



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES BIÓGENOS EN
SEDIMENTOS DE PLAYAS DEL GOLFO DE MÉXICO

TESIS

que para obtener el grado académico de

Maestro en Ciencias
(Geología Marina)

Presenta

Maria Yazmín Morlán Cahue

Director de Tesis
Dr. Arturo Carranza Edwards

Comité Tutorial
Dr. Carlos Green Ruíz
Dra. María Luisa Machain Castillo
Dra. Rosa Ma. Prol Ledesma
Dra. Ma. T. Leticia Rosales Hoz

México, D. F., 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICADO A:

Mi querida familia por su infinito amor y paciencia

AGRADECIMIENTOS

Con mucha admiración y respeto al Dr. Arturo Carranza Edwards por sus enseñanzas brindadas todo este tiempo, por su dedicación y paciencia como tutor, su apoyo incondicional y sus palabras de aliento y confianza en esta área que por mi formación como bióloga me ha resultado compleja de entender, pero a la vez tan inquietante y fascinante; la Geología.

Al M. en C. Eduardo Morales de La Garza por su guía en el trabajo de laboratorio y cuyas enseñanzas y atinados consejos me ayudaron a vislumbrar y a superar cuestionamientos que fueron fundamentales en el desarrollo de esta tesis.

A los miembros del comité tutorial por que cada recomendación y comentario contribuyeron en forma positiva para el desarrollo y culminación de este trabajo.

A la Dra. Ma. T. Leticia Rosales Hoz por el apoyo brindado para el análisis químico y el análisis de los resultados de esta tesis, por sus palabras de ánimo y confianza para continuar y culminar este trabajo.

A la Dra. Ma. Luisa Machain Castillo por su buena disposición y su invaluable ayuda en la identificación de restos de organismos.

Al Dr. Carlos Green Ruíz y a la Dra. Rosa Ma. Prol Ledesma por su participación en cada uno de los exámenes y revisiones tutorales, cuyas observaciones dieron pie a reflexiones y cuestionamientos esenciales para analizar y enriquecer este trabajo.

A la Dra. Gloria Vilaclara Fatjó y al Dr. Martin Merino Ibarra por su atención, confianza y consejos brindados durante el desarrollo de mi posgrado.

A la Q. Susana Santiago Pérez y a la Q. Juana Cerón Alvarado por su ayuda y orientación en el análisis de carbonatos, así como a la Q. Adriana Vega García por su apoyo en el análisis de las muestras y su amena compañía en el trabajo de laboratorio.

Al Instituto de Ciencias del Mar y a todos los profesores del posgrado por su contribución en mi formación y sus invaluable enseñanzas, a todos los que laboran en las oficinas del posgrado como Diana, Lupita, Chantall y Gabriela por la labor que realizan y que para nosotros los estudiantes resulta fundamental.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a Fundación UNAM por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

Al Colegio de Ciencias y Humanidades y a la Biol. Angélica Galnares Campos por permitirme desarrollarme como profesionista en el ámbito académico y por el apoyo otorgado para el fortalecimiento de mi formación profesional.

Al Profesor Roberto Rico (†) de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por que parte de mi presente se la debo a su buena labor como profesor y a la inquietud por la geología que, sin saberlo sembró en mi hace algunos años.

CONTENIDO

	Pág.
Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	8
Objetivos	13
Área de estudio	14
Metodología	18
Discusión de resultados	21
Abundancia de biógenos y su relación con tamaño y clasificación de partículas	21
Principales grupos de restos de organismos	36
Abundancia de carbonatos e influencia del área fuente en la composición biogénica de los sedimentos litorales.	60
Conclusiones	76
Literatura citada	81
Anexo	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras		Pág.
1	Esquema del perfil de playa	6
2	Área de estudio	14
3	Provincias geológicas y cuencas hidrológicas	17
4	Regiones consideradas en el presente estudio y sus playas	21
5	Tamaño de grano y clasificación en las arenas de playas en el Golfo de México.	25
6	Porcentajes de biógenos, terrígenos y autógenos en las arenas de playas en el Golfo de México.	26
7	Relación entre el porcentaje de fragmentos biógenos y tamaño de grano para las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de México.	34
8	Relación entre porcentaje de fragmentos de biógenos totales y la clasificación de los sedimentos para las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de México.	35
9	Porcentajes de fragmentos de pellets en las arenas de playas en el Golfo de México.	37
10	Porcentajes de fragmentos de moluscos en las arenas de playas en el Golfo de México.	41
11	Porcentajes de fragmentos de pelecípodos, gasterópodos y escafópodos en las arenas de playas en el Golfo de México.	42
12	Porcentajes de fragmentos de moluscos no identificados en las arenas de playas en el Golfo de México.	43
13	Porcentajes de fragmentos de foraminíferos en las arenas de playas en el Golfo de México.	47
14	Porcentajes de fragmentos de algas en las arenas de playas en el Golfo de México.	49
15	Porcentajes de fragmentos de briozoarios en las arenas de playas en el Golfo de México.	51
16	Porcentajes de fragmentos de corales en las arenas de playas en el Golfo de México.	53
17	Porcentajes de fragmentos de equinodermos en las arenas de playas en el Golfo de México.	56
18	Porcentajes de fragmentos de ostrácodos en las arenas de playas en el Golfo de México.	58
19	Porcentajes de fragmentos de esponjas en las arenas de playas en el Golfo de México.	59
20	Relación entre el porcentaje de fragmentos biógenos totales y de carbonatos totales en las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de México.	61
21	Porcentajes de carbonatos en las arenas de playas en el Golfo de México.	62

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tablas		
1	Relación del peso de la muestra y volumen de HCL según resultados de la pérdida por calcinación.	20
2	Playas correspondientes a las siete regiones mencionadas en este trabajo para las arenas de playas del Golfo de México.	21
3	Parámetros texturales, carbonatos, fragmentos biógenos, autógenos y terrígenos para cada una de las siete regiones en las arenas de playas del Golfo de México.	24
4	Correlación de Pearson ($99\% > p < 0.01$) para parámetros texturales (tamaño de grano, clasificación), contenido de carbonatos y grupos de organismos presentes en las arenas de playa del Golfo de México.	40
Anexo I	Nomenclatura de las playas estudiadas	87

RESUMEN

Las playas son ecosistemas costeros muy dinámicos cuyo potencial se extiende desde el desarrollo turístico hasta la extracción de sedimentos para la construcción. En el ambiente de playa hay interacciones entre atmósfera, tierra y océano. Partiendo de la premisa de que la composición de los sedimentos litorales está influida por la litología del área fuente, este trabajo se enfoca al estudio de los componentes biogénicos de arenas de 69 playas del Golfo de México y las posibles causas que intervienen en su distribución. Contando con los parámetros texturales, se obtuvieron los porcentajes de sedimentos biógenos y terrígenos, considerando los principales restos de organismos de la fracción carbonatada. Lo anterior se realizó mediante el análisis del sedimento en microscopio estereoscópico y en lámina delgada en microscopio petrográfico. Se obtuvo también el porcentaje de carbonatos y se analizó la posible influencia de la litología de las cuencas y el contenido de carbonatos en la composición biogénica de los sedimentos. Las playas del Golfo de México se dividieron en siete regiones principales, considerando la textura del sedimento, la abundancia de biógenos, la concentración de carbonatos y la influencia del área fuente. Las playas con las mayores concentraciones de restos biogénicos y de material carbonatado se encuentran en la Laguna de Términos en Campeche y el Litoral Poniente y Norte de la Península de Yucatán que comprenden las regiones VI y VII respectivamente. En contraste, las zonas influenciadas por los deltas del Río Bravo (región I) y el delta del sistema Grijalva-Usumacinta (región V) son las que cuentan con los menores porcentajes de biógenos. El tamaño y la clasificación de las arenas se relacionan con la abundancia de restos biogénicos. Las playas abundantes en sedimentos carbonatados presentan pobres clasificaciones y las regiones influenciadas por sistemas fluviales son escasas en restos biógenos, donde las arenas son principalmente finas y mejor clasificadas. La litología del área fuente influye en la abundancia de sedimentos biogénicos de playas del Golfo de México. En el caso del Macizo volcánico de los Tuxtlas, donde hay lluvias abundantes, el tamaño de grano es grueso y los restos de organismos se presentan en bajas concentraciones. Por otro lado, la presencia de lagunas costeras y las escasas lluvias en zonas semiáridas o subhúmedas, favorecen el asentamiento de fauna béntica cuyos restos calcáreos resultan más abundantes. Las playas con más restos de organismos de naturaleza carbonatada se encuentran influenciadas por sedimentos calcáreos de la Plataforma Yucateca. Los afloramientos calcáreos cercanos a la costa aportan el material carbonatado para el desarrollo de los esqueletos de los organismos marinos, como sucede al centro y sur de Tamaulipas y al norte de Veracruz, donde las calizas de la Sierra Madre Oriental están próximas al litoral.

INTRODUCCION

Las playas, al igual que las dunas, son ecosistemas con alta acumulación de sedimentos transportados por corrientes marinas y vientos, respectivamente. Ambos son ambientes muy dinámicos que amortiguan las interacciones entre el mar, la tierra y la atmósfera (Moreno-Casasola 2004). En la actualidad las playas constituyen zonas potenciales para la recreación y el esparcimiento; dentro de las cuales los desarrollos turísticos ejercen cada vez mayor presión; las playas además se utilizan como bancos de sedimentos para la extracción de materiales de construcción, pero no siempre se toman en cuenta las características y las repercusiones hacia el ecosistema.

El impacto de las actividades humanas hacia las playas ha contribuido a la reducción en el aporte de sedimentos, como sucede debido a la construcción de presas, extracción de sedimentos, las obras para la protección y urbanización costera, lo cual favorece la erosión y afecta la biodiversidad (Moreno-Casasola 2004).

El término *playa* se refiere a depósitos de sedimentos no consolidados, que se encuentran en los alrededores de los límites de la acción del oleaje (King 1972). De acuerdo con este autor, la playa se extiende desde el límite superior de la acción de la ola hasta la marca de marea baja. Las playas representan ambientes naturales muy dinámicos y se encuentran sujetas a cambios estacionales o de mayor duración. Estos cambios pueden ser tan cortos como un ciclo de marea o bien presentarse cambios abruptos debidos a variaciones extremas en la energía del oleaje (Davis 1985, Woodroffe 2003).

Los sedimentos de la zona litoral pueden estar compuestos de cualquier material que se encuentre disponible en cantidades significantes y que sean de un tamaño de grano apropiado (Komar 1976). La mayoría de las playas de la región templada están compuestas principalmente por granos de cuarzo y feldespatos debido a su estabilidad física y química.

Estos minerales se derivan del intemperismo de las rocas de granito, gneisses y esquistos que son abundantes en los continentes. Los cuarzos pueden pasar a través de varios ciclos de erosión, transporte y depósito. Por su parte los feldespatos pueden mostrar una amplia variedad de tipos y colores debido a sus múltiples fuentes. En áreas donde los cuarzos y feldespatos son dominantes hay generalmente un porcentaje pequeño de minerales pesados o accesorios (horblenda, granate, magnetita, etc.), lo que algunas veces permite deducir el origen de la roca fuente (Komar 1976, Davis 1985).

Las playas, con una limitada área de aporte, pueden tener sedimentos procedentes de áreas distantes y pueden estar compuestas completamente de fragmentos volcánicos o derivarse de materiales locales incluyéndose detritos de carbonato biogénico que reflejan la composición de la biota que está adyacente a la playa, como sucede en áreas de desarrollos arrecifales (Komar 1976, Davis 1985).

La composición de los sedimentos litorales está influida por la litología del área fuente (Komar 1976). Dentro de sus componentes se encuentran los sedimentos terrígenos que se derivan de la erosión de la masa continental, situada al exterior de una cuenca de depósito y que son transportados hacia la cuenca en forma de sólidos (Folk 1974). Otro tipo de constituyentes son los aloquímicos dentro de los cuales se encuentran los componentes biogénicos, que son precipitados de soluciones en el interior de la cuenca de depósito; son considerados como precipitados químicos anormales y al ser desplazados como sólidos al interior de la cuenca, tienen un mejor grado de organización que los precipitados comunes, ejemplo de ellos son las conchas enteras o sus fragmentos, los oolitos, peloides fecales calcáreos o los fragmentos de sedimentos carbonatados (Folk 1974, Montijo *et al.* 2004). Estos sedimentos de carbonato están compuestos principalmente de precipitados químicos y bioquímicos (Reijers y Hsü 1986). Dentro de estos, los componentes biogénicos en los

cuales se hará énfasis en este trabajo, son producto de la fragmentación de exo y endo esqueletos de macroorganismos (esponjas, corales, briozoarios, moluscos bivalvos, gasterópodos y cefalópodos, equinodermos y anélidos) o microorganismos (foraminíferos, ostrácodos, algas calcáreas, etc.) (Carranza-Edwards *et al.* 1996, Montijo *et al.*, 2004). Las conchas y los fragmentos de concha son importantes en muchas playas especialmente en los trópicos, donde la productividad biológica es alta y el intemperismo químico del área fuente tiende a ser intenso. Este material puede ser abundante cuando el suministro de arena terrígena es muy bajo o cuando el tamaño de grano no es adecuado para permanecer en una playa en particular. Cuando otros suministros son despreciables, las conchas pueden ser la única fuente para el material de las playas (Komar 1976).

La gran diferencia entre las concentraciones de carbonatos puede ser explicada en términos regionales desde un punto de vista tectónico. Los márgenes tectónicamente activos generan áreas con alto relieve, altas tasas de sedimentación y alta energía por corrientes y por fuerte olaje, que generalmente no son favorables para la presencia o la preservación de los organismos bentónicos. La precipitación y la evaporación podría afectar las concentraciones de carbonatos, ya que en áreas secas y en calma se encuentran altas concentraciones (Davies 1980, Carranza-Edwards *et al.* 1993, Carranza-Edwards *et al.* 1996); por otro lado, la cantidad de descargas fluviales al área costera diluye generalmente las concentraciones de carbonatos. Por lo tanto, las altas concentraciones de estos son encontradas en zonas que no están afectadas directamente por descargas fluviales y en los márgenes tectónicamente inactivos, caracterizados por tierras bajas y llanuras costeras amplias (Carranza-Edwards *et al.*, 1996).

Para comprender como se distribuyen los materiales, como se modifican y se transportan es necesario considerar varios procesos que actúan a lo largo de la playa y de la

zona de oleaje. Las modificaciones de la playa y la topografía de la costa son las responsables de los procesos que operan en esta zona, siendo las mareas, el oleaje y las corrientes los principales factores que modifican al ambiente de playa, no obstante, también el viento juega un papel importante (Davis 1985). La interacción de esos procesos con el material de la playa produce los cambios que hacen que este ambiente sea tan dinámico.

El primer requisito para el desarrollo de una playa es que exista suficiente energía de oleaje y sedimento disponible. Las playas son depósitos sedimentarios que permanecen en la costa a pesar de la acción de las olas; aun cuando los sedimentos no consolidados puedan parecer frágiles, su persistencia ante dichos factores, indican que existe algún balance dinámico con los procesos que la forman (Woodroffe 2003).

La naturaleza dinámica de la playa y de la costa es el resultado directo o indirecto de la acción del oleaje y de las corrientes generadas por el mismo oleaje; por otro lado, la movilización y la distribución del sedimento, modifican la configuración del fondo. Las zonas de mesoplaya y de infraplaya (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994) están continuamente sujetas a las variaciones de las corrientes que deben su origen predominantemente al oleaje y al viento. La naturaleza del constante cambio de estos factores hace que la corriente varíe en velocidad y en dirección, tanto en el espacio como en el tiempo, presentándose una relación entre su intensidad y la cantidad de sedimento transportado (Komar 1976, Davis 1985, Woodroffe 2003).

Aunque las playas varían de un lugar a otro, se puede decir que todas tienen en común la existencia de un perfil, el cual puede presentar diferencias según sea la dominancia de los procesos (terrestres, acuosos o atmosféricos) que la afectan. De acuerdo con Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994) las playas se pueden dividir en tres zonas: 1) supraplaya, 2) mesoplaya y 3) infraplaya (Fig. 1).

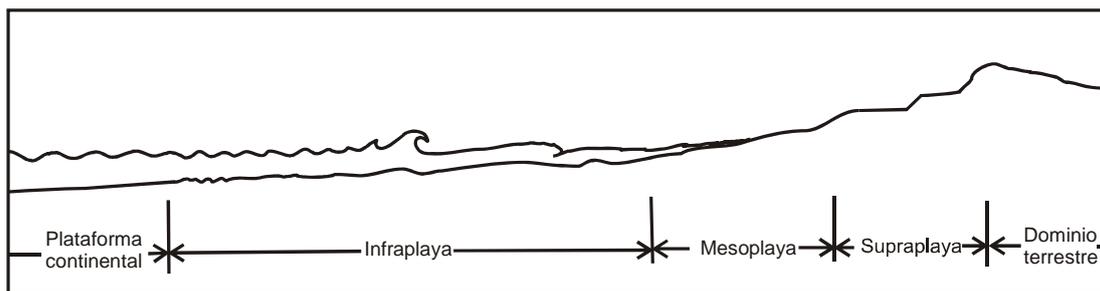


Figura 1. Esquema del perfil de playa (Modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chavez, 1994).

El perfil de playa está constituido por la infraplaya que limita con la plataforma continental hacia el mar. El oleaje característico de esta zona son olas simétricas que no sienten el fondo, por lo cual, las acumulaciones de material suelto no entran en movimiento.

A continuación se describen las tres zonas propuestas por Carranza-Edwards y Caso-Chávez (1994).

La *infraplaya* es la zona de la playa que en condiciones normales se encuentra cubierta por agua, se caracteriza por oleaje simétrico que comienza a sentir fondo provocando un movimiento vertical del material suelto, sin presentarse transporte hacia la costa. Se pueden presentar rizaduras, barras y canales asociadas con la ruptura de la ola en la zona de rompiente. La presencia y el ancho de la zona de barrido están controlados por el ángulo de la pendiente de la playa (Davis 1985, Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994).

La *mesoplaya* se localizada entre zona de la infraplaya y la de supraplaya. En la mesoplaya se encuentra la zona de vaivén, una superficie inclinada que ve hacia el mar llamada el frente de playa, esta parte se encuentra episódicamente cubierta por el agua y expuesta al aire. El límite superior de la mesoplaya puede delimitarse algunas veces por la cresta de la berma o por el límite máximo de la marea alta, el límite inferior de la mesoplaya corresponde al límite de la marea baja (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994).

A la zona de la playa que en condiciones normales se encuentra seca se denomina *supraplaya* (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994), como el agua ocasionalmente invade esta zona en ella prevalecen los agentes eólicos sobre los acuosos. Existe la berma que es una acumulación de sedimento en la parte alta de la supraplaya debido al retroceso de las olas. Respecto al límite superior de la playa, éste puede ser modificado por la acción del viento, tormentas, ciclones, erosión, etc., lo que lo hace variable. El límite superior puede estar indicado por la vegetación o por algún cambio en la fisiografía. El dominio terrestre en algunas ocasiones provoca la presencia de dunas, formadas cuando hay suficiente aporte de arena y se presenta un fuerte viento dominante en dirección hacia tierra (Davis 1985, Carranza-Edwards 1986).

Dentro del ambiente playa se presentan aportes y pérdidas de sedimento. El aporte de sedimento puede llegar desde un río, de la erosión de los acantilados, de altamar o desde playas adyacentes a lo largo de la costa. A pesar de que los ríos pueden aportar grandes cantidades de sedimento a la costa, es posible que este se deposite en los estuarios antes de alcanzar la playa. La erosión de los riscos contribuye poco cuando la erosión es escasa, pero puede ser importante donde la erosión de los riscos es intensa. También pueden presentarse aportes como resultado de la producción *in situ* de organismos calcáreos, como por ejemplo conchas y como resultado de la erosión de las dunas (Davis 1985, Woodroffe 2003).

La pérdida de sedimento incluye el transporte eólico de la arena hacia las dunas, la pérdida hacia altamar y el transporte desde playas adyacentes a lo largo de la costa. Las acciones humanas también pueden alterar el aporte y la erosión de sedimento, como sucede con la represa de los ríos y la extracción de arenas desde las playas, que en ambos casos se da la interrupción del aporte de sedimentos (Woodroffe 2003).

ANTECEDENTES

Entre los estudios de playas en la República Mexicana se menciona el de Self (1977) en el Golfo de México, donde estudió variaciones granulométricas a lo largo de la costa de la Playa de Nautla, en el norte del Estado Veracruz. Méndez-Ubach *et al.* (1986) estudiaron los sedimentos del mismo estado, asociando la fauna béntica litoral con el tipo de sedimentos. Nolasco-Montero y Carranza-Edwards (1988), describieron que los carbonatos en las arenas de la Península de Yucatán están compuestos principalmente de calcarenitas finas y medias, moderadamente bien clasificadas, siendo los constituyentes biogénicos los restos más abundantes. Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995), estudiaron como la depositación sobre este margen, tectónicamente pasivo, afecta la composición textural y petrológica de las arenas de playa, en contraste con aquellas asociadas a rocas volcánicas en el área fuente. Carranza-Edwards *et al.* (1996) obtuvieron concentraciones más altas de carbonatos en arenas del Golfo de México que en las arenas de las costas del Pacífico Mexicano, atribuyéndolo a los procesos tectónicos que actúan de manera diferencial en ambas costas, considerando la baja energía, el clima seco y el bajo aporte de sedimentos fluviales como factores importantes. Carranza-Edwards (2001) realizó un estudio de playas de la República Mexicana, tomando en cuenta los parámetros texturales de las arenas y su relación con la amplitud de la llanura costera y encontró que existe una relación entre ambos, observando que las arenas finas y mejor clasificadas se asociaron con llanuras costeras amplias, así como una preferencia en el litoral mexicano por arenas finas y medias, la mayoría de las cuales están concentradas en un rango de clasificación de buena a moderada.

En el 2004, Carranza-Edwards *et al.*, en su estudio de la geología ambiental de la zona litoral describe los perfiles de playa del Golfo de México y los factores tanto naturales como antropogénicos que afectan su composición.

En el 2004, Moreno-Casasola publica una visión de la situación actual de las playas y dunas del Golfo de México, en ella señala los distintos tipos de comunidades vegetales que se presentan en los perfiles de playa y la sucesión ecológica de las mismas. Muestra además un panorama global de la situación actual y los problemas para la conservación y el manejo de dichos ecosistemas, además de resaltar los servicios ambientales que prestan las playas y las dunas a la comunidad.

En estudios relativos a playas de México se ha visto que la composición química y las propiedades físicas de los sedimentos litorales pueden ser útiles para inferir el origen de los mismos (Carranza-Edwards *et al.*, 1993). El tamaño de grano esta en función de: 1) el tamaño del material disponible y 2) la cantidad de energía proporcionada al sedimento; lo cual depende a su vez de la velocidad de la corriente o de la turbulencia del medio de transporte, no tanto así de la distancia. Lo anterior es resultado de la clasificación selectiva, por lo que los granos más pequeños avanzan, en el sentido de la corriente, más rápidamente que los más grandes y pesados. Los fragmentos generalmente se reducen de tamaño a medida que la energía del medio de transporte disminuye (Folk 1974, Komar 1976, Carranza-Edwards 1986).

