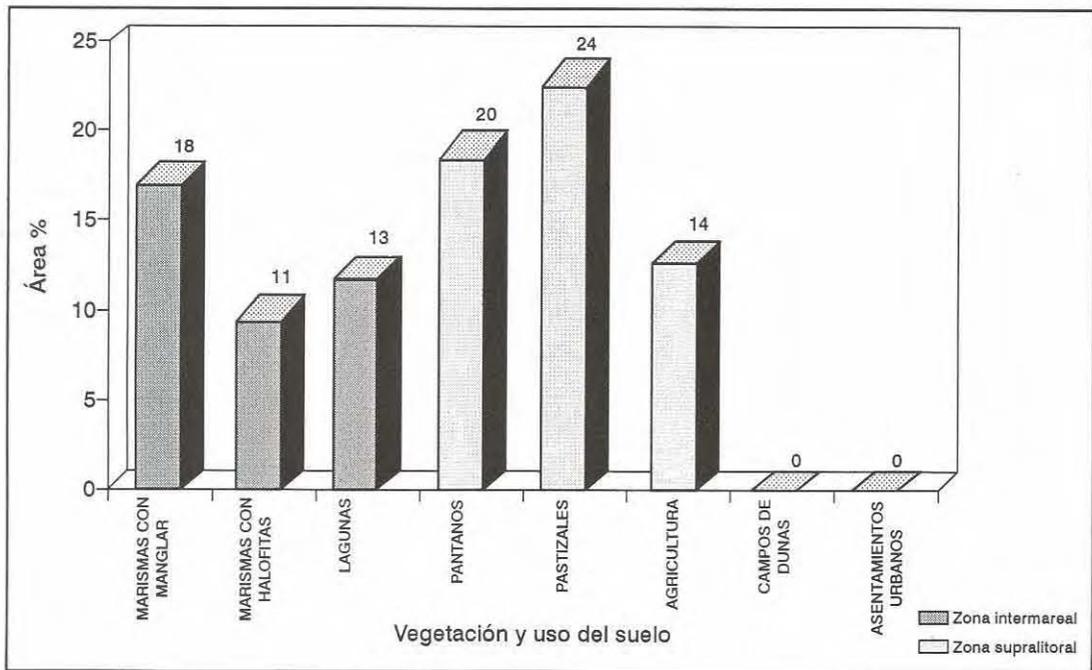


Figura 4. Porción litoral centro-sur del Golfo de México. Se registra una distribución más homogénea de los elementos naturales. El área amenazada está constituida por la amplia extensión de la zona supralitoral.

Uno de los rasgos notables es la ausencia de drenaje superficial o carencia de ríos, ya que el escurrimiento se lleva a cabo a través de la red del drenaje subterráneo, que en la llanura costera se manifiesta como manantiales kársticos (petenes), que le imprimen condiciones muy particulares a las marismas de la zona litoral. La geomorfología de la costa norte de Yucatán consta de planicies de playas bajas acumulativas, se encuentran resguardadas de mar abierto por un rosario de islas de barrera, la mayoría de las cuales está en proceso de crecimiento y expansión con sedimentación activa.

La zona intermareal está representada por las marismas, que se extienden desde la ciudad de Campeche hasta el Parque Natural de Flamíngos en Celestún y la estrecha ría que ocupa todo lo largo del litoral norte de Yucatán. Juntas cubren una superficie con más de 1 800 km², de los cuales 1 290 son extensiones con manglar y 530 son de marismas con halófitas. En comparación con las regiones anteriores (litoral noroccidental, centro-occidental y centro-sur) existe un decremento de lagunas, por lo que el manglar se desarrolla en forma de franja o de borde costero, o bien forma parte tierra adentro de pequeñas islas llamadas petenes, algunas veces asociadas a comunidades de selva baja y mediana.

En cuanto a la zona supralitoral, las unidades más importantes son los pastizales, que abarcan 1 217 km², las áreas agrícolas 987, los pantanos 482, las playas con dunas costeras 215 y un importante corredor de urbanización que se extiende por 36 km², mismas que en su mayor parte se distribuyen a lo largo de la costa en las márgenes adyacentes al puerto de Progreso (Figura 5).

No obstante que las áreas de esta región son menores proporcionalmente en comparación con las del litoral centro-sur, guardan importancia como grandes sistemas naturales.