El grado de clasificación depende por lo menos de tres factores principales: 1) la granulometría del material que llega al ambiente de depósito, 2) las características de las corrientes; las corrientes cuya energía es relativamente constante, sea baja o alta, producen una clasificación mejor que aquellas que presentan rápidas fluctuaciones de velocidad, 3) la velocidad de abastecimiento del material detrítico comparado con la eficacia del agente

clasificador; los sedimentos de playa donde las olas atacan los escarpes de la costa, o donde actúan sobre grandes cantidades de material detrítico llevado por ríos caudalosos, tendrá una clasificación más pobre que aquellos derivados de una costa plana y estable con poco aporte de material (Komar 1976, Carranza-Edwards 1986 y Carranza-Edwards 2001). En general las arenas de llanuras costeras mexicanas amplias tienen en promedio tamaños de grano fino y están mejor clasificadas, dado que los detritos tienen largos periodos de abrasión, además las llanuras costeras angostas tienen una tendencia a exhibir arenas más gruesas y peor clasificadas (Carranza-Edwards 2001).

De acuerdo con Carranza-Edwards (2001), en diversas playas de México se presenta un decremento de energía desde el mar a la tierra, esto es, en la dirección infra-meso-supraplaya, sugiriendo que la energía de la playa decrece en la misma dirección. La infraplaya tiene arenas que no están tan bien clasificadas, probablemente por la mayor turbulencia generada por el rompimiento de las olas y las corrientes litorales. La clasificación es muy similar en la supra y mesoplaya, por que usualmente existe mayor homogeneidad en los procesos que actúan sobre la mesoplaya (lavado laminar) y la supraplaya (principalmente la suave acción del viento).

El estudio de las arenas de playas modernas es usado para estudios de procedencia sobre los ambientes costeros y para establecer las concentraciones de minerales de interés económico, debido a enriquecimientos naturales asociados mayormente con arenas finas y arenas muy finas de alta densidad (Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards 2002). Se ha relacionado también el carácter textural de las arenas de playas con la presencia de cierta fauna, por ejemplo con el desove y anidamiento de la tortuga de mar (Mortimer 1990). Aún cuando las playas son muy dinámicas, en escala regional reflejan condiciones de procedencia ligadas con factores también regionales, dentro de los cuales juegan un papel

muy importante las condiciones litológicas, drenaje y clima en las diversas cuencas hidrológicas que drenan hacia el mar.

Los sedimentos calcáreos fuera de la costa son algunas veces interesantes desde el punto de vista económico ya que, pueden ser usados en la manufactura de cemento y cal. Estos depósitos son formados por el rompimiento de las olas y su concentración en bancos de conchas se forma por procesos hidrodinámicos, lo cual resulta de interés para la ingeniería costera. La arena, la grava y las conchas, hasta el presente, se consideran útiles como materias primas para la construcción y para la fabricación de vidrio. Su uso depende de la composición mineralógica de gravas y arenas, esta controlado principalmente por las necesidades locales, tanto como por las distancias de transporte. Las arenas calcáreas y los restos de conchas, dado los procesos biológicos que las forman, pueden ser considerados como materiales renovables (Cronan 1980).

Komar (1976) menciona algunos estudios relacionados con carbonatos en playas, cuya composición carbonatada se asocia con la presencia o ausencia de ríos cercanos a la costa. Se ha observado un aumento en la concentración de carbonatos con la presencia de lagunas costeras en el área, se sabe que la solubilidad del carbonato se incrementa con un decremento en la temperatura. Existen estudios que evalúan la contribución biogénica de algunos arrecifes como los de las islas de Hawai, midiendo la tasa en que una cantidad conocida de arena terrígena aportada por un río fue diluida por material arrecifal. En estas islas se ha encontrado que la fracción carbonatada está formada principalmente por foraminíferos, seguidos por moluscos, algas rojas y fragmentos de equinodermos, siendo la fracción coralina poco abundante.

Constituyentes importantes en las playas de latitudes tropicales son: algas verdes (*Halimeda*), fragmentos de crustáceos y restos biológicos de carbonatos, en su mayoría

rotos por la acción del oleaje (Komar 1976). Se han reportado playas con porcentajes inusualmente altos de fragmentos de conchas (97%) en altas latitudes.

Las investigaciones relativas a sedimentos biógenos en nuestro país son escasas, sobre todo si se considera que la República Mexicana tiene 9,903 km de litoral (Tamayo 1974). En algunas regiones del país se han estudiado las variaciones granulométricas de las arenas, los parámetros texturales de las playas y la planicie costera, la presencia de minerales de placer en el ambiente de playa, así como la forma en que la tectónica de los márgenes afecta la composición textural y petrológica de las arenas, la concentración y descripción de sedimentos carbonatados y las asociaciones de la fauna béntica con sedimentos litorales.

Los sedimentos biogénicos son un componente importante en playas del Golfo de México y pudieran estar relacionados con complejos lagunares y estuarinos que aumentan en gran medida la productividad de las regiones litorales. Aún cuando los sedimentos litorales biogénicos sean componentes abundantes, se desconocen los principales restos de organismos que los componen y si existen o no diferencias a lo largo de la costa del Golfo de México. Por lo cual se propone realizar una caracterización regional de la naturaleza de los sedimentos (biógenos o terrígenos) de las playas del Golfo de México, lo cual se espera que contribuya a entender las posibles relaciones entre la naturaleza de los sedimentos y los factores geológicos que pueden intervenir en dichas relaciones.

OBJETIVOS

Objetivo General

Investigar a nivel regional, la existencia o ausencia de componentes biogénicos en sedimentos de playas del Golfo de México y las posibles causas que intervienen en su distribución.

Objetivos Particulares

1. Determinar los restos biogénicos en sedimentos litorales del Golfo de México y su relación con los parámetros texturales.
2. Analizar la concentración de carbonatos en los sedimentos de las playas en diferentes regiones del Golfo de México.
3. Analizar la posible influencia de la litología de las cuencas en la composición biogénica de los sedimentos litorales.

AREA DE ESTUDIO

Las playas estudiadas del Golfo de México, se sitúan entre las latitudes 18°N y 26°N y las longitudes 87° O y 98° O. Este gran cuerpo de agua es una cuenca con dos fronteras abiertas que lo conectan con el Mar Caribe a través del Canal de Yucatán y con el Océano Atlántico por el Estrecho de Florida (Salas y Monreal 1997) (Fig. 2).

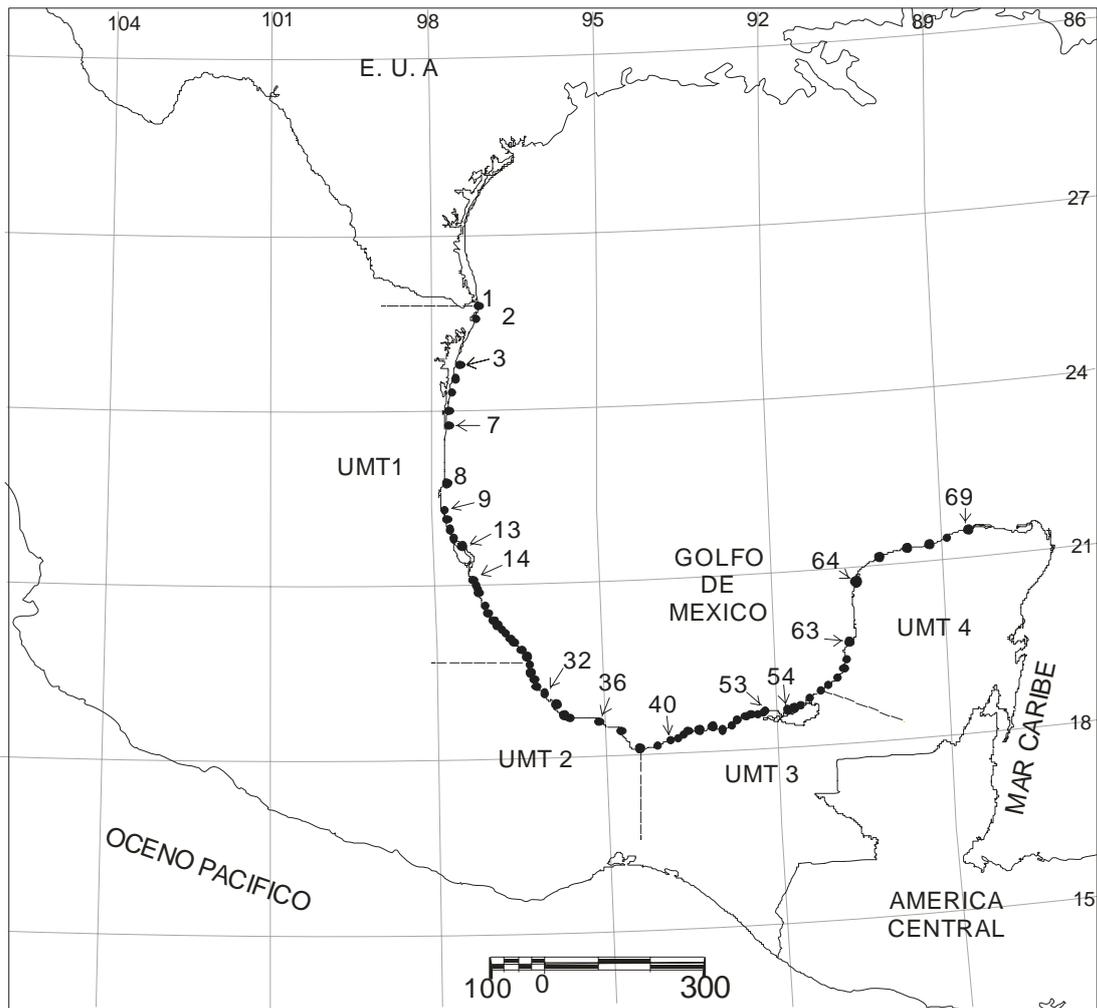


Figura 2. Área de Estudio, donde se muestra con puntos negros la localización aproximada de las playas muestreadas y las Unidades Morfotectónicas continentales de las costas Mexicanas (UMT) (Modificado de Carranza-Edwards *et al.* 1975).

El segmento litoral estudiado se ubica dentro de la Placa de Norte América. Carranza-Edwards *et al.* (1975) proponen una división de costas mexicanas, dividiendo en cuatro unidades al Golfo de México. Considerando la clasificación tectónica de Inman y Nordstrom (1971), estas cuatro unidades del Golfo de México corresponderían con costas de mares marginales protegidas del Océano Atlántico por el Arco del Caribe.

Según la clasificación de costas de Shepard (1973) el origen de las costas puede ser terrígeno (primario) o marino (secundario). Aplicando esta clasificación y considerando las regiones geomórficas propuestas por Tamayo (1974), las costas del Golfo se diferencian en cuatro unidades según Carranza-Edwards *et al.* (1975).

Las unidades morfotectónicas citadas por dichos autores se citan a continuación de Norte a Sur (Fig. 2):

1) esta región se extiende desde el Río Bravo hasta Punta Delgada en el Estado de Veracruz y cuenta con una longitud aproximada de 700 km. Se ubica desde la Planicie Costera Nororiental y esta limitada al S por la Cordillera Neo volcánica. Exhibe costas primarias de depositación subaerea e influencia deltaica y costas secundarias de depositación marina y costas de barrera e islas de barrera;

2) abarca desde Punta Delgada hasta las inmediaciones de Coatzacoalcos, con una longitud de unos de 300 km: en esta unidad existen costas primarias (volcánicas) y costas secundarias construidas por organismos (arrecifes coralinos bordeantes);

3) se localiza entre Coatzacoalcos y la porción E de la Laguna de Términos se encuentra esta unidad con longitud de cerca de 180 km; en la cual las costas primarias son por depositación subaérea, fluvial y de complejos fluvio-deltáicos.

4) comprende el litoral desde Isla Aguada hasta Chetumal; su longitud es de unos 1100 km y se ubica en la Plataforma Yucateca; sus costas primarias son por erosión

terrestre y desarrollos kársticos, mientras que sus costas secundarias, se caracterizan por playas, ganchos e islas de barrera, además, presentan costas construidas por organismos y costas de arrecifes bordeantes.

Considerando la influencia de la litología del área fuente se construyó la figura 3 que consiste de una compilación que permite visualizar el marco hidrográfico y geológico.

El clima predominante a lo largo de la costa del Golfo de México es de subhúmedo a húmedo con presencia de huracanes entre Junio y Noviembre (Tamayo 1974).

La posición geográfica que presenta el Golfo de México ocasiona que durante el invierno éste se vea influenciado por las masas de aire frío y seco procedentes del Norte que, al chocar con masas de aire marítimo y tropical del Golfo, dan origen a la formación de frentes fríos principalmente de octubre a abril. La presencia de estos frentes produce en el Golfo los vientos conocidos como “*Nortes*”, que corren de norte a sur y alcanzan hasta 30 m s^{-1} , la temperatura del aire desciende y al encontrar masas de aire caliente y húmedo forman nubes que pueden provocar lluvias invernales. La intensidad y extensión de estos nortes varía según la época del año. En el verano, el Golfo es influenciado por tormentas tropicales, de las cuales el 60% alcanza la magnitud de huracán. Estas características meteorológicas afectan la zona costera debido a la descarga de agua dulce e influyen en la circulación en general del Golfo de México (Tamayo 1974, Monreal-Gómez *et al.* 2004).

El movimiento de las masas de agua, sobre la plataforma occidental del Golfo de México puede ser dividido en tres regiones: la Plataforma de Luisiana-Texas, la Plataforma de Tamaulipas-Veracruz y el oeste del Banco de Campeche (Zavala-Hidalgo 2003).



Figura 3. Provincias geológicas y cuencas hidrológicas. Limite de cuencas con puntos y Ríos con línea interrumpida (Modificado de Ortega *et al.* 1992 y Tamayo 1974)

En la Plataforma de Luisiana-Texas las corrientes corren hacia el S de Septiembre a Marzo y hacia el N de Mayo a Agosto, observando mensualmente velocidades promedio de 70 cm s^{-1} . Durante el otoño e invierno, se presentan bajas salinidades por el agua descargada por los ríos Mississippi y Atchafalaya que pasan a través de la Plataforma de Luisiana-Texas a la de Tamaulipas-Veracruz, desarrollando frentes a lo largo de la plataforma. En el oeste del Banco de Campeche, la circulación es en el sentido de las manecillas del reloj a lo largo del año y una corriente hacia el oeste (Merino 1997).

METODOLOGIA

Se utilizaron muestras de arenas de playas correspondientes a 69 localidades, a lo largo del litoral del Golfo de México, 10 correspondientes a Tamaulipas, 28 a Veracruz, 13 a Tabasco, 12 a Campeche y 6 a Yucatán (Fig. 2).

Se trata de muestras del primer centímetro superficial de las zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya colectadas dentro del Proyecto Sedimentología de Playas de México. El muestreo se basó en la accesibilidad a las diferentes playas con el objetivo de hacer una caracterización regional.

En el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología las muestras fueron lavadas para quitarles la sal y se secaron a temperatura ambiente. Para obtener una submuestra representativa se paso la misma a través de un cuarteador obteniendo cerca de 20 gramos. El tamizado de las muestras se llevo a cabo siguiendo el procedimiento sugerido por Folk (1974). El análisis granulométrico tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas clásticas tal como se depositaron. Dicho análisis de las arenas de playa se procesó utilizando tamices U. S. estándar, con apertura de malla en un intervalo desde -1ϕ a 4ϕ ($\phi = -\log_2(\Theta\text{mm})$).

Se pesaron 20 g de la muestra cuarteada con aproximación de 0.01g. Se colocaron los tamices por orden de malla. La serie se coloca en el Ro-tap, se vierte la muestra en el primer tamiz. Se colocan los tamices en el Ro-tap durante 15 minutos. Se pesa la muestra de cada tamiz con balanza analítica, para obtener el peso acumulativo de cada fracción en porcentaje.

Los datos de parámetros texturales considerados en este trabajo fueron proporcionados por Carranza-Edwards (comunicación personal) y se refieren al tamaño gráfico promedio y a la desviación estándar, siguiendo el procedimiento y las formulas de Folk (1974). Para calcular el promedio del tamaño de grano se utiliza la fórmula:

$$Mz\phi = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3.$$

Esta medida se aproxima mucho al promedio y está basada en tres puntos de la curva acumulativa.

Para la obtención de la clasificación granulométrica, una buena medida de la clasificación es la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_1 \phi$) (Folk, 1974) que se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\sigma_1 \phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

Para la determinación del porcentaje de restos biógenos y terrígenos, los sedimentos se observaron en láminas delgadas; para ello se empleó un microscopio petrográfico, complementándose la observación del sedimento en un microscopio estereoscópico.

Para la elaboración de las láminas delgadas una muestra homogénea de arena se incluyó en resina acrílica, se cortó y se desbastó al mínimo espesor con carburo de cromo (120, 320, 600) y se asentó sobre vidrio con carburo de cromo del número 1000. La muestra se adhirió a un portaobjetos esmerilado con cemento termoplástico, posteriormente se desbastó con carburo de cromo (320, 600), se asentó sobre vidrio con carburo de cromo a 1000 ϕ , hasta que adquirió el espesor adecuado para su observación al microscopio petrográfico.

En el microscopio petrográfico se contaron entre 100 y 300 granos dependiendo de la cantidad de granos presentes en la lámina.

Dentro de los sedimentos biógenos observados se consideraron los porcentajes de los restos de organismos a nivel de orden. Se obtuvo el contenido de carbonatos totales en las muestras de los sedimentos de playa por medio del método de Piper (Hesse 1971), que se basa en el principio de una titulación por retroceso, donde a la muestra de sedimento marino carbonatado se le agrega un cierto volumen en exceso de ácido clorhídrico 0.1 N, el ácido clorhídrico que no reacciona con los carbonatos se

titula con una solución de hidróxido de sodio 0.3 N, la cantidad de muestra y el volumen de HCL se agregan según los resultados de la pérdida por calcinación (Tabla 1).

Tabla 1. Relación del peso de la muestra y volumen de HCL según resultados de la pérdida por calcinación.

Perdida por calcinación	Peso de la muestra	Volumen de HCL 0.1 N adicionado
< 10%	2.00 g	400 ml
10% a 20%	1.00 g	200 ml
20% a 40%	0.50 g	100 ml
> 40%	0.25 g	50 ml

Para analizar si existía o no relación entre los diferentes grupos de restos organismos identificados en las arenas de playa, se utilizó la correlación de Pearson por medio de un programa estadístico (Statistical V).

DISCUSION DE RESULTADOS

Abundancia de biógenos y su relación con el tamaño y la clasificación de partículas

Para el análisis de los datos en este estudio se establecieron siete regiones para la costa del Golfo de México, en las cuales se consideran rasgos mayores de geomorfología, drenaje y litología (Tabla 2, Fig. 4).

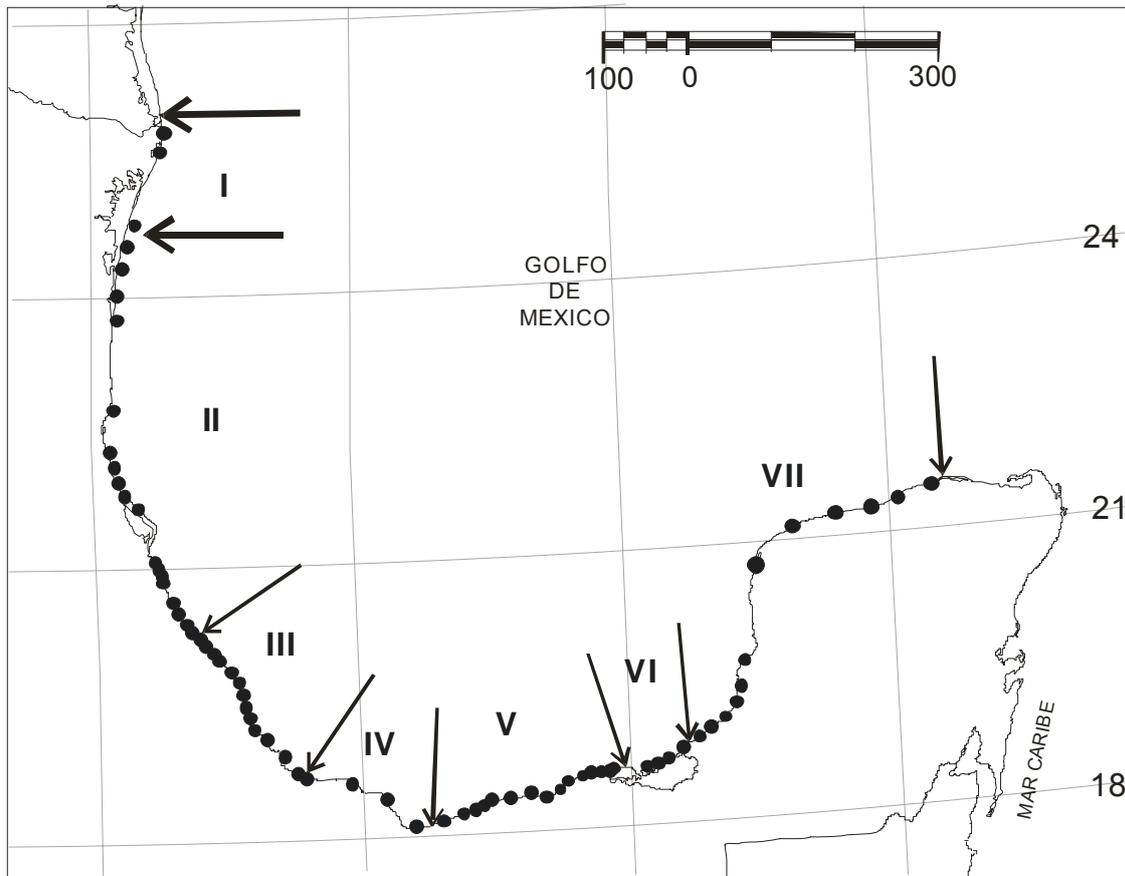


Figura 4. Regiones consideradas en el presente estudio y localidades de playas que incluyen: I (1-3), II (4-21), III (22-34), IV (35-38), V (39-53), VI (54-57) y VII (58-69).

Tabla 2. Playas correspondientes a las siete regiones mencionadas en este trabajo para las arenas de playas del Golfo de México.

REGION	PLAYAS
I	Bagdad, Tamps. – Carrizal, Tamps.
II	Barra de Vaca, Tamps. – Riachuelos, Ver.
III	Paraíso, Ver. – Antón Lizardo, Ver.
IV	Playa Azul, Ver. – Rabón Grande, Ver.
V	Tonala, Tab. – La Gloria, Camp.
VI	Cd. del Carmen, Camp. – Isla Aguada, Camp.
VII	Sabancuy, Camp. – La Punta, Yuc.

Entre las tres subzonas de playa estudiadas (infra, meso y supraplaya) no se lograron identificar diferencias con respecto a los parámetros texturales o porcentajes de restos biógenos o de carbonatos. Las gráficas que se presentan a lo largo de este trabajo, no muestran una tendencia para la presencia de sedimentos de origen biógeno en una determinada sub-zona de la playa. Lo mismo se presenta con respecto al tamaño gráfico promedio y la clasificación de los sedimentos.

Lo anterior se atribuye a que la pendiente de las distintas sub-zonas de la playa es diferente para cada punto de muestreo (Carranza-Edwards *et al.* 2004), dicha pendiente influye en el nivel energético de manera diferencial para cada playa. Frecuentemente los sedimentos biogénicos tienen un tamaño de partícula mayor que los sedimentos terrígenos, sin embargo su radio hidráulico puede ser similar, por lo cual no se observa una discriminación en cuanto al transporte de los sedimentos en el perfil de la playa.

La distribución y composición del sedimento en las tres subzonas es muy variable, además del nivel energético de la playa, depende de condiciones en el área fuente de los sedimentos y en la zona de depósito como son, la litología de la cuenca hidrológica y la cercanía de sistemas fluviales y lagunares.

Al analizar el comportamiento de los porcentajes de restos biógenos, carbonatos y parámetros texturales en las diferentes playas a lo largo de la costa del Golfo de México, se encontraron diferencias a nivel regional, mismas que se describen a continuación:

En la región I, los tamaños de arenas de playas son principalmente arenas finas (promedio de 2.56 ϕ) y de moderadamente bien clasificadas a bien clasificadas (promedio de 0.39 ϕ) (Tabla 3, Fig. 5).

La abundancia de restos biogénicos en las arenas de playas de esta región fue en promedio de 3.97 % (± 0.17), con una abundancia de 96.03% (± 1.01) de sedimentos terrígenos (Tabla 3, Fig. 6).

Esta región comprende desde la Playa de Bagdad hasta la Playa del Carrizal en Tamaulipas (Tabla 2). Las arenas finas que se presentan en esta región eran de esperarse tomando en cuenta el gran transporte que sufren los sedimentos a lo largo de la cuenca de drenaje del Río Bravo que esta conformada por una amplia planicie costera (Tamayo 1974).

Carranza-Edwards *et al.* (2004) resaltan que en Tamaulipas existen los perfiles de playa más extensos, los cuales están asociados con el Delta del Río Bravo, ellos encuentran que la playa más extensa es la Playa Bagdad en Matamoros, la cual tiene un ancho cercano a los 250 m., lo cual justifica la presencia de arenas de menor tamaño con una buena clasificación, tanto por la presencia de los sedimentos procedentes del Río Bravo los cuales han sufrido un gran transporte, como por la extensión del perfil de playa. La pendiente del frente de Playa Bagdad es suave (Carranza-Edwards *et al.* 2004) y se asocia con arenas de tamaño fino.

El Río Bravo en sus condiciones originales era el río más importante por su descarga hacia el Golfo de México. El tamaño de partícula dominante en esta región (arena fina) se debe al gran transporte que sufre el sedimento a lo largo de los más de 300 Km. que presenta este río, por ello la región I se delimitó tomando en cuenta las tres playas muestreadas en las cuales fue obvia la influencia de este río.

Tabla 3. Parámetros texturales, carbonatos, fragmentos biogenos, autógenos y terrígenos para cada una de las siete regiones en las arenas de playas del Golfo de México (\pm Desviación estándar).

REGION	PARAMETROS TEXTURALES		CARBONATOS (%)	FRAGMENTOS BIOGENOS (%)												TOTAL BIOGENOS (%)	AUTIGENOS (%)	TERRIGENOS (%)	
	Mz ϕ	σ		PELLETS	MOLUSCOS				FORAMINIFEROS	ALGAS	BRIOZOARIOS	CORAL	EQUINODERMOS	OSTRACODOS	ESPONJAS				
					MOLUSCOS NO IDENTIFICADOS	PELECIPODOS	GASTEROPODOS	ESCAFOPODOS											
I	2.56	0.39	5.19	1.86	0.97	0.51	0.00	0.00	0.46	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.97	0.00	96.03
\pm	0.17	0.24	0.92	0.53	0.37	0.25	0.00	0.00	0.18	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	1.01
II	1.88	0.77	31.35	5.43	9.24	7.50	0.09	0.00	0.44	0.65	0.03	0.20	0.20	0.00	0.13	23.92	0.50	75.58	
\pm	0.98	0.45	22.29	4.43	11.48	9.89	0.11	0.00	0.25	0.68	0.09	0.47	0.30	0.00	0.28	19.70	0.94	20.39	
III	2.19	0.50	22.86	13.20	1.87	0.32	0.05	0.00	0.60	1.46	0.04	0.28	0.15	0.03	0.00	17.99	0.00	82.01	
\pm	0.67	0.27	9.05	7.46	0.52	0.20	0.07	0.00	0.44	1.19	0.08	0.62	0.25	0.05	0.00	6.67	0.00	6.67	
IV	1.15	0.56	5.82	0.49	0.27	0.34	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22	0.00	98.78	
\pm	1.40	0.16	4.06	0.99	0.25	0.57	0.00	0.00	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	1.47	
V	2.13	0.43	5.10	0.66	1.04	0.44	0.02	0.00	0.10	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	2.31	0.00	97.69	
\pm	0.44	0.10	2.69	0.68	1.24	0.54	0.05	0.00	0.16	0.02	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	2.26	0.00	2.26	
VI	1.16	1.19	64.09	2.87	43.95	36.35	0.26	0.00	0.55	0.10	0.16	0.29	0.51	0.00	0.00	85.03	1.20	13.77	
\pm	0.46	0.21	19.53	0.60	4.33	6.32	0.31	0.00	0.12	0.14	0.06	0.29	0.22	0.00	0.00	4.73	0.78	4.44	
VII	1.02	1.01	88.60	8.39	47.59	24.57	1.76	0.10	0.75	1.04	1.22	1.13	0.96	0.22	0.01	87.73	8.15	4.12	
\pm	0.62	0.23	9.32	7.11	12.13	15.22	1.53	0.20	0.79	1.62	2.95	1.46	0.71	0.36	0.05	7.91	4.78	3.57	

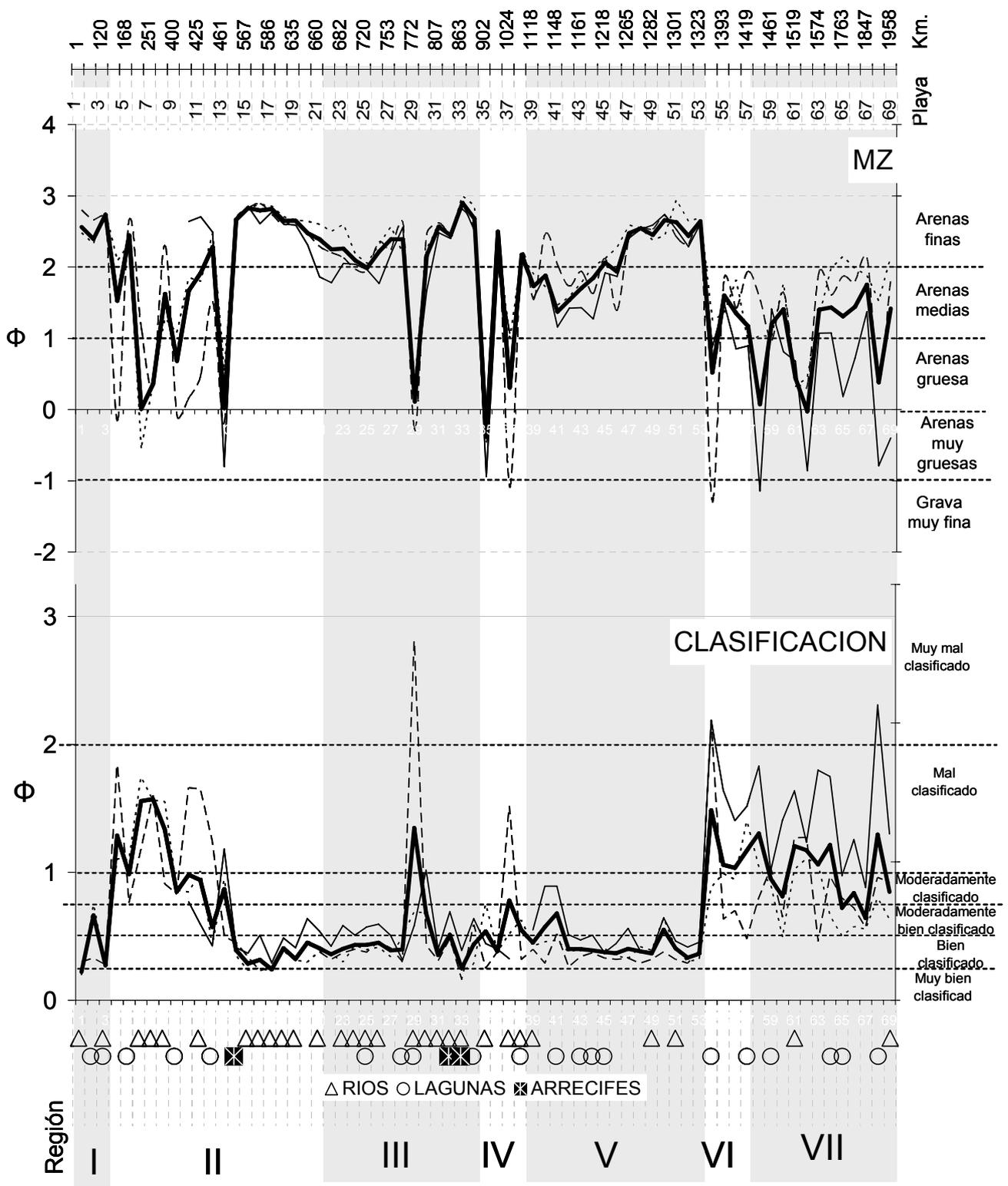


Figura 5. Tamaño de grano y clasificación en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

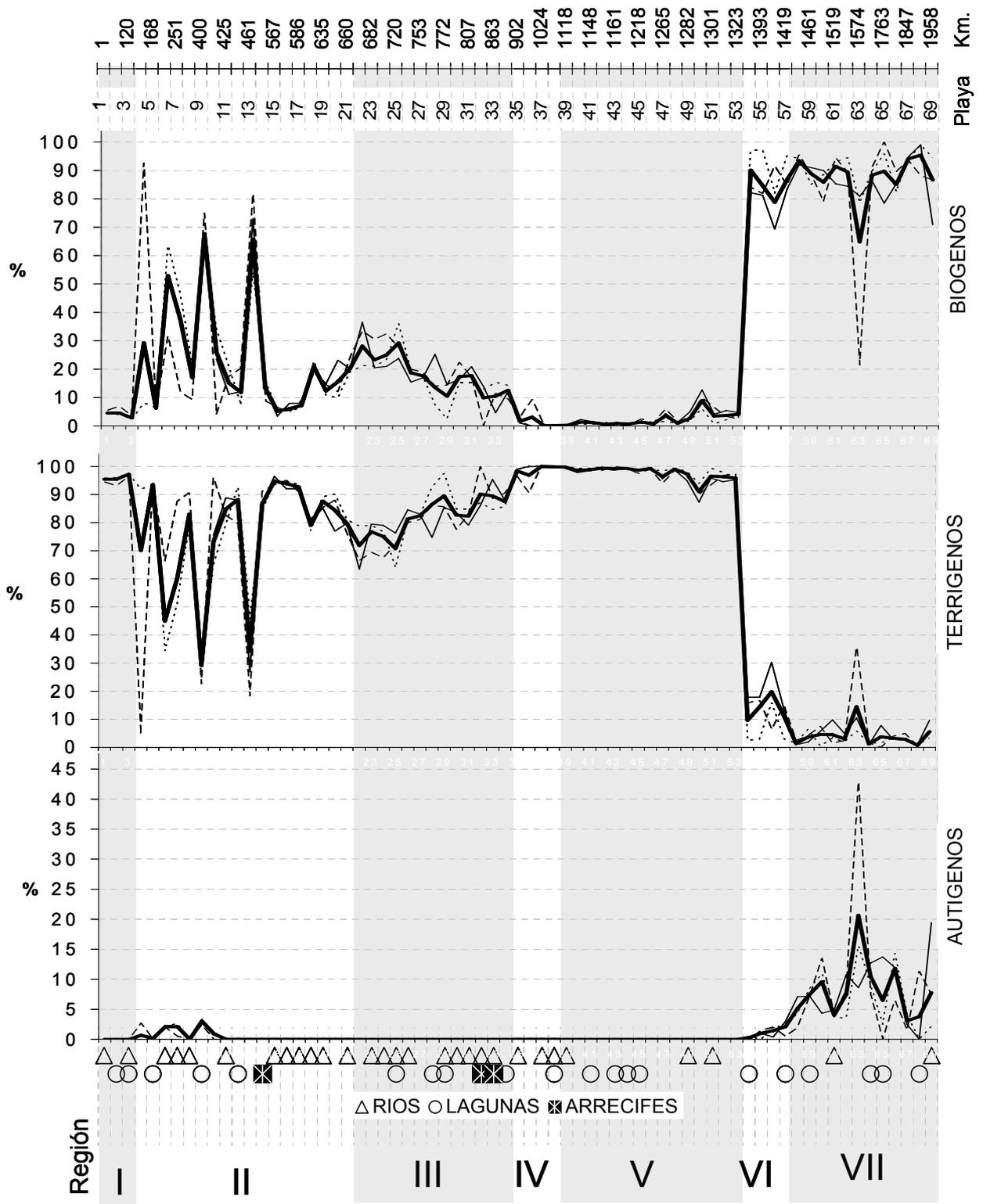


Figura 6. Porcentajes de biógenos, terrígenos y autógenos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Esta región comprende desde la Playa de Barra de Vaca Tamps. hasta la Playa de Riachuelos, Ver. Conforme se incrementa la distancia desde el delta del Río Bravo, la amplitud de la playa disminuye y su pendiente aumenta, incrementándose así mismo el tamaño de partícula en el sedimento; aunque se encuentran excepciones, cuando se presentan fragmentos biogénicos que no tienen relación con la pendiente de playa; esto coincide con lo encontrado por Carranza-Edwards *et al.* (2004).

En esta región las arenas de playas de la porción sur del Estado de Tamaulipas y las del las playas del norte de Veracruz tienen una mayor tendencia a la mala clasificación (Fig. 5), debido a la presencia de fragmentos de concha, los cuales se vuelven más abundantes hacia las zonas de influencia de lagunas costeras.

Esta unidad se caracteriza por presentar en la parte norte una amplia llanura costera con complejos lagunares y deltáicos. Al igual que en la región I, las arenas finas se presentan cerca de complejos deltáicos y los tamaños de partícula son mayores, tales como arenas muy gruesas y gravas que se encuentran en las cercanías de complejos lagunares.

En esta región se encuentran presentes varios ríos como el San Fernando, Chorreras, Soto la Marina, Barberena, Tamesi, Pánuco, Tuxpan, Cazes y Tecolutla. También se encuentra presentes sistemas lagunares como Laguna Madre, Laguna de Tamiahua, Barra de Tuxpan y Laguna de Tamiahua (Fig. 3).

La presencia los ríos podría favorecer la predominancia de las arenas finas en la mayor parte de la región. Los tamaños de partículas correspondientes a arenas muy gruesas se podrían relacionar con el alto porcentaje de sedimentos biogénicos presentes en las inmediaciones de sistemas lagunares costeros, como Laguna Madre y Laguna de Tamiahua. La forma y batimetría de estos sistema lagunares está modificada por la acción de la marea principalmente, la corriente litoral es una fuerza ambiental importante en el transporte de

sedimentos (Yáñez-Arancibia *et al.* 2004). Cuando la marea y las corrientes litorales dominan la morfología de la costa se podría esperar, como es en este caso, sedimentos de mayor tamaño en las playas debido a la mayor energía que permite el transporte de sedimentos de mayor tamaño a la costa. Las partículas de mayor tamaño pertenecen a los restos biógenos cuya abundancia en estas playas se ve favorecida por la presencia de los sistemas lagunares ricos en nutrientes.

En esta región, que comprende la zona centro y sur de Tamaulipas y norte de Veracruz, se encuentra la laguna costera mas grande de México (Laguna Madre con 200,000 ha.) y el Estuario del Río Panuco con una longitud de 510 Km., cuya cuenca cubre 107,200 Km.². Este río nace en el Estado de México, corre a través de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Veracruz. También se encuentran presentes la Laguna de Tamiahua, la Laguna de Tampamachoco que es la segunda área estuarina del Golfo en cuanto a riqueza específica, después de Términos. El Estuario Tuxpan que se forma al unirse el Río Vinazco con el Pantepec, recibe los arroyos de Mequetla y de Cañas, el Río Buenavista el arroyo Hondo y las aguas de la Laguna de Tampamachoco. Estos sistemas fluviales forman la Barra de Tuxpan al desembocar en el Golfo (Contreras y Castañeda 2004).

Los tamaños mayores de partículas se encontraron en playas con alta concentración de sedimentos biogénicos cuyo diámetro hidráulico es comparable con las arenas de menor tamaño. Esto permite que en el mismo estrato sedimentario coexistan tanto arenas finas como gravas finas correspondientes a restos biógenos.

La región III corresponde con la parte central de Estado de Veracruz y comprende desde la Playa de Paraíso a Antón Lizardo. Se caracteriza en su mayoría por arenas finas (2.19 ϕ) aunque se presentan (Tabla 3 y Fig. 5) desde arenas gruesas a finas, de bien

clasificadas a mal clasificadas (promedio 0.50 ϕ moderadamente clasificadas). Los restos biogénicos encontrados en estas arenas fueron de 17.99 % (+6.67), con un 82.01% (+6.67) de sedimentos terrígenos (Tabla 3, Fig. 6).

En las arenas de las playas de esta región los cambios en composición son mayores que para la región I o II, debido a la existencia de tres dominios geológicos distintivos i) porción sur de la Cuenca de Tamaulipas, ii) extremo oriental de la Faja Volcánica Transmexicana y iii) Cuenca de Veracruz (Kasper-Zubillaga *et al.* 1999 y Carranza-Edwards *et al.* 2004). En esta zona existe fluvial. En esta región se presentan formaciones arrecifales que seguramente tienen relación con el contenido de restos biógenos y con la mala clasificación de algunos de los sedimentos.

Hacia el Sureste del Golfo el material una mayor exposición al litoral rocoso gracias a las provincias volcánicas presentes en el área. Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) han mencionado que las arenas del Estado de Veracruz se pueden dividir en dos grandes grupos: a) arenas asociadas con áreas no volcánicas, a cuyo tipo pertenecen las mayoría de las arenas de la región III y b) arenas asociadas con una fuente de rocas volcánicas que para el presente estudio corresponderían con las arenas de playas de la región V. A medida que se alejan los dominios volcánicos las arenas de las playas son más ricas en cuarzo, debido a un largo transporte se vuelve predominantemente terrígeno en la región IV en los Tuxtlas, Ver. En esta zona se presentan tamaños de partícula desde arenas finas hasta gravas muy finas (1.15 ϕ , arenas medias) de bien clasificadas a mal clasificadas (promedio 0.56 σ , moderadamente clasificadas). (Tabla 3 y figura 5). Los restos biogénicos presentes en estas arenas son de 1.22 % (+1.47), con 98.78 % (+1.47) de sedimentos terrígenos (Tabla 3, Fig. 6).

La región de los Tuxtlas esta asociada con actividad volcánica del Cuaternario (Fig. 3), por lo que la llanura costera y la plataforma continental son estrechas, por lo tanto el tamaño de grano se incrementa.

Esta región comprende un pequeño segmento que va desde Playa Azul, Ver. hasta Rabón Grande, Ver. La gran cantidad de material terrígeno se deriva posiblemente del área volcánica de los Tuxtlas o del Pico de Orizaba.

Las arenas gruesas y las gravas pueden atribuirse a la dureza del material que conforma la costa de esta región y a la ausencia de ríos que drenen hacia el mar, a excepción del Río Papaloapan que acarrea material del Macizo de los Tuxtlas hacia la parte norte del mismo, este macizo se caracteriza por rocas volcánicas del Cuaternario principalmente basálticas y andesíticas que son mas resistentes al desgaste por transporte (Padilla *et al.* 1990, Marín-Córdoba 1990, Maderey-Rascón y Torres-Ruata 1990).

En la región V, en Tabasco, se presentan desde arenas finas a arenas medias (promedio 2.13 ϕ , arenas finas) de bien clasificadas a moderadamente clasificadas (promedio 0.43 σ , bien clasificadas). (Tabla 3 y Fig. 5). Los restos biogénicos presentes en estas arenas son de 2.31 % (± 2.26), con 97.69% (± 2.26) de sedimentos terrígenos (Tabla 3, Fig. 6).

Los perfiles de las playas de Tabasco a los que corresponde la región V tienen una amplitud menor que los de Tamaulipas y Veracruz (Carranza-Edwards *et al.* 2004). En comparación con las regiones anteriores las muestras de arena de las playas Tabasqueñas (región V) son las que tienen un mayor carácter terrígeno (tabla 3).

Esta región comprende desde la Playa Tonalá, Tab. hasta la Playa La Gloria, Camp. El tamaño de grano es muy homogéneo, principalmente arenas medias y finas, debido a la

alta precipitación pluvial y a la gran descarga de sedimentos terrígenos a la costa por los Ríos Tonalá, Frontera, San Pedro y Grijalva-Usumacinta que acarrearán a la playa depósitos aluviales y lacustres de terrazas marinas conformadas por gravas, arenas y limos del Pleistoceno y Reciente (Maderrey-Rascón y Torres-Ruata 1990, Marín-Córdoba 1990, Padilla *et al.* 1990).

El porcentaje de sedimentos biogénicos en las arenas de estas playas es mínimo (Tabla 3 o Fig. 5), esta llanura costera ha sido anteriormente caracterizada como una zona rica en sedimentos terrígenos (Carranza-Edwards *et al.* 1993), debido a la alta precipitación pluvial en el área. Esto puede explicar el bajo contenido en sedimentos biogénicos encontrados en el presente trabajo, lo cual concuerda con lo obtenido por Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1996). Los valores más altos de sedimentos terrígenos se obtuvieron en muestras que corresponden a las playas La Gloria y Campechito cercanas a la desembocadura del Río Usumacinta.

La región VI en Laguna de Términos presenta arenas con tamaño de partícula que va desde arenas medias a gravas muy finas (promedio 1.16 ϕ , arenas medias) de bien clasificadas a muy mal clasificadas (promedio 1.19 ϕ , mal clasificadas) (Tabla 3 y Fig. 5). Los restos biogénicos presentes en estas arenas son de 85.03 % (± 4.73), los de autógenos de 1.20% (± 0.78) con 13.77 % ($4.44 \pm$) de sedimentos terrígenos (Tabla 3, Fig. 6).