El litoral del Mar Caribe

Esta región cuenta con una línea de costa de 865 km de longitud (INEGI, 1991). Forma parte de la península de Yucatán, y por ende, par-

ticipa de las mismas características geológicas. Sin embargo, las características que la diferencian son de carácter climático, geomorfológico e hidrológico.

La diferenciación del carácter regional de la costa está dada por el emplazamiento de barrera arrecifal coralina que le imprime al conjunto litoral una estructura única de los componentes naturales. Dicha arquitectura consiste en una barrera estrecha de cerca de 1 000 km de longitud (considerando la barrera desde Belice), ubicada en la zona sublitoral, siempre sumergida y raramente emergida, siguiendo de forma paralela a la línea de costa; por esta razón se le ha adjudicado entre la tercera o cuarta barrera arrecifal más extensa del mundo.

La barrera coralina resguarda a la línea de costa del oleaje directo a través del remanso formado entre la barrera y la línea de costa, debido a que el flanco frontal de la barrera coralina absorbe la energía física del oleaje, que incide primordialmente desde el oriente, también con ramas secundarias del sureste y noreste principalmente. Merino (1986) identifica y analiza el patrón de circulación costera superficial con una dirección predominante de sur a norte. Localmente y considerando el efecto de aguas someras, la configuración de la línea de costa y los fenómenos de refracción del oleaje, hay flujos superficiales a contracorriente, es decir, con dirección sur en trechos más cortos y en forma de giros o lazos.

Las mareas son de tipo mixto semidiurno, con amplitudes que varían entre 0.14 y 0.19 m. Esta pequeña amplitud y el declive suave y tendido de las playas propicia que las aguas interiores tengan baja circulación por efecto de las corrientes de marea.

La zona intermareal se encuentra restringida debido a la poca amplitud de la marea. Sin embargo, el vasto desarrollo longitudinal de la costa, de más de 850 km, permite la presencia de más de 1 000 km² de manglares. Superando este valor cabe distinguir a los pantanos con más de 2 800 km² en la zona supralitoral o

de amortiguamiento, extensión que indica la importancia del área potencial a inundación. Los otros usos del suelo (pastizales y agrícolas) son accesorios, pues cubren menos de 200 km² (Figura 6).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a través de este trabajo se sintetizan en los Cuadros 1 y 2 y en las Figuras 7 y 8. En ellos, se observa la distribución de los componentes naturales y de uso del suelo en 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 apreciar que las áreas de manglar ocupan 38% de la superficie total de la costa, con respecto al resto de los componentes. De este total, 15% se concentra en la porción centro-sur del Golfo de México (Figura 7), que comprende a los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche. Ahí, las características climáticas son las 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 tanto de nutrientes, debido a que encierra a los principales sistemas deltaicos.