Esta región se caracteriza por ser una zona de transición entre las playas con abundancia de sedimentos terrígenos y biogénicos lo que favorece la mala clasificación debido a la heterogeneidad del medio. Comprende desde la playa de Cd. del Carmen hasta Isla Aguada, Camp. (Tabla 2). Se presentan tamaños de partículas desde arenas finas hasta gravas finas debido a la presencia de algunos fragmentos de esqueletos de organismos.

En las playas ubicadas en Isla del Carmen, se presenta una disminución en el porcentaje de sedimentos biógenos que podría atribuirse a la presencia del Río Palizada, además de otros ríos mas pequeños que descargan sus aguas a la Laguna de Términos (Tamayo 1974), la cual recibe sedimentos terrígenos procedentes de depósitos aluviales y lacustres de terrazas marinas al oeste de la laguna de Términos, conformadas principalmente por gravas, arenas y limos del Pleistoceno y Reciente.

Existen afloramientos de rocas sedimentarias marinas del Cretácico medio e inferior predominantemente calcáreas cercanos a la laguna (Maderey-Rascón y Torres-Ruata 1990, Marín-Córdoba 1990, Padilla *et al.* 1990), estos sedimentos terrígenos de naturaleza carbonatada, podrían ser transportados por medio del Río Candelaria hacia las playas en Laguna de Términos. A dicho transporte se puede atribuir que comiencen a presentarse sedimentos de origen calcáreo y precipitados químicos de carbonatos hacia el Este de este sistema lagunar. La principal fuerza ambiental que se ejerce sobre las playas asociadas con la Laguna de Términos sería la descarga de los ríos y el transporte eólico.

En contraste con las playas de la parte Oeste de Campeche, las playas de la región VI exhiben fragmentos biógenos que se enriquecen a medida que se incrementa la distancia con los Ríos Grijalva y Usumacinta.

En la región VII, que comprende el Litoral Oeste y Norte de la Península de Yucatán, se presentan tamaños de grano mayores desde arenas finas hasta gravas muy finas (promedio 1.02ϕ , arenas medias), de muy mal clasificadas a moderadamente bien clasificadas (promedio 1.01ϕ , mal clasificadas) (Tabla 3, figura 5). El porcentaje de biogenos presente en estas playas es de 87.73% (± 7.91), de autógenos de 8.15% (± 4.78) y de terrígenos de 4.12% (± 3.57) (Tabla 3, figura 6). Las arenas presentan un tamaño de

grano mayor en la zona de infraplaya que en la supraplaya y la mesoplaya, ya que se puede presentar una disminución en el tamaño de grano de la infraplaya a la supraplaya por el decremento en la energía. Sin embargo, esta diferencia no es tan notoria como en las playas de la región V debido a la abundancia de conchas y fragmentos de concha, además de los precipitados químicos de carbonatos (autigénicos) como “beach rocks” los cuales son abundantes en el Estado de Campeche.

La mayoría de las playas de esta región muestran arenas con un alto porcentaje de sedimentos biógenos. En cuanto al tamaño del grano, solamente en la zona de infraplaya, existen tanto arenas como gravas gruesas, que están representadas en su mayoría por restos de organismos y algunos precipitados químicos (autígenos).

Se puede decir que en esta unidad existe una disminución de sedimentos terrígenos debido a su naturaleza carbonatada y a la ausencia de escurrimientos fluviales. Es probable que la presencia de arenas finas y medias encuentren su origen en sedimentos derivados de la Plataforma Yucateca y al alto grado de remoción de detritos por efecto del oleaje inducido por los *nortes*. En contraste, las arenas gruesas pueden relacionarse con los restos de organismos con esqueletos carbonatados, los cuales en ocasiones están muy desgastados por intemperismo físico. Además este material está altamente intemperizado debido al clima cálido subhúmedo y a la alta precipitación pluvial que a su vez puede favorecer la presencia de precipitados químicos, lo que coincide con Carranza-Edwards *et al.* (1996).

Las regiones I y V presentan una disminución considerable de sedimentos biógenos debido a la presencia de complejos deltaicos que acarrear a la costa una gran cantidad de material terrígeno. Además en estas regiones la llanura costera es amplia y en ambos casos de naturaleza terrígena. Debido a ello y al largo transporte que sufren los sedimentos, la

mayoría de las arenas son finas y de moderadamente clasificadas a bien clasificadas (Figura 7 y 8).

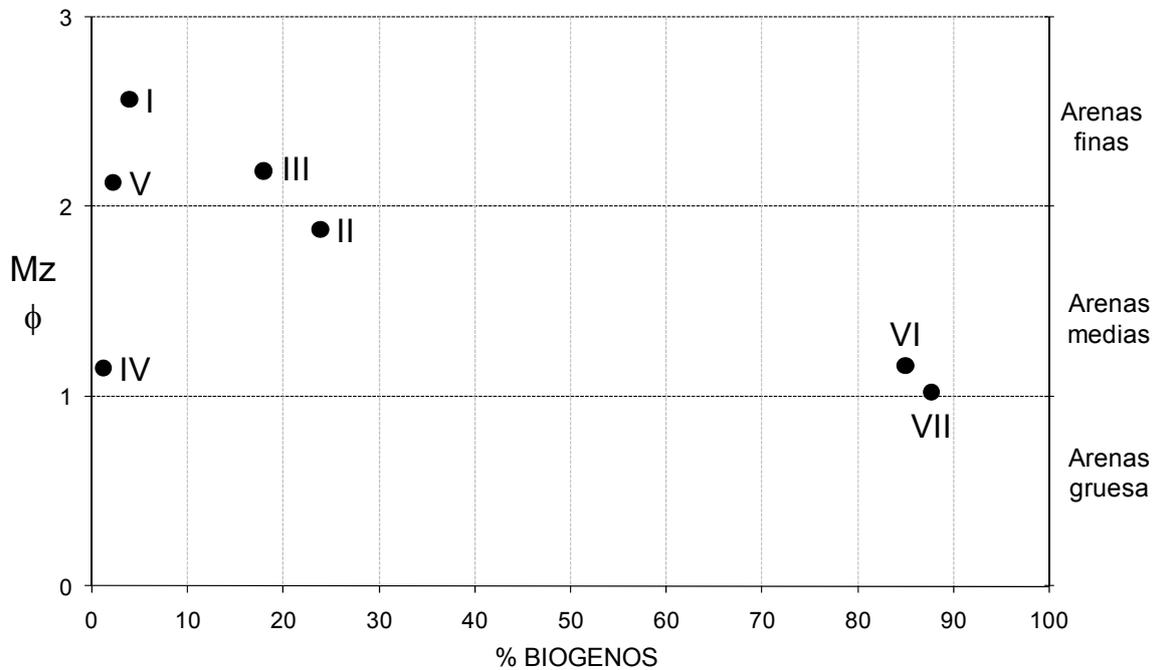


Figura 7. Relación entre el porcentaje de fragmentos biógenos y tamaño de grano para las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de México.

También se puede observar que el litoral asociado con afloramientos volcánicos próximos a la línea de costa (la región IV y la porción central de la región III) del litoral del Golfo son un tanto similares en sus bajos contenidos de sedimentos biógenos y su tamaño de partícula tiende a ser mas grueso y mal clasificado (Figura 7 y 8).

La presencia de precipitados químicos en la zona de la Laguna Madre, Laguna de Tamiahua y en el litoral Oeste y Norte de la Península de Yucatán podría verse favorecida por la ausencia de ríos superficiales y la alta evaporación.

Las playas de Campeche son mas angostas que las playas de Tabasco (Carranza-Edwards *et al.* 2004) lo que puede favorecer también la presencia de partículas de mayor

tamaño aunque cabe hacer notar que los tamaños de partícula mayores corresponden a los fragmentos de organismos y a los precipitados químicos.

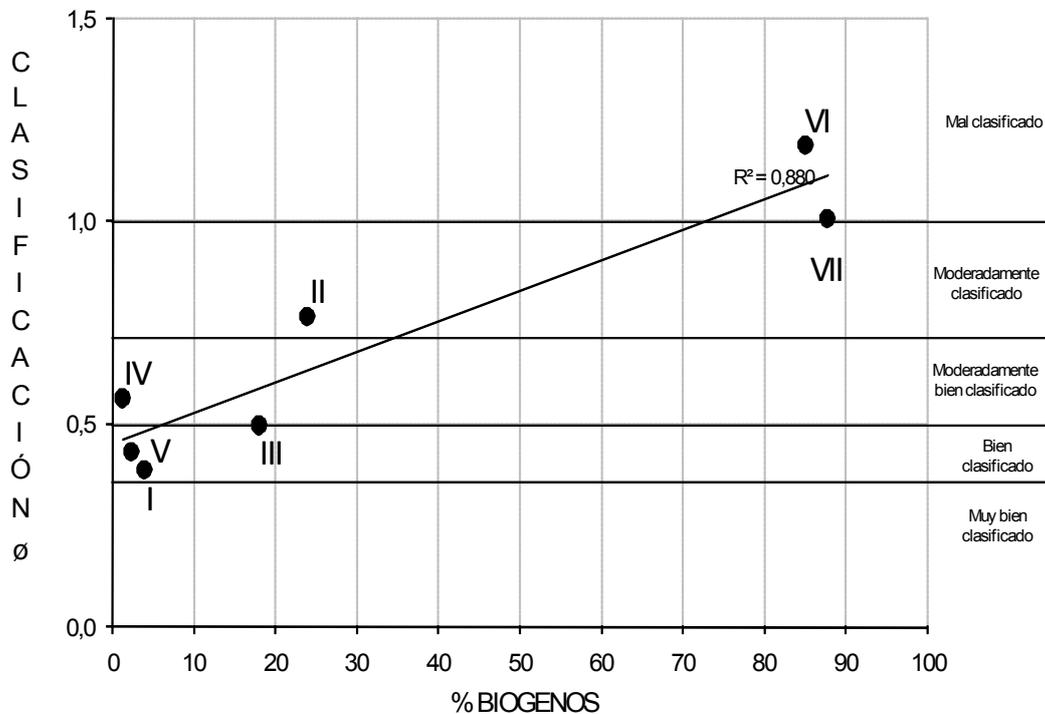


Figura 8. Relación entre porcentaje de fragmentos de biógenos totales y la clasificación de los sedimentos para las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de México.

La región VI se caracteriza por ser una zona de transición entre la zona de influencia de los ríos y la plataforma carbonatada, a ello puede atribuirse el tamaño de partícula tan variable, ya que los sedimentos, son una mezcla del material terrígeno aportado por los ríos en la parte oeste de la Laguna de Términos, material carbonatado de la Península de Yucatán y los restos biogénicos que comienzan a presentarse en la región gracias al aporte de carbonatos de la Plataforma Yucateca (Figuras 7 y 8).

Principales Grupos de Restos de Organismos

Los sedimentos carbonatados están constituidos por dos componentes principales: los ortoquímicos y los aloquímicos. Los principales componentes ortoquímicos son la matriz y el cementante, formados principalmente por calcita microcristalina producida por la precipitación química; por otro lado, los componentes aloquímicos no se forman por la precipitación química, sino que son producto de la sedimentación de la cuenca, constituidos principalmente por restos de organismos que habitaron la región o partículas producidas por la acción mecánica dentro de la misma cuenca (Montijo *et al.* 2004). Los compuestos de calcio especialmente carbonatos y fosfatos son los principales componentes de los esqueletos de los invertebrados, este tipo de esqueletos son los que pueden preservarse en los sedimentos y están compuestos principalmente de calcita y aragonita (Gardiner 1978). A continuación se analiza de la presencia de los principales grupos de organismos en las arenas de playa del Golfo de México:

Pellets (peloides)

Los pellets son partículas de forma esférica irregular, de naturaleza micrítica que se clasifican en pellets fecales, pellets de algas, pseudopeloides, peloides bahamíticos y peletoides (Montijo *et al.* 2004). Los pellets en los que se enfoca este estudio son los pellets de tipo fecal que son característicos de aguas someras de baja energía, de submarea y de zonas costeras intermareales, son precipitados que se han consolidado en el tiempo como desechos biogénicos de la alimentación animal. Este tipo de sedimentos presentan buena calcificación y presentan un halo más oscuro de naturaleza orgánica (Bathurst 1971 y Montijo *et al.* 2004). A pesar de que carecen de estructura interna, su composición calcárea les permite tener una buena preservación en los sedimentos en los que se depositan lo cual favorece su identificación.

Como se observa en la tabla 3 y en la figura 9, la abundancia de pellets en las siete regiones del Golfo de México se presenta en orden de abundancia como sigue para las siete regiones: III>VII>II>VI>I>V>IV. Los porcentajes mayores se presentan para la región central de Veracruz (13.20 ± 7.46) y la región Oriental de Campeche y Yucatán (8.39 ± 7.11).

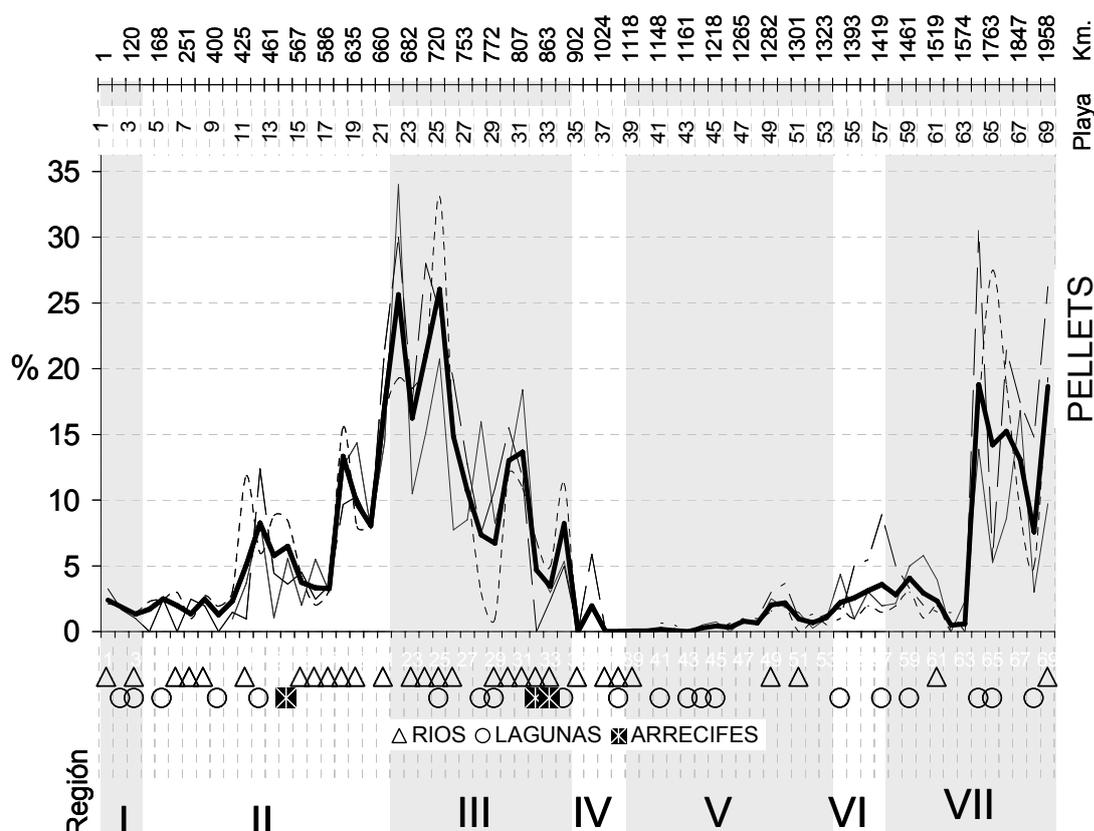


Figura 9. Porcentajes de fragmentos de pellets en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

La tabla 4 muestra que hay una correlación positiva entre pellets y algas ($r=0.23$, $p<0.01$) lo cual indicaría que conforme aumenta el porcentaje de sedimentos de origen algal también aumenta el número de pellets en la región.

Como mencionamos anteriormente nos enfocamos en la identificación de los pellets fecales en las arenas de playas por ser estos los que, dadas las condiciones del ambiente de

playa sería mas probable encontrar. Tal vez esta correlación positiva con algas indique que algunos de estos pellets pueden tener origen no en pellets fecales, sino en peloides algales que se originan de bioclastos de algas calcáreas características de ambientes lacustres y de lagunas costeras hipersalinas como mencionan Montijo *et al.* (2004).

Bathurst en 1971 menciona que el término pellets es utilizado como un término sombrilla ya que el origen de estos agregados muchas veces es desconocido, mas aún en el presente estudio donde el grado de intemperismo del material es alto, ya que muchas veces los pellets se presentan como agregados de estructuras algales y dependiendo del grado de fragmentación se dificulta la identificación entre los distintos tipos de pellets.

No debe descartarse que los pellets se constituyan también por restos clásticos desechados como producto de la alimentación de la fauna habitante de la región como las los peces y las aves. A este respecto las lagunas costeras de México son importante fuente de recursos pesqueros, a si mismo el Golfo de México se considera uno de los corredores migratorio más importante del mundo; siete de las veintiocho áreas migratorias que atraviesan la Republica Mexicana se encuentran en el Golfo de México, estas aves podrían proporcionar una cantidad importante de material para la formación de peloides fecales.

Debido a que en las costas del Golfo de México se descarga aproximadamente el 60 % del escurrimiento nacional, se originan grandes extensiones de humedales y sistemas lacustres desde Laguna Madre en Tamaulipas hasta Ría Lagartos en la Península de Yucatán. La mayoría de las especies de peces y aves marinas dependen de estos sistemas costeros para su alimentación. Tan sólo la Laguna Madre en Tamaulipas alberga 65 especies de peces (Yáñez-Arancibia *et al.* 2004) y el 15% del total de las aves acuáticas migratorias de México y el 80% de los anátidos de México (Gallardo *et al.* 2004).

Es importante señalar que las muestras colectadas en las inmediaciones de esta laguna, en la región II, presentan porcentajes intermedios de peloides (Tabla 3 y Fig. 9).

El Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz es el tercer humedal con mayor extensión en México, contando con el 25.6% de las especies de aves presentes en el país (Gallardo *et al.* 2004) y aproximadamente 90 especies de peces lo que se ve favorecido por una productividad primaria de 200 mg/cm³/hr (Yáñez-Arancibia *et al.* 2004). Se encuentra en la región III del área de estudio y presenta el mayor porcentaje de pellets en el Golfo de México. Lo anterior podría apoyar lo mencionado anteriormente con respecto al aporte de material clástico por parte de las aves y los peces para la formación de sedimentos peloides.

La tabla 4 muestra una correlación negativa entre pellets y terrígenos, lo cual indicaría que conforme aumentan los sedimentos terrígenos disminuyen las partículas de origen peloides, lo anterior concuerda con el porcentaje menor de estos sedimentos que se presenta en la región de los Tuxtlas (0.49 % \pm 0.99), donde se presenta el mayor porcentaje de sedimentos terrígenos. Como se menciona anteriormente, debido a la dureza del material volcánico de los Tuxtlas, aumenta el tamaño de grano, disminuyendo así la probabilidad de encontrar peloides de origen algal, además la región carece de sistemas lagunares importantes lo cual limitaría la presencia de avifauna lacustre y por lo tanto la presencia de peloides fecales.

Moluscos

El término Mollusca se refiere a organismos de cuerpo blando, carentes de segmentación completa del cuerpo y que presentan una morfología alargada y simetría bilateral, consta de una parte inferior (pie) modificada para la locomoción y una parte superior (manto) que ocupa la mayor parte del cuerpo y secretan un esqueleto de carbonato de calcio (Brusca y Brusca 2003, Montijo *et al.* 2004).

Tabla 4. Correlación de Pearson (99%>0.18, p>0.01) para parámetros texturales (tamaño de grano, clasificación), contenido de carbonatos y grupos de organismos presentes en las arenas de playa del Golfo de México.

	σ	CARBONATOS	PELLETS	F.DE MOLUSCO	PELECIPODOS	GASTEROPODOS	ESCAFOPODOS	FORAMINIFEROS	ALGAS	BRIOZOARIOS	CORAL	EQUINODERMOS	OSTRACODOS	ESPONJAS	TOTAL BIOGENOS	AUTIGENOS	TERRIGENOS
MZ	-0,70	-0,47	0,18	-0,35	-0,55	-0,26	-0,25	0,02	0,02	0,01	-0,22	-0,08	-0,22	-0,16	-0,43	-0,31	0,45
σ	1,00	0,52	-0,12	0,37	0,57	0,22	0,20	0,09	-0,02	0,03	0,17	0,22	0,24	0,02	0,47	0,27	-0,48
CARBONATOS		1,00	0,30	0,85	0,72	0,35	0,25	0,20	0,11	0,16	0,31	0,37	0,22	0,16	0,95	0,52	-0,96
PELLETS			1,00	0,13	-0,10	0,01	-0,01	0,03	0,23	0,04	-0,11	0,13	-0,01	-0,05	0,27	0,01	-0,25
F.DE MOLUSCOS				1,00	0,55	0,12	-0,01	0,09	0,02	0,06	0,25	0,26	0,11	0,17	0,90	0,42	-0,90
PELECIPODOS					1,00	0,25	0,57	0,08	-0,06	0,02	0,25	0,23	0,36	0,09	0,78	0,30	-0,77
GASTEROPODOS						1,00	0,29	0,23	-0,02	0,14	0,37	0,22	0,11	-0,03	0,26	0,74	-0,33
ESCAFOPODOS							1,00	0,07	-0,07	0,02	0,04	0,17	0,50	0,01	0,26	0,15	-0,26
FORAMINIFEROS								1,00	0,32	0,77	0,01	0,61	0,06	0,07	0,22	0,02	-0,21
ALGAS									1,00	0,30	0,07	0,19	-0,04	0,11	0,11	-0,05	-0,10
BRIOZOARIOS										1,00	-0,02	0,62	0,01	-0,01	0,18	-0,02	-0,17
CORAL											1,00	0,07	0,07	0,04	0,28	0,42	-0,32
EQUINODERMOS												1,00	0,21	-0,03	0,39	0,06	-0,38
OSTRACODOS													1,00	0,04	0,24	0,06	-0,23
ESPONJAS														1,00	0,14	0,01	-0,14
TOTAL BIOGENOS															1,00	0,43	-0,99
AUTIGENOS																1,00	-0,53

La concha de los moluscos está constituida por material orgánico denominado conquiolina, y está impregnado de sales inorgánicas, principalmente por carbonato de calcio (calcita y aragonita) (Bathurst 1971 y Montijo *et al.* 2004). La fuente de carbonato es fundamentalmente metabólica; mientras que la de calcio se obtiene del agua y del alimento (Barnes 1977 y Brusca y Brusca 2003), por ello su distribución y abundancia está determinada por la abundancia de este material.

Los principales grupos identificados en este estudio fueron pelecípodos y gasterópodos. La gran variedad y la complicada estructura de la concha de los moluscos han propiciado diversos estudios al microscopio de su estructura fina aunados a estudios mineralógicos. Las capas de las conchas de los moluscos difieren una de otra en estructura, orientación y mineralogía. La variación de la estructura entre la concha de diferentes organismos es considerable entre una misma especie, por lo cual no puede utilizarse como criterio taxonómico para su identificación (Bathurst 1971). En este estudio solo se pudo llegar a la identificación a nivel de filo y en algunas ocasiones a nivel de clase (Tabla 3, Figs. 10, 11 y 12), debido a que el sedimento en las arenas de playas se encuentra muy

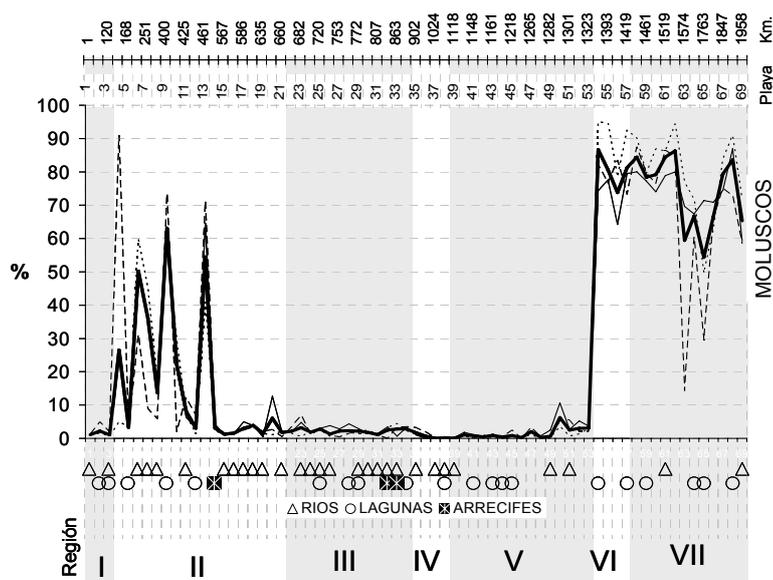


Figura 10. Porcentajes de fragmentos de moluscos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplava - Mesoplava - Supraplava.

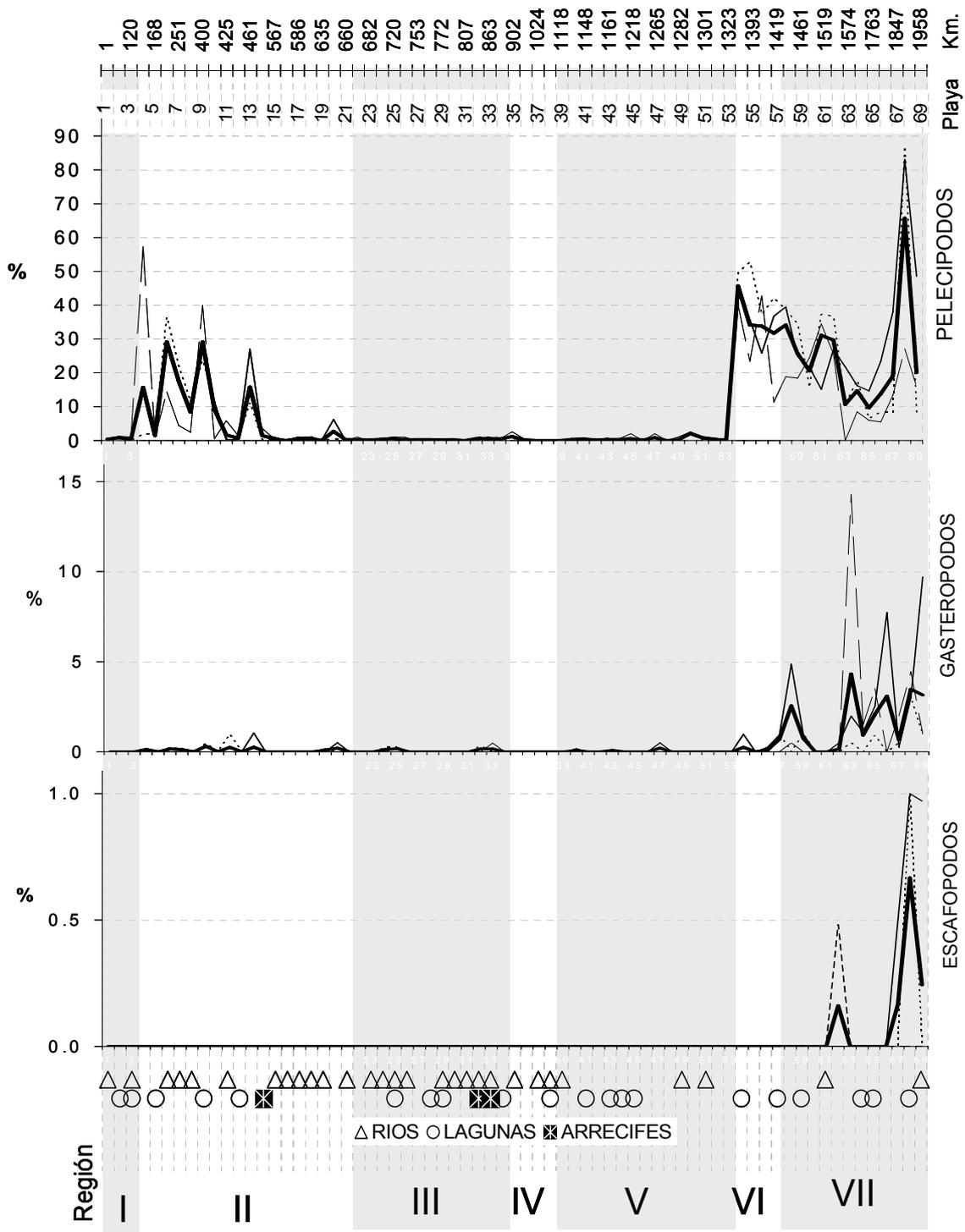


Figura 11. Porcentajes de fragmentos de pelecípodos, gasterópodos y escafópodos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

intemperizado y sólo corresponde a fragmentos de la concha, de la cual no se conoce ni la orientación ni la forma, por lo tanto la clasificación y descripción de estructuras aún con el microscopio petrográfico y estereoscópico resulta muy compleja.

Logan (1969) menciona que los esqueletos de moluscos en los sedimentos generalmente están rotos en fragmentos angulares, siendo difícil identificarlos taxonómicamente. La dificultad de su identificación se incrementa al disminuir el tamaño de las partículas. Menciona también que comúnmente es imposible distinguir entre pelecípodos y gasterópodos debido a que se pierden sus caracteres morfológicos de identificación.

Tomando en cuenta dichas consideraciones, en la tabla 3 se describen los porcentajes para pelecípodos, gasterópodos y escafópodos (Fig. 11), además se incluye una columna en la tabla 3 y la figura 12 con los porcentajes de restos de moluscos no identificados que corresponden con los fragmentos en los que no fue posible definir su clase.

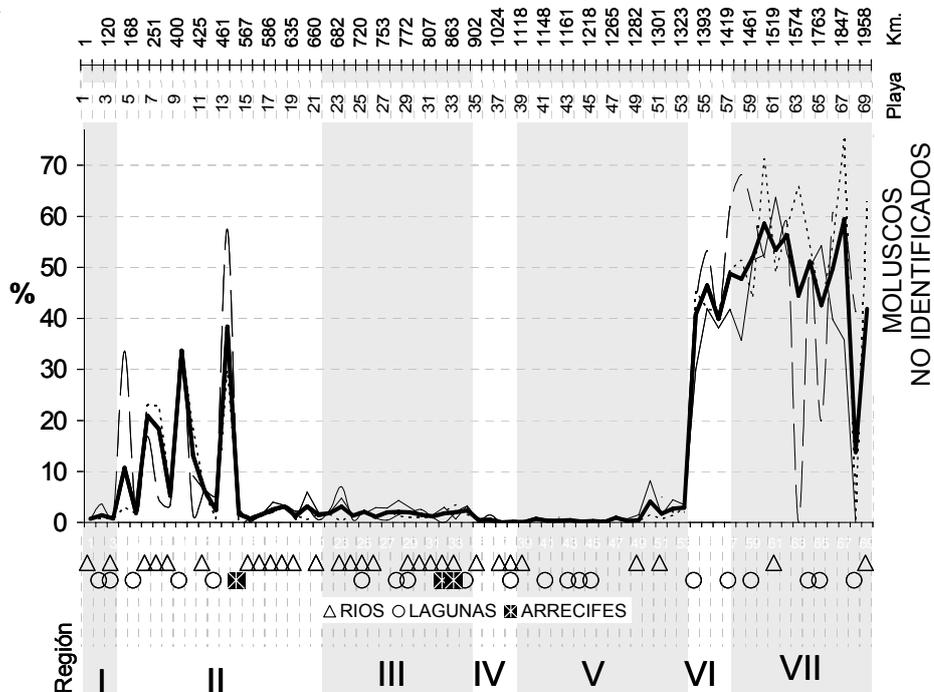


Figura 12. Porcentajes de fragmentos de moluscos no identificados en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

La abundancia de moluscos en las siete regiones del Golfo de México son las siguientes en orden de abundancia: VI>VII>II>III>V>I>IV.

Las zonas con el mayor porcentaje de moluscos están representadas por dos regiones, una en las cercanías de la Laguna de Términos ($80.56 \% \pm 10.97$) y otra en el litoral Poniente y Norte de la Península de Yucatán ($74.03 \% \pm 29.07$). Ambas regiones se encuentran adyacentes y están influenciadas por los sedimentos calcáreos procedentes de la Plataforma Yucateca. Las abundancias de restos de pelecípodos, gasterópodos y escafópodos corresponden a los porcentajes de restos de estos organismos reportados por Logan (1969) en sedimentos de la Península de Yucatán.

La región de la Laguna de Términos, a pesar de estar influenciada por las descargas de los ríos que drenan hacia la Laguna de Términos, se halla en la zona de transición entre las calizas de Yucatán y los terrenos aluviales del Golfo de México. En esta región se presentan altas concentraciones de carbonatos, lo que favorece su asimilación en los organismos filtradores. Gracias a la presencia de la laguna, la cantidad de nutrientes es mayor y por lo tanto podría favorecer la presencia de moluscos.

Por otro lado, ambas regiones presentan aguas tranquilas, sin embargo, es en las zonas costeras con lagunas, donde la vegetación acuática y subacuática (Rzedowski 1981, Brusca y Brusca 2003, Contreras y Castañeda 2004) favorece el asentamiento de una gran cantidad de fauna acuática gracias a la mayor cantidad de alimento y de espacios de resguardo (Yáñez-Arancibia 2004). Además, es en las lagunas donde la materia orgánica disuelta aumenta y algunos de los moluscos obtienen una porción de sus alimentos de ella (Mortimer 1990, Brusca y Brusca 2003).

Se presenta una región con un porcentaje intermedio de moluscos ($16.83 \% \pm 0.61$) (Tabla 4) correspondiente a la región influenciada por los sistemas lagunares de Tamaulipas

y Veracruz, lo cual es de esperarse tomando en cuenta que la presencia de las lagunas favorece la existencia de nutrientes y el aporte de sedimentos calcáreos, los que son acarreados por los ríos desde los afloramientos continentales. Sin embargo, el gran aporte de sedimentos de origen terrígeno aumenta la turbidez y podría afectar el asentamiento de organismos filtradores entre los cuales se encuentran los moluscos.

En esta región es de resaltar la presencia de varios sistemas lagunares. No obstante, comienza a ser notoria la influencia de los sistemas fluviales. Contreras y Castañeda (2004) han realizado estudios para caracterizar las especies de moluscos presentes en esta región (Laguna Madre), que es una área con alta salinidad dominada por la vegetación de pastos marinos donde se han identificado abundantes especies de moluscos, dominando los pelecípodos. En la misma situación se encuentran Laguna de Pueblo Viejo, Laguna de Tamiahua y Laguna de Tampamachoco. Es importante resaltar que según el estudio antes mencionado, a pesar de ser la Laguna Madre la laguna más grande de México, no se aproxima al número de especies de moluscos encontrado en la Laguna de Términos, lo anterior podría relacionarse con los resultados del presente estudio donde los restos de moluscos son más abundantes en la región de la laguna de Términos (región VI) que en la Laguna Madre (región II), gracias al contenido de carbonatos mayor en la región VI (tabla 3 y figura 6).

Cuatro regiones presentan los porcentajes más bajos de moluscos, la región central de Veracruz, la región de Tabasco y Campeche influenciada por los Ríos Grijalva y Usumacinta, la región de Tamaulipas influenciada por el Río Bravo y la región de los Tuxtlas; estas regiones presentan una gran influencia de sistemas fluviales que descargan a la costa una gran cantidad de sedimentos terrígenos. En la región I es notoria la influencia del Río Bravo, en la región III los sedimentos fluviales provienen del Eje Neovolcánico

Transversal y en la región V del Sistema Fluvial Grijalva-Usumacinta. La mayoría de los sedimentos son de grano fino lo cual aumenta la turbidez y afectan a los organismos filtradores, además el aporte de carbonatos a la región es mínimo, ya que en el caso de Veracruz y Tabasco conforme se avanza al sur la distancia con los afloramientos calcáreos aumenta (Fig. 3).

Según el análisis de correlación (Tabla 4), se presenta una correlación positiva entre moluscos y pelecípodos, corales, equinodermos, biógenos y autógenos, lo cual podría explicarse debido a que dichos organismos son filtradores y necesitan aguas claras y un aporte considerable de carbonatos, además de ser abundantes en las lagunas costeras. En relación con los autógenos el carbonato de las conchas en los sedimentos de playa en regiones con alto intemperismo químico podría ser una fuente de material importante para los sedimentos autigénicos. La correlación negativa entre moluscos y terrígenos se explica debido a que la abundancia de terrígenos implica una dilución de los sedimentos carbonatados que son la materia prima para la formación de las conchas de moluscos.

De manera general se encontró que la abundancia de restos de moluscos esta relacionada directamente con la abundancia de sedimentos calcáreos y la ausencia de descargas fluviales, así como con la presencia de lagunas costeras. El número de especies identificados en algunos de los sistemas no es un buen comparativo ya que no refleja la abundancia de organismo en la región, sino más bien la heterogeneidad u homogeneidad de los ambientes en la zona.

Foraminíferos

Los foraminíferos son protozoarios unicelulares que secretan una testa de composición primordialmente quitinosa, pudiendo ser arenácea, calcárea, aragonítica o sílicea. Tienen formas de vida tanto planctónicas como bentónicas, el ambiente en el que

viven es muy variado desde ambientes neríticos, aguas profundas, batiales o abisales. Se agrupan en cinco grupos, cuatro de los cuales son calcáreos: Textularidos (arenaceos o aglutinados, cementados por carbonato de calcio), Miliólidos (concha porcelanita compuesta de calcita magnesica), Fusulinidos (pared calcárea microgranular) y Rotálidos (conchas compuestas de calcita hialina con contenido bajo en magnesio) (Bathurst 1971, Gardiner 1978, Montijo *et al.* 2004).

La abundancia de los restos de foraminíferos (Tabla 3, Fig. 13) en las arenas de playa del Golfo de México es en orden de abundancia como sigue: VII>III>VI>I>II>V>IV.

Las regiones con mayor numero de restos de foraminíferos son la Península de Yucatán (0.75 % \pm 0.79) y la región central de Veracruz (0.60 % \pm 0.44), la de menor abundancia es la región de los Tuxtlas (0.04% \pm 0.08).

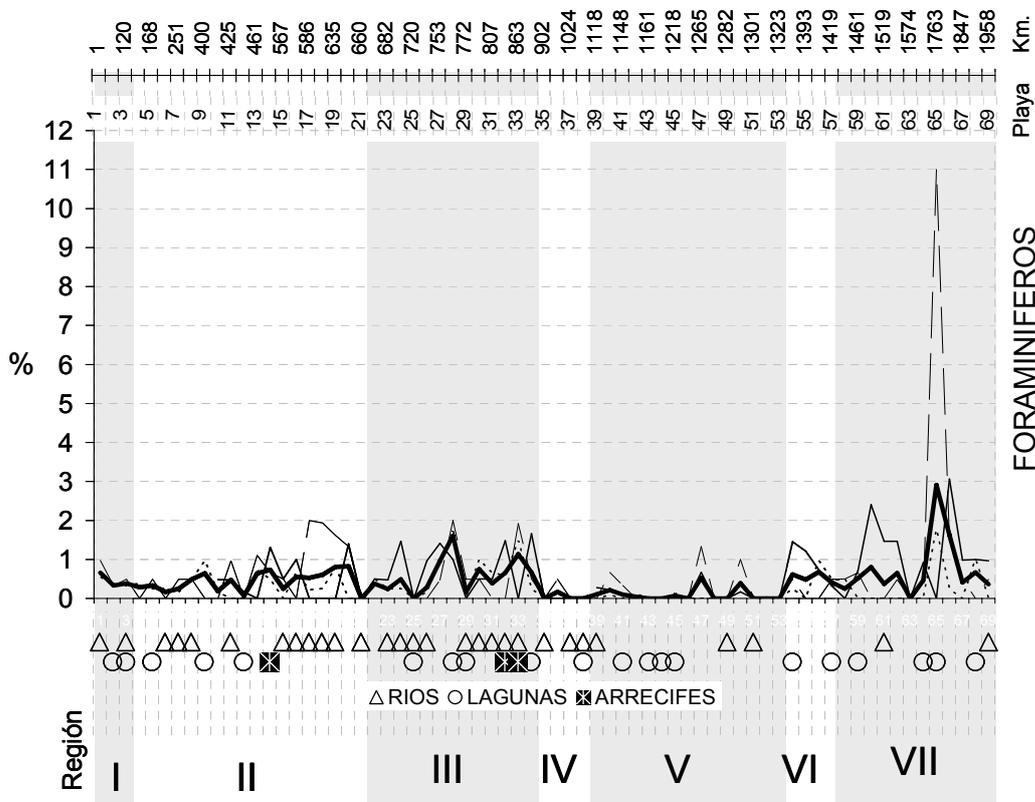


Figura 13. Porcentajes de fragmentos de foraminíferos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

La mayoría de los foraminíferos presentes en aguas someras viven entre la vegetación acuática (Gardiner 1978), lo cual explica la correlación positiva entre foraminíferos y algas. Se presenta además una correlación negativa con sedimentos terrígenos (Tabla 4). Esto es, a menor concentración de sedimentos de origen continental corresponde un mayor número de restos de foraminíferos. Este es el caso de las playas del litoral Poniente y Norte de la Península de Yucatán, las cuales se ubican dentro de la región VII de este trabajo.

Brusca y Brusca (2003) mencionan que las aguas marinas tropicales pobres en nutrientes favorecen el desarrollo de las testas de foraminíferos bentónicos de aguas poco profundas y los foraminíferos planctónicos que viven cerca de la superficie. Estos foraminíferos presentan asociaciones con algas endosimbióticas como diatomeas, dinoflagelados y algas rojas y verdes (Brusca y Brusca 2003). Lo anterior contribuye con el desarrollo de testas más grandes y resistentes. Este tipo de restos podría reconocerse más fácilmente en los sedimentos de playa, considerando que los foraminíferos planctónicos tienen conchas más delicadas que las especies benthicas (Barnes 1977) y el grado de intemperismo que se presenta en la región es muy alto.

Algunos foraminíferos presentan simbiosis con diatomeas, otros son heterótrofos y se alimentan por fagocitosis, pueden ser herbívoros, carnívoros u omnívoros. En el caso de los herbívoros, estos pueden presentarse junto con los afloramientos de algas como las diatomeas y clorofitas (Gardiner 1978), las que son abundantes en zonas influenciadas por lagunas costeras, como es el caso de las lagunas costeras de Tamaulipas, Veracruz y Campeche.

Algas

La preservación de las algas en los sedimentos varía dependiendo del grado de calcificación, edad y tiempo de depósito. Las familias de algas que podrían encontrarse en

las arenas de playa pertenecen a los Phylum Rodophyta, Chlorophyta, Charophyta y Chrysophyta, ya que son las que presentan calcificación parcial o total en su talo (Bathurst 1971). Las algas Rodofitas, en especial las de la familia coralinácea, serían más frecuentes de encontrar en los sedimentos de la playa ya que su preservación es particularmente buena por su calcita rica en magnesio (Bathurst 1971).

Las algas calcáreas pueden presentar tanto calcificación interna como externa y pueden encontrarse en diversos ambientes, la depositación del carbonato varia según la especie (Montijo *et al.* 2004). Debido al grado de alteración que presentan los fragmentos de algas en las arenas de playas no fue posible identificar a que Filo de algas pertenecen dichos fragmentos, aunque como por sus anillos de crecimiento se podría suponer que se trata de rodofitas.

Los fragmentos de algas en las playas del Golfo de México se presentan en orden de abundancia en las siete regiones como sigue: III>VII>II>I>VI>IV>V (Tabla 3 y Fig. 14).

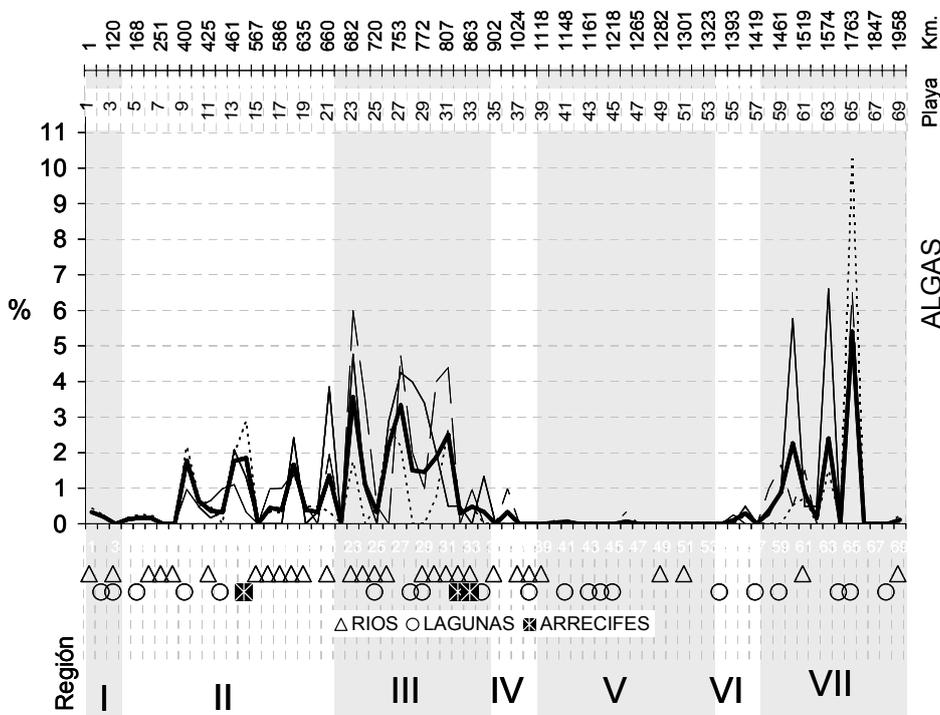


Figura 14. Porcentajes de fragmentos de algas en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Las zonas con el mayor porcentaje de fragmentos de algas están representadas particularmente por dos regiones: la correspondiente a la parte central de Veracruz ($1.46 \% \pm 1.19$) y la del Litoral Poniente y Norte de la Península de Yucatán ($1.04 \% \pm 1.62$). La zona de menor abundancia es la zona de influencia del Delta del Grijalva-Usumacinta ($0.04\% \pm 0.08$).