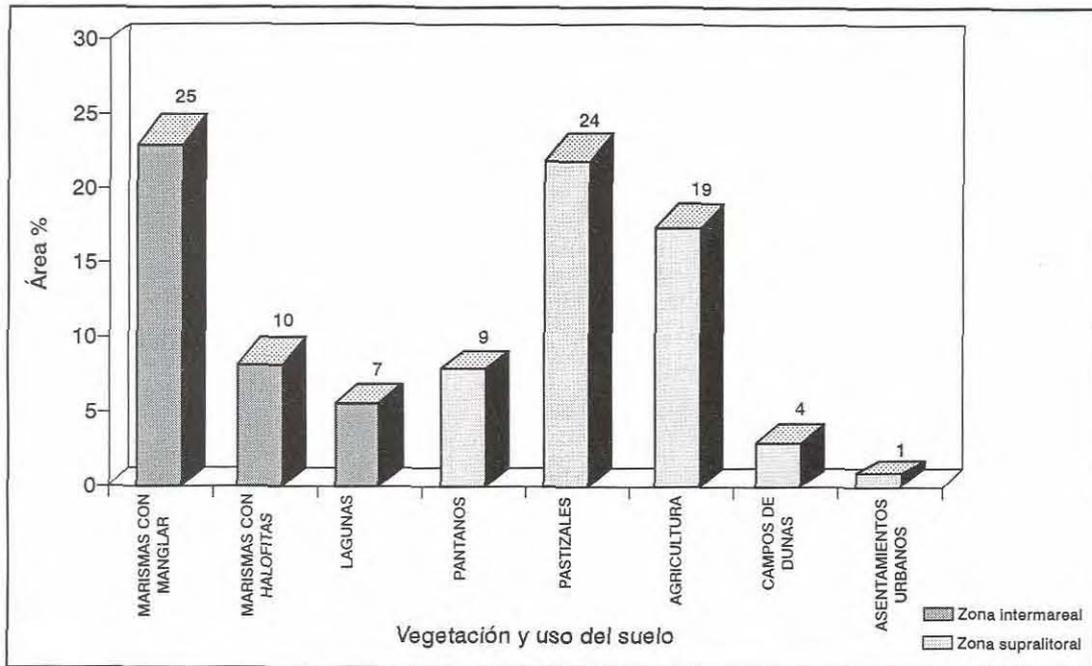


Figura 5. Porción oriental del litoral del Golfo de México. Debido a sus características geológicas y geomorfológicas, esta región es un área constituida en su mayor parte por tierras bajas inundables, dominada por vegetación de manglares. No obstante, se observan en la zona supralitoral áreas amenazadas, como las de pastizales y de uso agrícola.

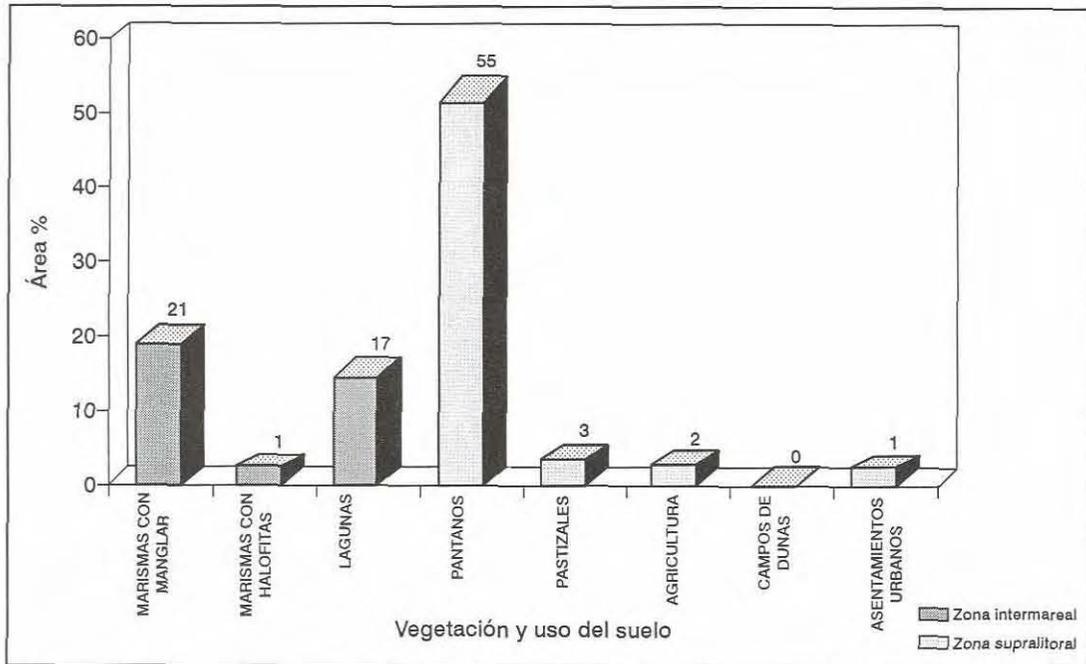


Figura 6. Litoral del Mar Caribe. El área de pantanos sobresale por su amplia extensión, debido principalmente a la zona de subsidencia continental que se presenta desde el sur de Tulum hasta la frontera con Belice.

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

Áreas totales (km ²) en la zona infralitoral (intermareal)						
	Marisma con Manglar		Marisma con halófitas		Lagunas	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
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 (Quintana Roo):	1050	8.5	72	0.6	886	7.2
TOTAL	4685	38.1	2459	20.0	5152	41.9