Considerando que la calcita rica en magnesio y la aragonita se precipitan como producto de la fotosíntesis (Bathurst 1971), suponemos que la abundancia de restos de algas presentes en las arenas de las playas esta directamente relacionada con la claridad de las aguas y la disponibilidad de carbonatos en el medio; es por ello que los picos más altos de algas los encontramos en la región VII (Fig. 14), donde las condiciones de sus aguas y la provincia carbonatada de la Península de Yucatán favorecen la precipitación de los carbonatos por parte de las algas.

Tanto en la región II y III se presentan algunos fragmentos de algas calcáreas (Fig. 14). La región II es una zona que, al igual que la Península de Yucatán, carece de escurrimientos fluviales abundantes (Fig. 3) que alteran la turbidez de sus aguas y, por lo tanto, la fotosíntesis. Además, en esta región los afloramientos de calizas de la Sierra Madre Oriental están próximos a la línea de costa. En la región III a pesar de que la turbidez de sus aguas aumenta, la disponibilidad de nutrientes y los aportes de carbonatos que arriban disueltos a la costa por vía fluvial podrían favorecer la proliferación de algas calcáreas en la zona. Es conveniente considerar la presencia de sistemas arrecifales en esta región, ya que las algas calcáreas junto con los corales, son los principales constructores de los arrecifes coralinos. Por otro lado, en la porción central de la esta región se presentan aguas marinas poco turbias, debido al fuerte relieve formado por la Faja Volcánica

Las zona de influencia de la provincia carbonatada de Yucatán es donde se presenta el mayor porcentaje de fragmentos de briozoarios, $1.22\% \pm 2.95$ en el Litoral Oeste y Norte de la Península de Yucatán y $0.16\% \pm 0.06$ en la zona de transición de sedimentos terrígenos a biógenos (Tabla 3). Este tipo de restos de animales presentan una correlación positiva con algas, lo cual es de esperarse considerando que la mayor parte de estos organismos viven en el litoral como epifitas de algas, pilotes, rocas, conchas y animales.

Los briozoarios son sumamente versátiles y son capaces de explotar todos los tipos de superficies duras siendo capaces de utilizar espacios muy reducidos. Algunas especies son capaces de perforar sustratos calcáreos (Barnes 1977), por lo que pueden encontrarse en fondos suaves como las arenas, siempre y cuando exista sustrato para su fijación, por ejemplo conchas de moluscos, materia vegetal de algas y pastos marinos que son abundantes en la Península de Yucatán.

Las regiones VI y VII, a pesar de no contar con zonas rocosas que favorezcan la abundancia de estos organismos, si cuentan con abundantes aportes de carbonato de calcio para la construcción de su esqueleto, normalmente constituido por calcita, aragonita o una mezcla de ambas (Montijo *et al.* 2004).

Se encontraron fragmentos de briozoarios en la región II, los cuales se pueden relacionar con la presencia que la abundancia de sustrato como las de las lagunas costeras de Tamaulipas y Veracruz y en la región III en la parte central de Veracruz (Fig. 15), ya conchas y las algas permite que estos organismos se puedan fijar. Por otro lado, los afloramientos de calizas en la región II, cercanos a la costa (Padilla y Aceves-Quesada 1990 y Ortega *et al.* 1992) son una fuente de material para la formación del esqueleto de estos organismos.

Las demás regiones (I y IV) carecen de restos identificables de estos organismos, debido al que en su mayoría se trata de arenas finas que no permiten el asentamiento de estos organismos a un sustrato duro y el déficit de material carbonatado para la formación de su estructura calcárea.

Corales

La abundancia de restos de corales es en orden decreciente: VII>VI>III>II (Tabla 3 y Fig. 16). En tres de las siete regiones (I, IV y V) no se detectaron fragmentos de coral debido al gran aporte de terrígenos procedente de la gran descarga fluvial y a la alta precipitación, limitando así el desarrollo de los arrecifes coralinos que requieren de aguas con salinidad estable y de un bajo índice de turbidez.

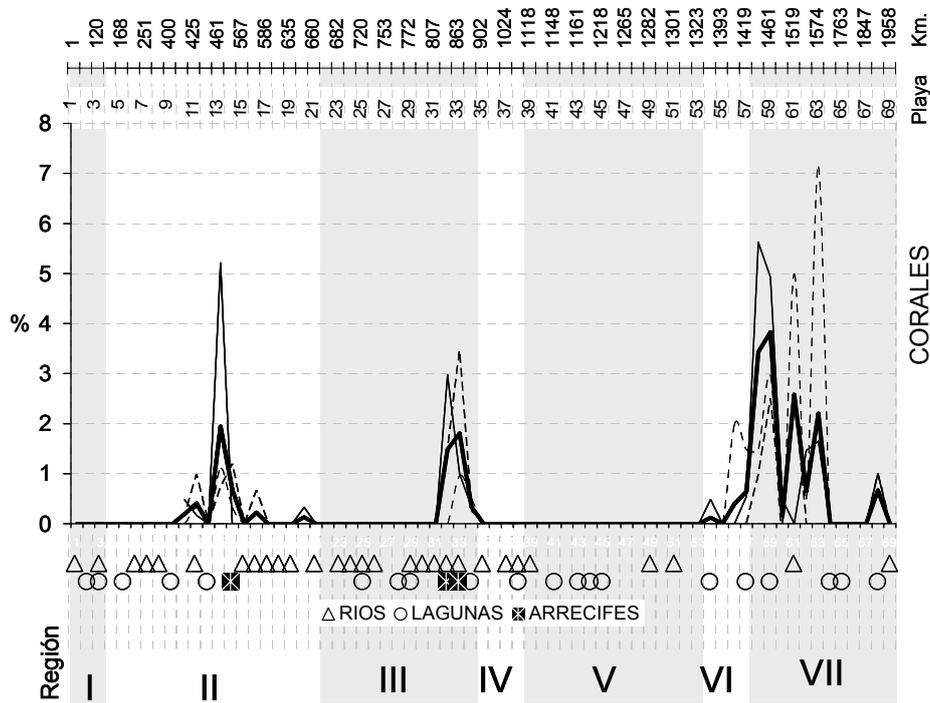


Figura 16. Porcentajes de fragmentos de corales en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Tanto en la zona II y III se presentan formaciones coralinas cercanas a la costa, los arrecifes en la parte norte de Veracruz y del Sistema Arrecifal Veracruzano en la parte central del estado. Algunos los sedimentos de dichas formaciones podrían ser arrastrados a las playas por la marea o por las corrientes litorales.

En el caso de las regiones VI y VII, los arrecifes de coral se encuentran mas alejados de la costa que en las regiones II y III. Sin embargo, dichas formaciones son más abundantes que en la región III, además se podrían estar movilizando materiales carbonatados a las playas de Yucatán y Campeche gracias a las corrientes litorales (Logan 1969) y/o a procesos de alta energía ocasionados por tormentas o huracanes, que son muy frecuentes en la región.

Las zonas antes mencionadas son favorables para el desarrollo de corales hermatípicos (corales formadores de arrecifes) ya que estos organismos se desarrollan en ecosistemas someros submareales caracterizados por el componente geológico de depositación de carbonato de calcio y saturación elevada de aragonita. Se desarrollan en aguas con temperaturas mayores que 18 °C, con iluminación elevada, salinidad estable y concentración baja de nutrientes disueltos (Escobar-Briones 2004), debido a que la penetración de la luz es un factor primordial por encontrarse en simbiosis con algas fotosintéticas (zooxantelas). Estos corales pétreos pertenecen a la clase Anthozoa y producen un esqueleto de carbonato de calcio que se ve favorecido por la presencia de dichas algas simbiontes (Barnes 1977, Gardiner 1978, Montijo *et al.* 2004).

Las regiones I, IV y V presentan abundantes descargas fluviales (Maderey-Rascón y Torres-Ruata 1990), lo cual propicia condiciones desfavorables para el desarrollo de los corales que prefieren aguas claras. Además de verse favorecidos por las zooxantelas, los corales también se alimentan por suspensión y actúan como rapaces durante la noche lo que

además facilita el depósito del esqueleto del coral (Barnes 1977, Brusca y Brusca 2003). Es por ello que se presenta una correlación negativa entre fragmentos de coral y sedimentos terrígenos (Tabla 4). Por esta razón, la presencia de estos organismos, y por lo tanto de sus restos en los sedimentos carbonatados, estaría determinada por la ausencia de ríos, la transparencia de sus aguas y los carbonatos y el calcio disponible en el medio.

Equinodermos

Una de las características fundamentales de los equinodermos es su simetría radial pentámera, la presencia de un esqueleto interno compuesto de osículos calcáreos y las proyecciones o espinas de su esqueleto. Una gran variedad de equinodermos están adaptados a sustratos duros, pero también existen especies especializadas para la vida en arena o lodo (Barnes 1977, Brusca y Brusca 2003). Tal vez por ello, el porcentaje promedio en las arenas de playas del Golfo de México es menor al 1%, presentándose su abundancia como sigue: VII>VI>II>III>V (Tabla 3 y Fig. 17). Solís Marín *et al.* (1993) mencionan que la fauna de asteroideos y equinoideos es relativamente pobre en los litorales, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

El patrón de distribución de estos organismos es muy parecido a los anteriores, debido a que las sales de calcio son obtenidas por el animal del agua circundante (Gardiner 1978), su presencia es más frecuente en las regiones VII y VI (Fig. 17) que son ricas en sedimentos carbonatados. Le siguen en abundancia de restos de equinodermos las regiones II y III, que además de presentar concentraciones intermedias de carbonatos, cuentan con sistemas lagunares que favorecen la abundancia de nutrientes y de organismos como moluscos, crustáceos, esponjas y peces, de los cuales se alimentan organismos carnívoros y carroñeros como los asteroideos (estrellas de mar) pertenecientes a este filo (Brusca y Brusca 2003). A lo cual podría atribuirse la correlación positiva entre equinodermos y

moluscos que se observa en la Tabla 4. Esto indica que a mayor número de fragmentos de molusco hay una mayor presencia de fragmentos de equinodermos.

La alimentación por suspensión de plancton, detritus o lodos también es frecuente en este filo, como es el caso de los crinoideos (abanicos de mar) y los holoturoideos (pepinos de mar). Los ofiuroideos (arañas de mar) también se alimentan del detritus del fondo y los equinoideos (erizos) presentan varios tipos de herbivoría, además de ser capaces de consumir todo tipo de materia orgánica (Barnes 1977 y Brusca y Brusca 2003). La correlación positiva con algas podría relacionarse con la alimentación herbívora y la alimentación por suspensión con la presencia de fragmentos de foraminíferos y ostrácodos.

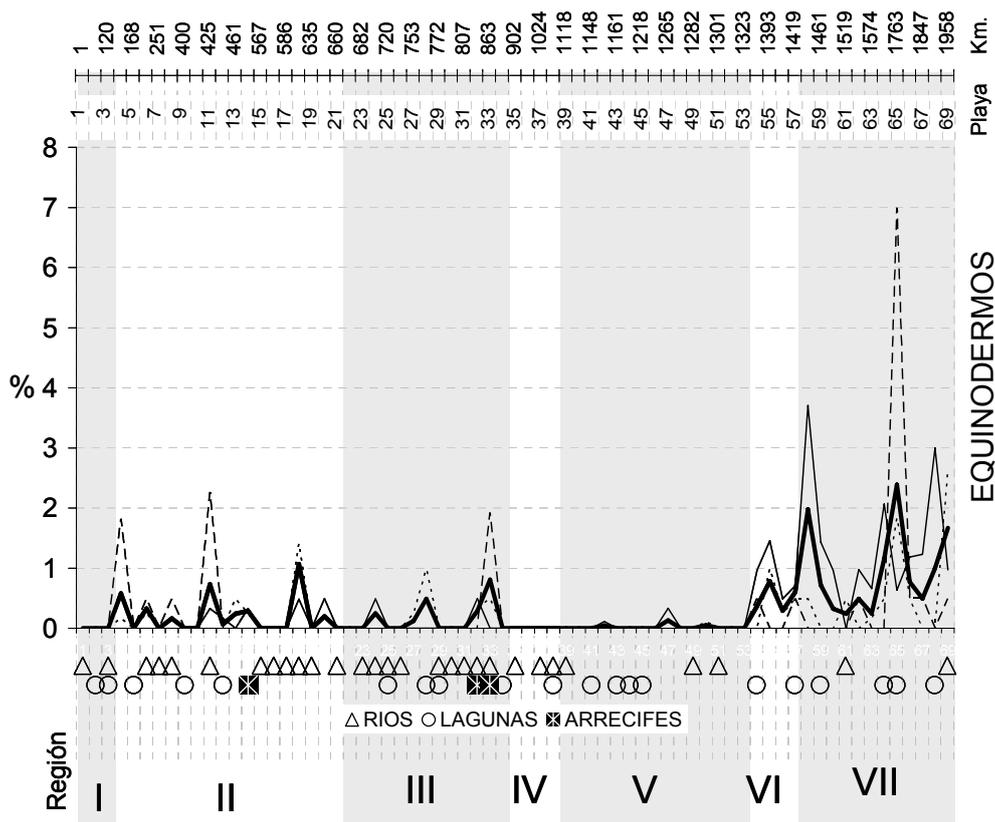


Figura 17. Porcentajes de fragmentos de equinodermos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Los equinodermos están compuestos por cientos o miles de placas individuales de calcita que son dispersadas a la muerte del animal. Cada placa se comporta ópticamente como un cristal individual de calcita (Montijo 2004), dichas placas son más difíciles de identificar conforme disminuye el tamaño de grano del sedimento, tal vez por ello en las regiones con arenas más finas no fueron perceptibles dichos fragmentos.

Ostrácodos

Los ostrácodos son crustáceos de la clase maxilopoda con caparazón bivalvo muy variable en ornamentación y forma (Brusca y Brusca 2003). Este caparazón está impregnado de carbonato de calcio (Ville 1974), por lo que esta subclase tienen los representantes fósiles mejor conservados de los crustáceos (Brusca y Brusca 2003); sin embargo, este caparazón es muy frágil lo que dificulta su preservación e identificación en las arenas de playas, debido a lo cual se presentan porcentajes traza de estos granos y solo se les encontró en dos regiones del Golfo de México, entre ellas la región VII ($0.22\% \pm 0.36$) (tabla 3 y figura 18), probablemente gracias a la abundancia de carbonatos en el medio.

Los ostrácodos son abundantes en casi todos los ambientes acuáticos; algunos son comensales de equinodermos y otros crustáceos (Brusca y Brusca, 2003). Esto podría explicar la correlación positiva que se encontró entre ostrácodos y equinodermos (Tabla 4). Algunos ostrácodos han colonizado zonas supralitorales de arena. Tal vez los restos de ostrácodos observados en los sedimentos por medio del microscopio estereoscópico pertenezcan a este grupo, lo cual favorecería su preservación en los sedimentos ya que no estarían expuestos al intemperismo físico del oleaje. La mayoría de los ostrácodos marinos son bentónicos pero también incluyen ostrácodos planctónicos. Su alimentación incluye

carroñeros, detritívoros, depredadores y alimentación por suspensión (Brusca y Brusca 2003).

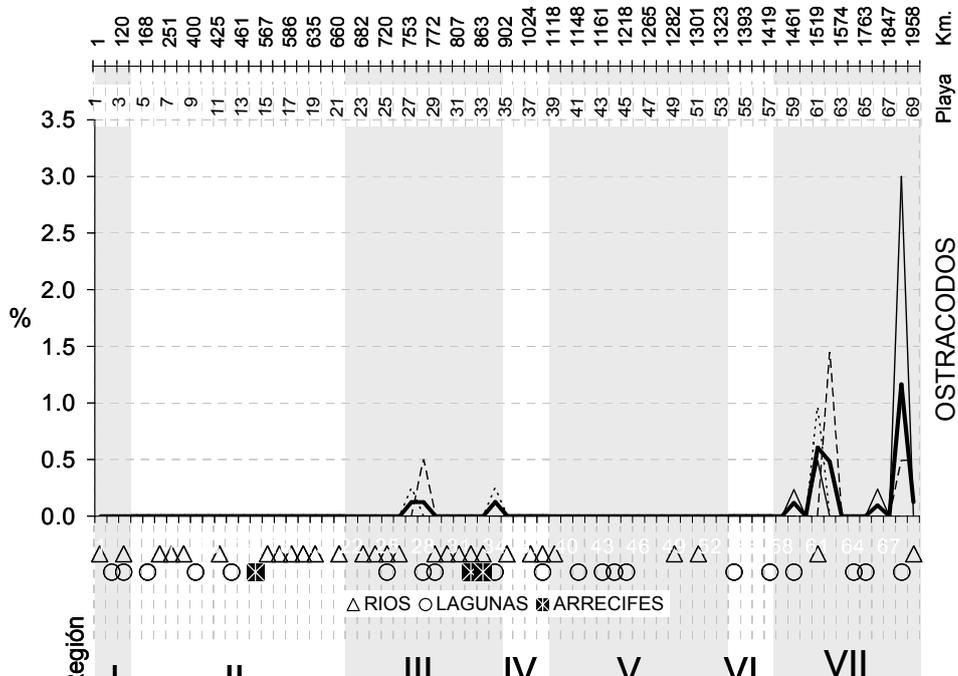


Figura 18. Porcentajes de fragmentos de ostrácodos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Lo anterior podría favorecer la presencia de estos organismos en la región III ($0.03\% \pm 0.05$) (Fig. 18), donde la materia orgánica es abundante. Esta relación entre ostrácodos y materia orgánica se ha sugerido anteriormente por Machain-Castillo y Gio-Argáez (2004).

Esponjas

Los fragmentos de esponjas en las arenas se presentaron en porcentajes mínimos, solamente se les detectó en las regiones II y VII. En la región II se identificó un promedio de $0.13\% (\pm 0.28)$ fragmentos de esponjas y $0.01\% (\pm 0.05)$ en la región VII (Tabla 3, Fig. 19).

Las esponjas que secretan esqueleto calcáreo son las escleroesponjas. La red esquelética de las esponjas es más irregular y posee elementos estructurales más pequeños

y menos continuos que corales y briozoarios (Montijo 2004), además solo una minoría de esponjas vive sobre arenas ya que la mayoría prefieren hábitats con sustrato duro donde anclarse, tales como grietas y oquedades en zonas rocosas y arrecifales (Gardiner 1978, Barnes 2004), a lo cual puede atribuirse la escasa presencia y preservación de estos organismos en los sedimentos arenosos; además, las arenas de playa están sujetas a un alto grado de intemperismo físico y químico, disminuyendo así la preservación de los restos de esponjas.

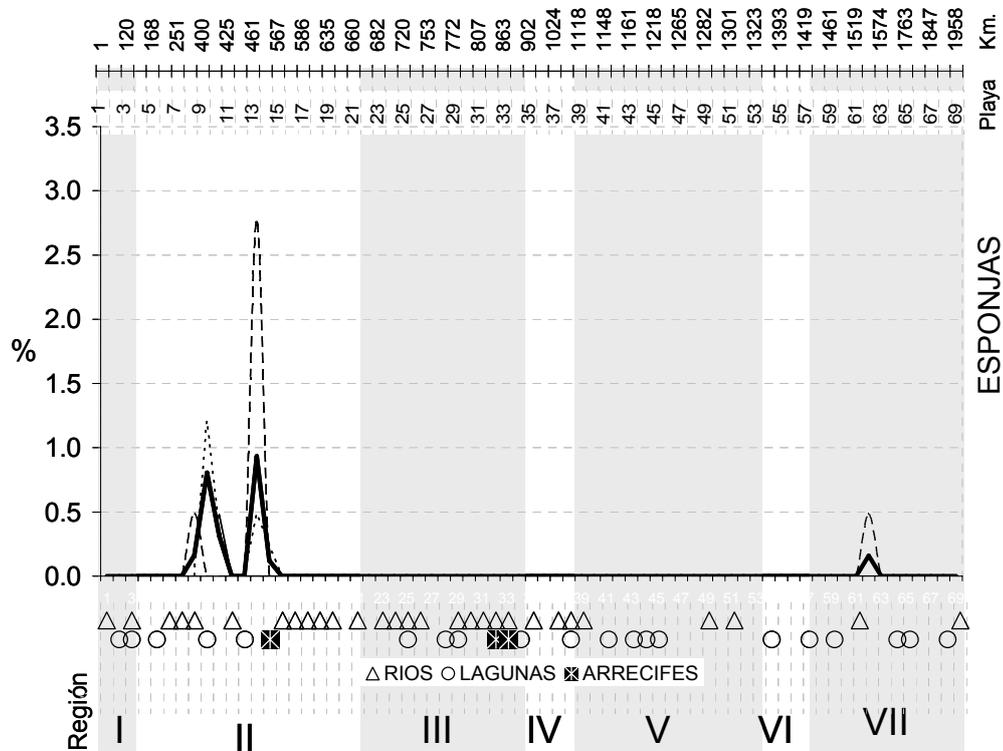


Figura 19. Porcentajes de fragmentos de esponjas en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Las esponjas se alimentan de partículas muy finas y su dieta consiste de bacterias, dinoflagelados y plancton fino (Gardiner 1978, Barnes 2004). Además las esponjas también son capaces de tomar cantidades significativas de materia orgánica disuelta, por lo cual es posible que sea frecuente encontrar sus restos en zonas cercanas a lagunas costeras con

altos índices de materia orgánica y florecimientos de pastos y algas en los cuales puedan anclarse a falta de un sustrato firme.

Las esponjas son muy sensibles a los sedimentos suspendidos (Brusca y Brusca 2003), por lo que se puede atribuir la carencia de restos de estos organismos en las regiones con influencia de afluentes deltáicos, por ejemplo el afluente del Río Bravo y la zona del Grijalva-Usumacinta (Figs. 4 y 19).

La abundancia de restos biógenos está relacionada con el tamaño del sedimento: mientras más pequeña es la partícula, menor es la probabilidad de encontrar sedimentos biogénicos. Las arenas finas son evidencia de un largo transporte de sedimentos desde el área fuente hasta la costa, lo que dificulta la llegada de los carbonatos al mar debido a la baja dureza de los detritos calcáreos. Mientras menor es el tamaño de grano más se dificulta identificar el filo al que pertenecen los fragmentos biógenos. La disponibilidad de carbonato de calcio para la formación de las testas de los organismos, así como la distribución de los afluentes de agua dulce a la costa, son factores de gran importancia para la presencia de sedimentos biogénicos.

Abundancia de carbonatos e influencia del área fuente en la composición biogénica de los sedimentos litorales.

Las arenas de playa usualmente reflejan aportes continentales, estos sedimentos frecuentemente se derivan de materiales intemperizados que son transportados desde las partes altas de las cuencas de drenaje hacia las parte bajas de las costas (Komar 1976, Carranza-Edwards y Rosales-Hoz 1995). La litología de la cuenca de drenaje puede ser determinante para el desarrollo de los sistemas costeros y para el asentamiento de los diversos organismos.