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

Áreas totales (km ²) en la zona supralitoral (amortiguamiento o riesgo potencial)										
Franja litoral	Pantanos		Pastizales		Agricultura		Campos de dunas		Asentamientos urbanos	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Litoral Nor-Occidental (Tamaulipas)	57	0.3	361	2.2	41	0.2	84	0.5	6	0.0
Litoral Centro-Occidental (Veracruz)	739	4.5	1134	6.9	1486	9.0	255	1.5	77	0.5
Litoral Centro-Sur (Veracruz, Tabasco y Campeche)	2101	12.7	2577	15.6	1543	9.3	31	0.2	14	0.1
Litoral Oriental (Campeche y Yucatán)	482	2.9	1217	7.4	987	6.0	216	1.3	37	0.2
Litoral Caribe (Quintana Roo)	2 836	17.1	132	0.8	83	0.5	22	0.1	36	0.2
TOTAL	6 215	37.5	5421	32.8	4140	25.0	608.1	3.7	170.47	1.0

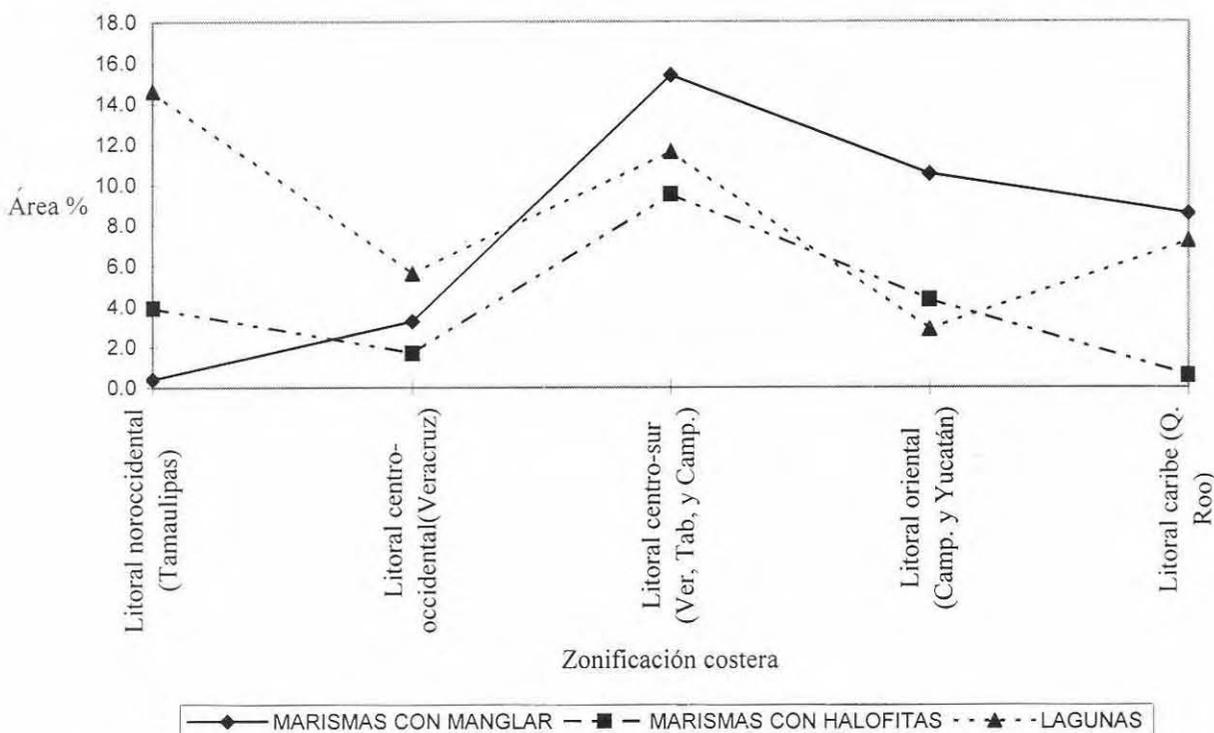


Figura 7. Distribución de los componentes naturales de la franja intermareal en la línea costera del Golfo de México y Mar Caribe.

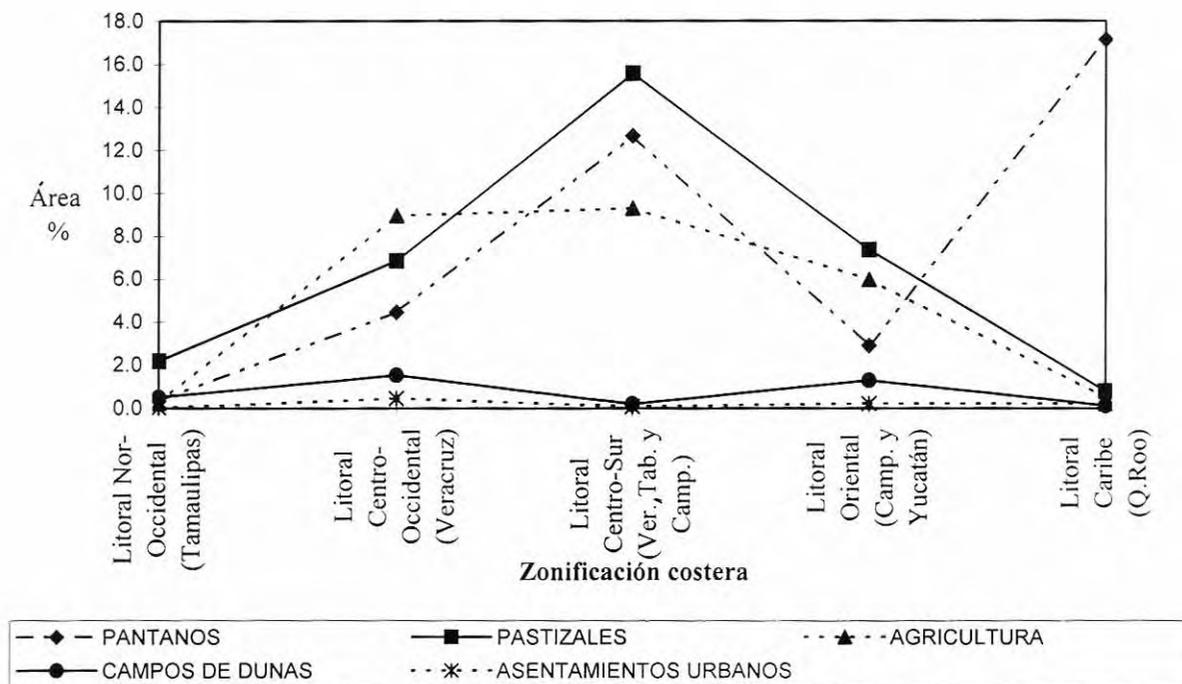


Figura 8. Distribución de los componentes naturales de la franja supralitoral o escenario de riesgo potencial en la línea costera del Golfo de México y Mar Caribe.

Se registra una disminución relativa de manglares en el litoral oriental (10.5%) y en el Mar Caribe (8.5%), respecto al litoral centro-sur, debido al cambio gradual que presentan las condiciones climáticas, tendientes a una menor humedad.

Las marismas con halófitas, constituidas por los géneros de *Spartina*, *Salicornia*, *Suaeda*, etc. (Rzedowski, 1978) se extienden en un área de 2 460 km², superficie equivalente a 20% con respecto al total, que incluye las áreas de manglar y de lagunas, correspondientes a la zona intermareal. De ese 20%, la mitad se localiza en el litoral centro-sur y decrece hacia los extremos, tanto hacia el litoral norte como al litoral del sur de la costa, decremento que 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, éste se extiende por 5 152 km², lo que equivale a un

42% de la superficie total; cabe hacer notar que, si bien el 15% se concentra en el litoral noroccidental (laguna Madre), se considera que representa un sistema con factores físicos limitantes, si se compara con el complejo deltaico tabasqueño y el sistema fluvial Usamacinta, correspondientes al litoral centro-sur.

La zona supralitoral (Cuadro 2 y Figura 8) se distingue por un predominio de vegetación correspondiente a pantanos (37.5%) y pastizales (32.8%), es decir, ambos ocupan 70% del área total; 25% corresponde a campos agrícolas y un 5% restante se distribuye entre campos de dunas y asentamientos urbanos. Del total de pantanos, se ubican en el litoral del Mar Caribe, 17% y en el litoral centro sur, 12%. Los pastizales se concentran en un 15% también hacia el litoral centro-sur. Frecuentemente, 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 1.5 m de profundidad, en la planicie costera de Tabasco

y al sur de Veracruz y Campeche. En una gran extensión de Tabasco y en algunas áreas adyacentes, el tular y el popal constituyen la vegetación más difundida y característica, ya que se trata de llanuras aluviales, prácticamente sin declive, atravesadas 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.

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, el de mayor afectación se localiza hacia el litoral centro-occidental, le siguen en orden de importancia el litoral oriental y el Mar Caribe.

CONCLUSIÓN

En síntesis, entre los aportes y resultados obtenidos de este trabajo, se tienen los siguientes.