La abundancia de sedimentos de origen biogénico guarda una relación importante con la abundancia de sedimentos carbonatados y la ausencia de sistemas fluviales. Davis (1985) ha atribuido a estos sistemas las diferencias en composición entre las arenas silíceas y las calcáreas.

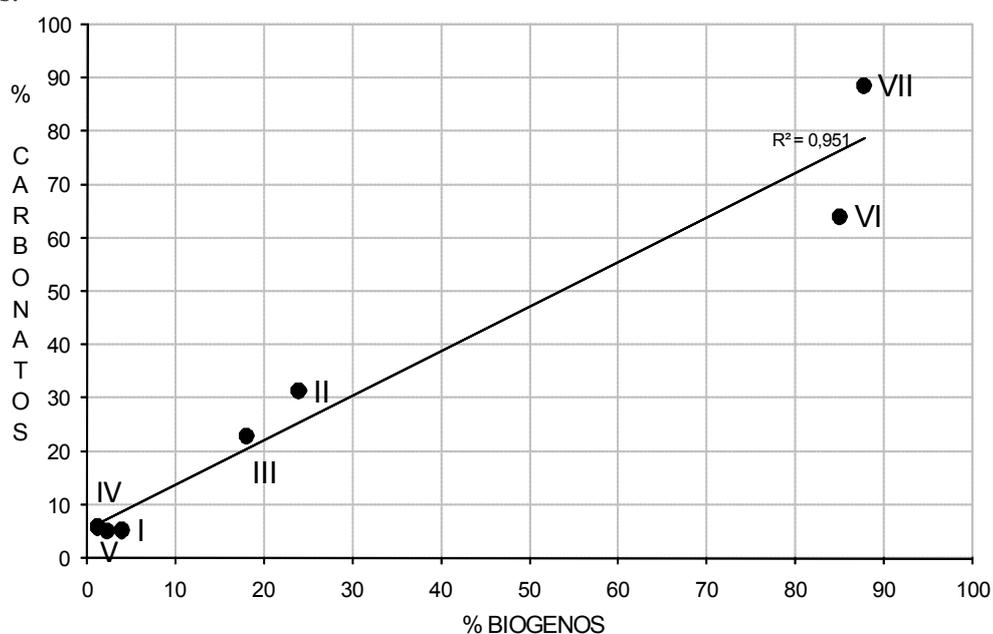


Figura 20. Relación entre el porcentaje de fragmentos biogénicos totales y de carbonatos totales en las arenas de playa de las siete regiones del Golfo de

La concentración de carbonatos fue uno de los principales agentes en base a cuales se logro establecer las siete regiones para las playas del Golfo de México de las que se hace mención en el presente estudio (Figs. 20 y 21).

En trabajos anteriores, Carranza-Edwards *et al.* (1975) definieron cuatro unidades morfotectónicas en las costas del Golfo de México tomando en cuenta la consideración genética de Shepard (1967), así como la clasificación tectónica y morfológica de Inman y Nordstrom (1971), su clasificación también fue compatible con las regiones geomórficas delimitadas por Tamayo (1974).

Para delimitar las siete regiones en esta tesis se tomó como base el estudio de Carranza-Edwards antes mencionado, así como las cuencas hidrológicas que drenan hacia

la costa del Golfo (Maderey-Rascón y Torres-Ruata 1990), la litología de la región (Marín-Córdoba 1990, Padilla y Aceves-Quesada 1990), la precipitación (Vidal-Zepeda 1989), el clima (García 1989) y los datos obtenidos de carbonatos y de porcentajes de restos biogénicos en este estudio.

El porcentaje de carbonatos presentó una correlación negativa con el tamaño de grano y positiva con la clasificación y con los sedimentos de origen biogénico (Tabla 4). La correlación negativa con el tamaño de grano indica que entre más finas son las arenas, la concentración de carbonatos fue menor, un ejemplo de esto se describe a continuación para dos regiones en particular.

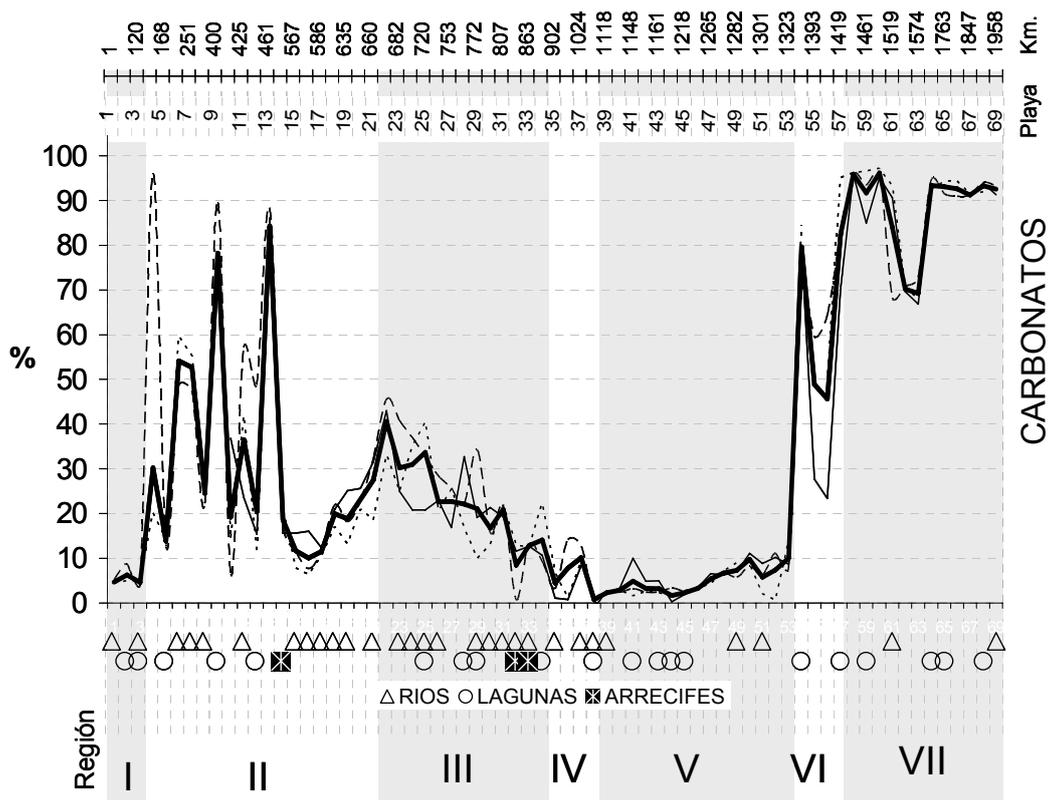


Figura 21. Porcentajes de carbonatos en las arenas de playas en el Golfo de México. Promedio - Infraplaya - Mesoplaya - Supraplaya.

Las regiones I y V se encuentran influenciadas por dos sistemas fluviales: el Río Bravo y el Sistema Grijalva-Usumacinta, respectivamente (Fig. 3). Es en estas regiones en las cuales se presentan las menores concentraciones de carbonatos para las arenas de playas del Golfo de México (Tabla 3, Fig. 18). Estas regiones se encuentran asociadas con arenas finas bien clasificadas (Tabla 3 y Fig. 5) predominantemente de origen terrígeno que se depositan en la costa por los deltas de los ríos, este material diluye las concentraciones de carbonatos (Carranza-Edwards *et al.* 1993) y se encuentran valores bajos en las arenas de playa lo cual ha mencionado con anterioridad por Carranza-Edwards (1996).

La región I, del norte del Estado de Tamaulipas, comprende tres playas dentro de la zona de influencia de la cuenca del Río Bravo, se encuentra asociada con una planicie costera amplia, la cual no sobrepasa los 200 msnm. Posee un clima predominante cálido subhúmedo (García 1989) con época de lluvias y secas bien definida. La precipitación media anual es de 600 a 800 mm (Vidal-Zepeda 1989) y tiene un escurrimiento de 10 mm (Jiménez-Román y Maderey-Rascón 1992). Esto favorece la presencia de sedimentos finos predominantemente terrígenos que son arrastrados del continente, y por ello en esta región hay escasos sedimentos carbonatados.

En las porciones altas de la cuenca afloran rocas del Terciario (Plioceno), mientras que en la llanura costera hay aluvión del Cuaternario. Es una región formada de terrazas marinas por depositación aluvial y lacustre compuesta por gravas, arenas y limos (Marín-Córdoba 1990, Padilla y Aceves-Quesada 1990). Hacia el sur, el Río San Fernando transporta sedimentos a la Laguna Madre, principalmente material del Terciario marino compuesto por lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados (Marín-Córdoba 1990). La mayoría del material de esta cuenca es de origen terrígeno, por lo que no se presentan aportes de sedimentos calcáreos en la costa; de haberlos el largo transporte que sufre el

material, no permitiría la preservación de los sedimentos carbonatados en los detritos litorales.

Los valores más bajos de carbonatos en el Golfo de México se presentaron en la región adyacente al sistema Grijalva-Usumacinta (región V), lo cual concuerda con lo reportado por Carranza-Edwards *et al.* (1993), la gran carga de sedimentos que arriba a las playas de Tabasco proceden de los Ríos Grijalva, Usumacinta y Tonalá, produciendo, además de la disminución de carbonatos, un alto grado de turbidez en las aguas costeras, lo cual no favorece el asentamiento de organismos bentónicos y por lo tanto la abundancia de restos biogénicos sería mínima y no contribuiría a la formación de sedimentos biogénicos carbonatados.

En esta región esta presente además, el Sistema de Pantanos de Centla-Delta Grijalva-Usumacinta en Tabasco y comprende los principales sistemas deltáicos y estuarinos de la costa del Golfo. De acuerdo con Yáñez-Arancibia *et al.* (2004) la formación de planicies deltáicas y llanuras de inundación son características de una sedimentación terrígena activa.

Dos cuencas hidrográficas drenan hacia las costas de Tabasco: la del Río Tonalá y la del Río Grijalva-Usumacinta; ésta última es una de las cuencas más grandes de México con un clima calido húmedo y lluvias la mayor parte del año, con un escurrimiento medio anual de 1000 a 2000 mm (Maderrey-Rascón 1992), lo que explica la gran cantidad de sedimento terrígeno en las playas.

La litología se conforma en su mayor parte por aluvión del Cuaternario y areniscas del Terciario (Mioceno) representadas, al igual que en la región I, por terrazas marinas, gravas, arenas y limos de depósitos aluviales y lacustres (Marín-Córdoba 1990, Padilla y

Aceves-Quesada 1990), estos depósitos son transportados por el sistema fluvial Grijalva-Usumacinta hacia las costas de Tabasco.

Tierra adentro, hacia la Meseta de San Cristóbal y las montañas del Norte de Chiapas, predominan las lutitas, limolitas, areniscas y conglomerados. Es de resaltar que existen algunos afloramientos de rocas sedimentarias marinas del Cretácico Medio e Inferior y del Terciario, predominantemente calcáreas y algunas areniscas (Marín-Córdoba 1990, Padilla y Aceves-Quesada 1990). El material procedente de rocas carbonatadas también pueden ser transportado por el Río Grijalva, pero los sedimentos se intemperizan antes de depositarse en la costa debido la distancia y la dureza del material, por lo que los carbonatos no contribuyen en la fracción detrítica, sino en la carga disuelta, la cual influirá en la composición carbonatada de sedimentos de plataforma. Esto puede explicar la presencia de lutitas carbonatadas y margas, presente en gran parte del Golfo de México (Carranza-Edwards y Aguayo-Camargo 1992).

Sobre la Meseta de San Cristóbal y las montañas del Norte del Estado de Chiapas se presenta material volcánico intrusivo (lavas, brechas y tobas) del Cretácico y del Terciario, así como rocas: graníticas, granodioritas, doleritas, basaltos y andesitas (Lugo-Hupb *et al.* 1989, Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990). Estas rocas son resistentes, lo que permite que los fragmentos de roca, como producto de su intemperismo, sean transportados por el Río Grijalva y por ello se pueden depositar en la costa junto con minerales pesados.

La región IV corresponde con la zona volcánica del Cuaternario conocida como el Macizo de Los Tuxtlas. Aunque los ríos de esta región son más pequeños que los ríos de la región I la precipitación pluvial es más alta en esta área (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1992),

con 1200 mm en las partes bajas hasta más de 4000 mm en las partes altas (Vidal-Zepeda 1989).

En la región IV, la zona costera es mas estrecha que en la región I y las formaciones geológicas que afloran en las tierras altas del Macizo Volcánico de Los Tuxtlas son principalmente del Cuaternario (Padilla y Aceves-Quesada 1992).

Esta planicie costera presenta una litología constituida esencialmente por basalto alcalino y andesitas volcánicas del Cenozoico Superior y del Cuaternario, correspondientes al Macizo ígneo de Palma Sola y de los Tuxtlas (Ortega *et al.* 1992, Carranza-Edwards *et al.* 1993). Las arenas que están asociadas con fuentes volcánicas son ricas en fragmentos de roca y cuarzo (Carranza-Edwards *et al.* 1993). Por ello los contenidos de carbonato de las arenas son bajos (Tabla 3), con un promedio de 5.82 % (± 4.06).

Por lo anterior, esta región se caracteriza por ser una zona muy rica en sedimentos terrígenos debido a la alta precipitación pluvial y al clima predominante en la selva lluviosa tropical característica de esta cuenca. El clima es cálido húmedo en las zona costera y subhúmedo en las zonas altas (García 1989).

En esta región se encuentran también sedimentos correspondientes al Terciario marino y al Cuaternario con terrazas marinas formadas por gravas, arenas, limos y conglomerados, en su mayor parte constituidos por depósitos aluviales y lacustres que pueden ser arrastrados hacia el este de los Tuxtlas por el Río Papalopan y al Oeste por el Río Coatzacoalcos (Marín-Córdoba 1991 y Padilla y Aceves-Quesada 1992). El escurrimiento medio anual es diez veces mayor que en la región I, entre 1000 y 2000 mm (Jiménez-Román y Maderey-Rascon 1992), lo que puede explicar el flujo excesivo de sedimentos que dan como consecuencia valores bajos de carbonatos.

En las regiones II y III se hace notoria la presencia de concentraciones de carbonatos relativamente altas, con un promedio de 31.65% (\pm 22.29) y 22.86% (\pm 9.05) respectivamente. La abundancia de carbonatos esta relacionada con la presencia de biógenos, los cuales se atribuyen a la cercanía de lagunas costeras, la influencia de afloramientos de calizas próximos a la costa y a las formaciones arrecifales de la región III.

La región II, está delimitada al sur por la Faja Volcánica Transmexicana y al norte con la zona de influencia terrígena del Río Bravo. Es una región que se caracteriza por la mezcla de material terrígeno con sedimentos carbonatados, en estas playas se presentan arenas con un contenido de más de 70% de carbonatos (Fig. 20) que corresponden con las Playas La Barra, Ver. y Altamira, Tamps., estos datos así como el promedio de carbonatos para la región, concuerdan con las concentraciones de carbonatos reportadas por Carranza-Edwards *et al.*, (1996).

Las playas con altas concentraciones de carbonatos se encuentran cercanas a los afloramientos del miogeoclinal del Golfo de México, en la sierra de Tamaulipas; en ella se presentan afloramientos del Cretácico Medio e Inferior, constituidos por rocas sedimentarias marinas predominantemente calcáreas (Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990). Estos depósitos podrían ser transportados a la costa tamaulipeca por sistemas fluviales como el del Río San Fernando que drena hacia la Laguna Madre y el Río Soto la Marina, el Carrizal, el Tigre, el Guayalejo y el Pánuco (Maderrey-Rascón y Torres-Ruata 1990).

En la parte central de esta región se encuentran afloramientos de rocas sedimentarias marinas del cretácico superior como lutitas, limonitas y calizas arcillosas (Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990). Los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla podrían llevar detritos calcáreos de estos afloramientos hacia las costas más al sur, dentro del litoral

veracruzano, lo cual ha favorecido el desarrollo de los arrecifes bordeantes y de plataforma. Por otro lado, los mismos restos arrecifales contribuirán con sedimentos biogénicos en las arenas de playa y por lo mismo con altas concentración de carbonatos en las mismas.

Es de resaltar que en la región del sur de Tamaulipas y el norte de Veracruz (región II), también se encuentran presentes importantes sistemas lagunares como Laguna Madre y Tamiahua que dada su productividad favorecen el asentamiento de organismos bentónicos, que contribuyen con sus esqueletos carbonatados a la formación de sedimentos calcáreos en los litorales. De acuerdo con Komar (1976) los fragmentos de moluscos aumentan por la presencia de lagunas costeras en el área, ya que éstos son abundantes en playas donde la productividad biológica es alta y el intemperismo químico es intenso.

El contenido de carbonato ($31.35\% \pm 22.29$) en las arenas de playa de esta región esta relacionado con su tamaño (desde arenas medias a muy gruesas), lo cual ayuda a explicar el porque de la correlación positiva (Tabla 4) de sedimentos biógenos y carbonatos con una clasificación granulométrica pobre.

La mayoría de los granos de carbonato observados, están constituidos principalmente por moluscos (pelecípodos y gasterópodos) de relativamente gran tamaño (Figs. 10 y 11) como ya se menciona en la descripción de los restos biogénicos.

Las playas del centro y sur de Tamaulipas y norte de Veracruz están asociadas con un planicie costera que presenta lagunas costeras donde la energía del oleaje y la corriente son mínimas, por lo cual los sedimentos no sufren un gran transporte ni desgaste y su tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$) es menor que en la región I (Tabla 3, Fig. 5), pudiéndose encontrar así arenas muy gruesas en esta región que corresponden con los restos de organismos y con precipitados químicos (beach rocks) de carbonatos (Figs. 5 y 6).

La presencia de los sedimentos autigénicos se ve favorecida por los aportes de carbonatos procedentes de la Sierra Madre e influenciados por el clima árido que prevalece en las lagunas lo cual favorecen el intemperismo y la precipitación química del carbonato.

Como mencionamos anteriormente las arenas de esta región presentan alternancias entre sedimentos con predominancia biógena y terrígena, debido a que también los sedimentos terrígenos son abundantes en la costa. En las playas de la parte central del Estado de Tamaulipas y el Norte de Veracruz predominan sedimentos del Cuaternario formados por terrazas marinas con abundantes gravas, arenas y limos, derivados de depósitos aluviales y lacustres. En la parte central de esta región se encuentran afloramientos volcánicos del Cenozoico Superior cercanos a la costa, estas rocas como lavas, brechas y tobas están constituidas principalmente por basalto y andesita, así como algunos granitos y granodioritas (Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990).

Los sedimentos de estos afloramientos podrían llegar a las playas transportados por los Ríos Soto la Marina, Carrizal, Tigre, Panuco y Moctezuma en Tamaulipas y el Tuxpan, Cazones y Tecolutla en Veracruz (Maderey-Rascón y Torres-Ruata 1990) aportando una gran cantidad de arenas terrígenas en su mayoría finas y bien clasificadas (Fig. 5).

Las arenas finas se ven favorecidas por el clima y la precipitación hacia el Estado de Veracruz, en esta zona predomina el clima calido subhúmedo en contraste con el clima semiárido de la región norte (García 1989). La precipitación y los escurrimientos también son mayores en esta zona (1500 mm de precipitación pluvial y 2000 mm de escurrimiento) que en Tamaulipas (800 mm de precipitación y 100 mm de escurrimiento) (Vidal-Zepeda 1989 y Jiménez-Román y Maderey-Rascón 1992).

La región III corresponde con la región central de Veracruz. Los sedimentos terrígenos son mas abundantes que en la región II debido a que en ella se encuentran los

afloramientos de la Faja Volcánica Transmexicana (Gómez-Tuena *et al.* 2005). Al norte y sur de este sistema se presentan además sedimentos del Cuaternario, como terrazas marinas con gravas, arenas y limos formados por depósitos aluviales y lacustres que contribuyen a la presencia de sedimentos de origen continental.

En la parte central de esta región afloran rocas volcánicas del cenozoico superior principalmente basálticas y andesíticas (Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990). Estos sedimentos son transportados hacia el norte de esta región por los Ríos Nautla, Misantla, Colipa, Juchique, y hacia el sur de la misma por el Río Actopan, Antigua y Jamapa. Este último acarrea a la costa además areniscas y conglomerados del Terciario continental que incrementan el aporte de material terrígeno en la zona costera. Su influencia es notoria al observar la distribución del Sistema Arrecifal Veracruzano, ya que el delta de este río separa los arrecifes en dos regiones debido a la carga de sedimentos que incrementan la turbidez del agua y no permite el desarrollo de corales hermatípicos.

En su recorrido hacia el mar, este río atraviesa los afloramientos de calizas y areniscas de origen marino, del Cretácico. Estos sedimentos calcáreos podrían alcanzar la zona costera hasta las cercanías del Puerto de Veracruz y el poblado de Antón Lizardo, lo que podría influir en el desarrollo del propio Sistema Arrecifal Veracruzano.

En esta costa se presentan tanto arrecifes bordeantes como de plataforma, cuyos restos biogénicos (moluscos, algas, corales y equinodermos) se lograron identificar entre los sedimentos de las arenas de playa (Tabla 3) y contribuyen de manera importante en la concentración de carbonatos en las arenas de playa de esta región (Figura 20 y 21).

Al igual que los sedimentos del Cretácico, existen afloramientos del Jurásico constituidos por lutitas, limolitas, areniscas y calizas limoarcillosas, que también podrían llegar a la parte norte de esta región transportados por los Ríos Nautla y Misantla. Esto

también puede contribuir en los altos porcentajes de carbonatos (hasta de un 40%) en las playas cercanas a la desembocadura de estos ríos.

Hacia el sur, la influencia de los afloramientos calcáreos es cada vez menor, dominando los sedimentos terrígenos del cinturón volcánico y de las terrazas aluviales (Marín-Córdoba 1990 y Padilla y Aceves-Quesada 1990). Estos sedimentos abundan en la zona costera debido al clima cálido subhúmedo tropical (García 1989) que favorece la precipitación pluvial y los escurrimientos.

La concentración de carbonatos disminuye gradualmente desde un 40% en el norte de la región III hasta menos del 15% en la parte sur de esta misma región. En el norte, la precipitación pluvial al igual que los escurrimientos son relativamente menores que en el sur, lo que podría favorecer la presencia de carbonatos procedentes de los afloramientos del Cretácico.

La parte central del Estado de Veracruz corresponde con la región IV definida por Ortega *et al.* (1992) (Fig. 3). Las playas que se encuentran en el área presentan una gran cantidad de sedimentos terrígenos procedentes en su mayoría de los afloramientos de la Faja Volcánica Transmexicana con sedimentos volcánicos del Cenozoico. Los sedimentos presentes en el litoral se caracterizan por la abundancia de sedimentos clásticos de origen ígneo, además de sedimentos derivados de las zonas urbanas y agroindustriales que se encuentran dentro de las cuencas de drenaje. Estos materiales están presentes en el litoral gracias a la influencia de numerosos ríos como el Nautla, Misantla, Colipa, Juchique, Actopan y Antigua, que además aportan nutrientes a los estuarios y lagunas costeras. Esto favorece el establecimiento de comunidades bénticas cuyos restos carbonatados se encuentran mezclados con los sedimentos de origen volcánico en las playas de la porción central del Estado de Veracruz (Fig. 3).