En primer lugar, un esquema de regionalización costera del Golfo de México y Mar Caribe fundamentado en las características geomorfológicas, climáticas y en algunos aspectos hidrológicos.

También se obtiene por vez primera se obtiene un inventario de los componentes naturales y de uso del suelo de forma sistemática de toda la línea de costa atlántica 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 de las zonas intermareal y supralitoral de la costa, la determinación de la magnitud aproximada de las áreas que se consideran como vulnerables o de amortiguamiento a los efectos del ascenso del nivel del mar, y la concentración de esta información en un banco de datos, mediante la utilización de un sistema de información geográfica.

A través de estos elementos de análisis, que en conjunto representan la estructura básica de datos, se determinó que la zona centro-sur es el área de mayor peligro a las variaciones del nivel del mar, en ella se encuentran grandes extensiones de marismas con manglares y halófitas. Igualmente, se identificaron y delimitaron las áreas de riesgo potencial en pastizales, pantanos y zonas agrícolas.

Desde el punto de vista metodológico, se requiere centrar el enfoque de esta línea de investigación en mejorar la interpretación de las estimaciones y medidas, si bien, se considera que por la orientación del trabajo, la escala utilizada fue la adecuada.

Por último, se requiere actualizar la base de datos con fechas de los años noventa, con objeto de contar con una referencia para comparar los cambios y las modificaciones del uso de suelo, y conocer la magnitud de los impactos.

REFERENCIAS

- 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 preliminar para la rehabilitación de la laguna de Tamaulipas*, Compañía en Ingeniería fluvio-marina, S.A., México.
- Contreras, E. F. (1993), *Ecosistemas costeros mexicanos*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.
- Davies, J. L. (1980), *Geographical variation in coastal development*, 2nd edition, K.M. Clayton (ed.), Longman.
- De la Lanza, G. (comp.; 1991), *Oceanografía de los mares mexicanos*, AGT Editor, S. A., México.
- EPOMEX (1994), *Informe Bianual 1992-1994*. JAINA Boletín Informativo Programa de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, vol. 3.
- Fernández, A., A. Gallegos y J. Zavala (1992), "Carta de oceanografía física" 1 y 2, clave IV.9.1 y IV. 9.2. Escala 4 000 000, *Atlas Nacional de México*, vol. 2, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- INEGI (1991), *Datos básicos de la geografía de México*, México.
- Jáuregui, E. (1967), "Las ondas del este y los ciclones tropicales en México", *Revista de Ingeniería Hidráulica*, vol. 21, núm. 3, México.
- Lankford, R. (1977), "Coastal lagoons: their origin and classification", Wiley, M. (ed.), *Estuarine Processes*, Academic Press, New York, pp. 182-215.
- 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, núm., pp. 1-2.
- Lugo, J. (1985), "Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano", *Boletín*, núm. 15, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 9-34.
- Merino Ibarra, M. (1986), "Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva", *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, vol. 13, núm. 2, UNAM, México, pp. 31-45.
- Maul, G. A. (1993), *Climatic change in the intra-american sea*, United Nations Environmental Program, Great Britain.
- Phleger, F.B. (1969), "Some general features of coastal lagoons", en *Memorias Simposio Internacional Lagunas Costeras*, UNAM-UNESCO, México, pp. 5-26.
- PNUMA (1989), *El estado del medio ambiente en el mundo*, PNUMA, Nairobi, Kenya.
- Rona, P. A. (1974), "Subsidence of Atlantic continental margins", *Tectonophysics* 22: 283-299.
- Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, LIMUSA, México.
- Titus, G.I. (1988), "Sea level rise and wetland loss: an overview", in *Greenhouse effect sea level rise and coastal wetlands*, V.S. Environmental Protection Agency, pp. 1-35.
- Toledo, O. A. (1996), "Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México", en A.V. Botello, A., J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benítez y D. Zarate-Lomeli (eds.), *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, Universidad Autónoma de Campeche, EPOMEX Serie Científica 5, pp. 1-24.
- West, R., N. Psuty y B. Thom (1969), "The Tabasco lowlands of southeastern Mexico", *Coastal Studies Series Number 27*, Louisiana State University Press.
- Yáñez, C. A. y C. Schlaepfer (1968), "Sedimentología de la Laguna Madre, Tamaulipas. Parte I Composición y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna Madre", *Boletín*, núm. 84, Instituto de Geología, UNAM, México.