La región VI representa una zona de transición entre la provincia carbonatada de la Plataforma Yucateca y la zona de influencia de sedimentos terrígenos del Sistema Fluvial Grijalva-Usumacinta. El porcentaje promedio de carbonatos en esta región fue de 64.09% (± 19.53).

Esta provincia corresponde a una amplia zona de transición alrededor de la Laguna de Términos (Machain-Castillo y Gío-Argáez 2004), que es variable estacionalmente debido a las descargas de los Ríos Candelaria, Chumpan, Palizada y del Sistema Grijalva-Usumacinta. En el Oeste de la Laguna de Términos se encuentran los valores más bajos de carbonatos de la región. La predominancia de sedimento terrígeno puede atribuirse a las terrazas marinas, gravas, arenas y limos, depósitos aluviales y lacustres del Terciario Mioceno y del Cuaternario (Marín-Córdoba 1990, Padilla y Aceves-Quesada 1990), estos sedimentos pueden ser transportados a la laguna por los efluentes de los Ríos Chumpan, Palizada y Usumacinta.

Al Este de la Laguna de Términos, el Río Candelaria puede transportar al medio acuático material del Cretácico Medio e Inferior y Terciario correspondientes a la Península de Yucatán constituidos por rocas sedimentarias marinas, predominantemente calizas y areniscas (Marín-Córdoba 1990, Padilla y Aceves-Quesada 1990), por lo cual se incrementan los valores de carbonatos en las arenas de playas en esta zona de la Laguna de Términos (Figs. 3 y 20).

Esta región es una de las que presentan las clasificaciones más pobres (altos valores de ϕ) ya que en esta zona convergen los sedimentos finos de la provincia terrígena de Tabasco y las arenas gruesas de la provincia carbonatada de Yucatán.

La tabla de correlación (Tabla 4) indica que hay una correlación positiva entre la clasificación y los sedimentos carbonatados, que puede atribuirse a la presencia de sedimentos de origen biogénico, que se ven favorecidos por los aportes de carbonato tanto del Río Candelaria como de la misma Península de Yucatán.

El clima en la región es cálido húmedo en la zona oeste de la laguna y subhúmedo al este de la misma (García 1989), la precipitación (2000 mm en el oeste y 1500 mm en el este) (Vidal-Zepeda 1989) y los escurrimientos disminuyen hacia el oeste en la zona de los afloramientos de calizas de 1000 mm a 500 mm (Jiménez-Román y Maderey-Rascón 1992). Por lo tanto, la disminución en el aporte de sedimentos terrígenos favorece la presencia de sedimentos carbonatados y por lo tanto al desarrollo de la comunidad béntica capaz de precipitar carbonato para la construcción de su concha. Estos organismos contribuyen de manera notable a la formación de sedimentos biogénicos y al porcentaje total de carbonatos en las arenas de playa.

Al comparar las figuras 6, 10 y 20 correspondientes a los porcentajes de restos biogénicos, restos de moluscos y de carbonatos, se observa que la concentración de carbonatos totales en los sedimentos litorales de esta región, así como los del Litoral Este de Campeche y de Yucatán, están constituidos en su mayoría por restos biogénicos principalmente restos de moluscos.

La región VII (Campeche Oriental y Yucatán) es la que tiene la mayor concentración de carbonatos ($87.73\% \pm 7.91$) y el mayor porcentaje de restos biogénicos, razón por la cual estos dos parámetros presentan una correlación positiva en el análisis de correlación (Tabla 4). Carranza-Edwards (1996) reporta para esta región valores altos de carbonatos (87%), atribuyendo estos resultados a los residuos biogénicos como moluscos, lo cual concuerda con los valores de carbonatos encontrados en el presente estudio.

Esta última región pertenece a la plataforma de Yucatán, que es una plataforma predominantemente calcárea y caracterizada por la ausencia de ríos superficiales. En la costa predominan sedimentos del Cuaternario conformados por terrazas marinas, gravas, arenas y limos, depósitos aluviales y lacustres. Tierra adentro predominan rocas sedimentarias marinas del Terciario Superior, predominantemente calizas y areniscas. Estos sedimentos calcáreos favorecen el desarrollo de una gran variedad de organismos que utilizan el carbonato para el desarrollo de sus testas, estos organismos como se observa en las figuras 6 y 20, contribuyen en gran parte a los carbonatos totales de las arenas de las playas de Campeche y Yucatán.

El clima en la región varía desde cálido subhúmedo en el sur hasta clima árido y semiárido en el norte con lluvias en la época de nortes (García 1989), la influencia pluvial en la época de secas es poca o nula, disminuyendo de 1500 mm en el sur de la península a 125 mm en la parte norte (Vidal-Zepeda 1989).

Los escurrimientos hacia la costa son escasos, debido a la alta permeabilidad de la región, por lo tanto la turbidez, salinidad y el contenido de materia orgánica son mucho menores que en la región VI. Esto favorece el intemperismo químico y la precipitación química y biológica de carbonatos, ya que propicia la disponibilidad del carbonato de las rocas calcáreas hacia el medio, para ser asimilado y depositado por los organismos marinos. Además, la presencia de sedimentos de origen autigénico en esta región llega a ser abundante (hasta de un 40%) en la zona de supraplaya, donde el intemperismo y la precipitación química de carbonatos se relaciona con el clima árido que prevalece en la región Norte y Oeste de la Península de Yucatán.

Al igual que en la región II, el contenido tan alto de carbonatos presentó una correlación negativa (Tabla 4) con el tamaño de partícula, que corresponde a arenas

gruesas. La mala clasificación se debe a que las arenas gruesas o gravas corresponden a los restos de organismos principalmente moluscos y a los sedimentos autigénicos (*beach rocks*) que se encuentran mezclados con sedimentos carbonatados muy finos, producto del intemperismo de las rocas calcáreas de la península.

La litología del área fuente carbonatada tiene un efecto mayor sobre los sedimentos costeros cuando se encuentra cerca del ambiente de depósito, cuando la precipitación es alta y cuando los afluentes fluviales son abundantes.

En regiones con clima árido y/o poca precipitación se presentan las mayores concentraciones de carbonatos y por lo tanto la mayor cantidad de restos de organismos, siempre y cuando existan condiciones favorables para su desarrollo en la costa, tales como concentraciones adecuadas de nutrientes y de carbonatos, así como zonas donde la influencia de las corrientes no sea importante como sucede en las lagunas costeras y en costas protegidas por barras arenosas o frentes arrecifales.

CONCLUSIONES

Las playas del Golfo de México se pueden dividir en siete regiones principales, considerando la textura del sedimento, la abundancia de biógenos, la concentración de carbonatos y la influencia del área fuente en los sedimentos costeros.

Parámetros texturales y composición biogénica

Las playas con la mayor concentración de restos biógenos se encuentran en: el Litoral Poniente y Norte de la Península de Yucatán, desde la Playa de Sabancuy, Camp. hasta Playa La Punta, Yuc. (región VII), la Laguna de Términos, desde la Playa de Cd. del Carmen hasta Isla Aguada, Camp. (región VI) y la región que comprende desde la Playa Barra de Vaca, Tamps. hasta Riachuelos en Veracruz (región II). Por el contrario a partir de la Playa Bagdad hasta la playa Carrizal, Tamps. que comprenden el delta del Río Bravo (región I) y desde la Playa Tonalá, Tab. hasta la Playa La Gloria, Camp. en el Delta del Grijalva-Usumacinta en Tabasco (región V), se presentan la mayores concentraciones de sedimentos terrígenos y los porcentajes más bajos de biogénicos.

El tamaño gráfico promedio ($Mz \phi$) en los sedimentos de las playas presenta una correlación negativa con el contenido de biógenos, ya que los menores porcentajes de estos sedimentos se presentaron en arena fina por un alto grado de intemperismo físico y químico.

La abundancia de restos biógenos está relacionada con el tamaño del sedimento: mientras más pequeña es la partícula, menor es la probabilidad de encontrar restos biogénicos.

La clasificación de los sedimentos presenta una correlación positiva con la abundancia de restos de organismos. La mala clasificación se atribuye a que los restos

biógenos se presentan en su mayoría como arenas gruesas y gravas, mezclados con sedimentos finos de origen terrígeno. Los sedimentos de playa en la Laguna de Términos en Campeche (región VI) son los que presentan las clasificaciones más pobres, ya que en esta región convergen los sedimentos finos de la provincia terrígena de Tabasco y las arenas gruesas de la provincia carbonatada de Yucatán.

Los restos biogénicos en las arenas de playa del Golfo de México se componen en su mayoría por restos de fragmentos de moluscos, principalmente pelecípodos. La fracción biógena en las playas se compone en orden decreciente de la siguiente manera: moluscos > pellets > foraminíferos > algas > briozoarios > corales > equinodermos > ostrácodos > esponjas.

Existe correlación tanto positiva como negativa entre la abundancia de algunos restos de organismos. Se presenta una correlación negativa entre los restos de pellets y los sedimentos de origen terrígeno, lo que indica que conforme aumentan los sedimentos terrígenos disminuyen las partículas de origen pelóide.

La correlación positiva entre restos de algas y de equinodermos puede deberse a que las algas son de los principales alimentos de los herbívoros de este grupo de organismos acuáticos y su abundancia está directamente relacionada con la disponibilidad de alimento en el medio. Las playas que carecen de restos identificables de organismos como briozoarios son en su mayoría playas con arenas finas y abundantes terrígenos, este tipo de material dificulta el asentamiento de estos organismos que requieren un sustrato duro para establecerse.

Importancia de la concentración de carbonatos

Las playas con la mayor concentración de carbonatos se encuentran en: el litoral Oriente de Campeche y en Yucatán (región VII), la Laguna de Términos (región VI) y la región que comprende la parte Centro y Sur de Tamaulipas y el Norte de Veracruz (región II). En las

regiones que corresponden tanto el Delta del Río Bravo en Tamaulipas (región I) como el delta de los Ríos Grijalva-Usumacinta (región V) se presentan las menores concentraciones de carbonatos debido a la gran cantidad de sedimento terrígeno presente en estas playas.

La correlación positiva entre la clasificación y los sedimentos carbonatados puede atribuirse a la presencia de sedimentos de origen biogénico que se componen en su mayoría por arenas gruesas y gravas mal clasificadas.

La concentración de carbonatos totales en los sedimentos litorales están constituidos en su mayoría por restos biogénicos principalmente restos de moluscos, cuya abundancia se ve favorecida con la cercanía de los afloramientos calcáreos al área de depósito.

La abundancia de restos de organismos esta relacionada directamente con la abundancia de sedimentos calcáreos, ya que el déficit de material carbonatado limita la formación de su estructura calcárea. La ausencia de descargas fluviales, así como la presencia de lagunas costeras también se relaciona con la abundancia de restos de organismos.

Las zonas con el mayor porcentaje de restos de organismos marinos y material carbonatado están representadas por dos regiones, una en las cercanías de la Laguna de Términos y otra en el litoral Este de Campeche y de Yucatán. Ambas regiones se encuentran adyacentes o están influenciadas por los sedimentos calcáreos procedentes de la Plataforma Yucateca.

Influencia del área fuente en la distribución de biógenos

Los sedimentos finos en los depósitos de playa se relacionan con planicies costeras amplias y con regiones donde los afluentes y la precipitación son importantes. Las arenas gruesas se encuentran en playas donde las planicies costeras son estrechas, carentes de afluentes y con pocos escurrimientos hacia la costa.

Las regiones con la mayor concentración de restos biógenos y de carbonatos comprenden las siguientes playas: Desde Barra de Vaca, Tamps. a Riachuelos, Ver. (región II), de Cd. del Carmen hasta Isla aguada, Camp. (región VI) y de Sabancuy, Camp. hasta La Punta, Yuc. (región VII), debido al clima árido propio de las zonas y/o a los afloramientos de sedimentos calcáreos cercanos a la costa. La región del Río Bravo (región I) y la del Sistema Grijalva-Usumacinta (región V) presentan la mayor concentración de sedimentos terrígenos a causa de la gran influencia fluvial; en estas playas se encuentran los menores porcentajes de restos biógenos y de carbonatos.

En las regiones que carecen de sistemas lagunares importantes se limita la presencia de fauna lacustre y por lo tanto de sus restos en los sedimentos, así como la presencia de peloides fecales procedentes de estos organismos.

El número de restos de organismos identificados da una idea de la abundancia de organismos en la región y de la heterogeneidad u homogeneidad de los ambientes que prevalecen en la zona.

La dureza del material del área fuente, como en el caso del Macizo de los Tuxtlas (región IV), junto con la alta tasa de precipitación pluvial aumenta el tamaño de grano y diluye los carbonatos que estuvieran presentes en las aguas costeras, disminuyendo la probabilidad de encontrar tanto restos de organismos, como peloides fecales o de origen algal.

La presencia de lagunas costeras y la poca precipitación en zonas semiáridas o subhúmedas que limitan los afluentes fluviales a la costa, favorecen el asentamiento de la fauna béntica cuyos restos calcáreos constituyen los sedimentos biogénicos.

Los afloramientos calcáreos cercanos a la costa aportan el material carbonatado para el desarrollo de los esqueletos de los organismos marinos. Este es el caso de la región II (en

el centro y sur de Tamaulipas y norte de Veracruz) cuya abundancia de biógenos se atribuye a la influencia de los afloramientos de calizas en la Sierra Madre Oriental.

LITERATURA CITADA

- Barnes, R. D., 1977. *Zoología de Invertebrados*. Ed. Interamericana. México, 826 p.
- Bathurst, R. G. C., 1971. *Carbonate Sediments and Their Diagenesis*. Elsevier. Amsterdam, 658 p.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca, 2003. *Invertebrates*. 2a Ed. McGraw-Hill Interamericana. New York, 1005 p.
- Cabrera-Ramírez, M. y A. Carranza-Edwards, 2002. The beach environment in Mexico as a potencial source of placer minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*. 20, 187-198.
- Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez-Estrada y R. Rodríguez-Torres, 1975. Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centro Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 2 (1): 81-88.
- Carranza-Edwards, A. 1986. Estudio sedimentológico de las playas del estado de Chiapas, Mexico. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. Mex.* 13, (1): 331-344.
- Carranza-Edwards A. y J. E. Aguayo-Camargo, 1992. *Sedimentología Marina* (escala 1: 12 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. Univ. Nal. Autón. Mex.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, A. Monreal-Gómez, 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology*, 112: 257-269.
- Carranza-Edwards, A. y M. Caso-Chávez, 1994. Zonificación de Playa. *GEO UNAM*, 2 (2).
- Carranza-Edwards, A. y L. Rosales-Hoz, 1995. Grain-size trenes and provenance of southwestern Gulf of Mexico beach sands. *Can. J. Earth Sci.* 32, 2009-2014.

- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y S. Santiago-Perez, 1996. A reconnaissance study of carbonates in Mexican beach sands. *Sedimentary Geology*, 101, 261-268.
- Carranza-Edwards, A., 1997. La Granulometría y sus usos en estudios geoquímicos o ambientales. *Actas INAGEQ*, 3: 235-243.
- Carranza-Edwards, A., 2001. Grain Size and Sorting in Modern Beach Sands. *Journal of Coastal Research*, 17, (1): 38-52.
- Carranza-Edwards A., L. Rosales-Hoz, M. Caso Ch. y E. Morales de la Garza, 2004. La geología ambiental de la zona litoral. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Ecurra. *Diagnostico Ambiental del Golfo de México*. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Contreras, E. F. y O. Castañeda, 2004. Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: Hacia el establecimiento de índices ecológicos. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Ecurra. *Diagnostico Ambiental del Golfo de México*. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Cronan, D. S., 1980. *Underwater Minerals*. Academic Press. London, 362 pp.
- Davies, J. L., 1980. *Geographical Variations in Coastal Development*. Edited by Longman, Londres, 212 pp.
- Davis, A. R. Jr., 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. Second edition. Springer Verlag New York, 420 pp.
- Escobar-Briones, E., 2004. Estado del conocimiento de las comunidades bénticas en el golfo de México. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Ecurra. *Diagnostico Ambiental del Golfo de México*. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Fernández-Eguiarte, A., A. Gallegos-García y J. Zavala-Hidalgo, 1992. Masas de Agua y Mareas de los Mares Mexicanos. (escala 1: 12 000 000). *Atlas Nacional de México*. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. Univ. Nal. Autón. Mex.
- Folk, R. L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill, Austin, Texas, 182 pp.

- Gallardo del Ángel, J.C., E. Velarde y R. Arreola, 2004. Las aves del Golfo de México y las áreas prioritarias para su conservación. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Escurra. Diagnostico ambiental del Golfo de México. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- García, E. 1989., Carta de Climas de la Republica Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Instituto de Geografía. UNAM.
- Gardiner, M. S., 1978. Biología de los invertebrados. Ed. Omega. S. A. España. 940 pp.
- Gómez-Tuena A., M. T. Orozco-Esquivel, L. Ferrari, 2005. Petrogenesis ignea de la Faja Volcánica Trans-Mexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LVII (3).
- Hesse, P. R., 1971. A text book of soil chemical analisis. London; John Murray, 521 pp.
- Inman, D. L y C. E. Nordstrom, 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. J. Geol. 79 (1): 1-21.
- Jiménez-Román, A. y L. E. Maderey-Rascón, 1992. Carta de Escurrimiento Medio Anual de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. UNAM.
- Kasper-Zubillaga, J. J., A. Carranza-Edwards y L. Rosales-Hoz, 1999. Petrography and Geochemistry of Holocene Sand in Western Gulf of Mexico: implications for provenance and tectonic setting. Journal of Sedimentary Research. 69 (5):1003-1010.
- King, C. A. M. 1972, Beaches and Coasts. Ed. Arnold, Londres, 570 pp.
- Komar, P. D. 1976, Beach Process and Sedimentation. Prentice-Hall. U.S. A. 429 pp.
- Logan, B. W., J. L. Harding, W. M. Ahr, J. D. Williams y R. G. Snead, 1969. Carbonate Sediments and Reefs, Yucatán Shelf, México. En: Logan, B.W. (ed.) Carbonate Sediments and Reefs, Yucatán Shelf, Mexico, American Association of Petroleum Geologists Memoir, 11, 5–128 p.

- Lugo-Hupb, J., R. Vidal-Zepeda, A. Fernandez-Eguiarte, A. Gallegos-García y J. Zavala-Hidalgo, 1989. Carta de Hipsometría y Batimetría de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. UNAM.
- Machain-Castillo, M. L. y R. Gío-Argáez, 2004. Ostrácodos Bentónicos del Sur del Golfo de México. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Ecurra. Diagnostico ambiental del Golfo de México. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Maderey-Rascón, L. E., 1992. Carta de Evapotranspiración Real de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía, UNAM.
- Maderey-Rascón, L. E. y C. Torres-Ruata, 1990. Carta Hidrográfica e Hidrométrica de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. UNAM.
- Marín-Córdoba, S., 1990. Carta Hidrogeológica de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. UNAM.
- Méndez-Ubach, M. N., V. Solís-Weiss y A. Carranza-Edwards, 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de las playas del estado de Veracruz, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 13 (3): 45-56.
- Merino, M., 1997. Upwelling on the Yucatán Shelf: hydrographic evidence. J. Mar. Systems. 13: 101-112.
- Monreal, R., G. A. Montijo y N. F. Grijalva, 2000. Guía para El Estudio Petrográfico de Rocas Detríticas. Área de Publicaciones de Extensión Universitaria de la Universidad de Sonora. 86 pp.

- Monreal-Gómez, M. A., D. A. Salas-de-León y H. Velasco-Mendoza, 2004. La Hidrodinámica del Golfo de México. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra. Diagnostico Ambiental del Golfo de México. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Moreno-Casasola, P., 2004. Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Ezcurra. 2004. En: Diagnostico Ambiental del Golfo de Mexico. Vol 1. Ed. INE. México, 626 pp.
- Mortimer, J., 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*). *Copelia*. 3, 802-817.
- Nolasco-Montero E. y A. Carranza-Edwards, 1988. Estudio sedimentológico regional de las playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. Méx.* 15 (2): 49-66.
- Ortega Gutiérrez. F., L. Miltre Salazar, J. Roldán Quintana, J. Aranda Gómez, J. Morán Zenteno y A. Alaniz Álvarez, 1992. Carta Geológica de la Republica Mexicana. Consejo de Recursos Minerales. UNAM, México.
- Padilla, S. J. R. y J. F. Aceves-Quesada, 1990. Carta Geológica de la República Mexicana (escala 1: 4 000 000). Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza. Instituto de Geografía. UNAM.
- Reijers, T. J. A. y K. J. Hsü, 1986. *Manual of Carbonate Sedimentology*. Academia Press, London, 302 pp.
- Rzedowski, J., 1981. *Vegetación de México*. Limusa. México, 342 pp.
- Salas, D. y A. Monreal, 1997. Mareas y circulación residual en el Golfo de México. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. En: M. F. Lavín Peregrina. Monografía No.3 "Oceanografía Física en México", ed. Unión Geofísica Mexicana. México, 201-223 pp.

- Self, P. R., 1977. Longshore variation in beach sands Nautla area, Veracruz, México. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47 (4): 1437-1443.
- Shepard, F. P., 1973. *Submarine Geology*. Harper and Row. Nueva York, 517 p.
- Solis-Marin, F. A., M. D. Herrero-Pérez, A. Laguarda-Figuera y J. Torres-Vega, 1993. Asteroideoas y equinoideos de México (Echinodermata) pp.91-105. En :Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. Gonzalez (Eds.) *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO-CIQRO, México, 862 pp.
- Tamayo, L., 1974 *Geografía Moderna de México* Ed. Trillas, México, 512 pp.
- Vidal-Zepeda, R., 1989. Carta de Precipitación de la Republica Mexicana (escala 1: 4 000 000). *Atlas Nacional de México. Tomo II. Naturaleza*. Instituto de Geografía. UNAM.
- Villee, C. A., 1974. *Biología*. McGraw-Hill. 7a. edición. México, 875 p.
- Woodroffe, C. D., 2003. *Coasts: Forms, Process and Evolution*. Cambridge, University Press. School of Geosciences, University of Wollongong, Australia, 619 pp.
- Yáñez-Arancibia, A., A. L. Lara-Domínguez, P. Sánchez-Gil y J. W. Day, 2004. Interacciones ecologicas estuario-mar: marco conceptual para el manejo ambiental costero. En: Caso, M., I. Pisanty, E. Ecurra. *Diagnostico ambiental del Golfo de México*. Vol 1. Ed. INE. México. 626 pp.
- Zavala-Hidalgo J., S. L. Morey y J. J. O'Brien. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico. Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies, The Florida State University. *Journal of Geophysical Research (Oceans)*. 108 (C12): 3389.

Anexo I. Nomenclatura de las playas estudiadas

<u>Región</u>	<u>No.</u>	<u>Playa</u>	<u>Región</u>	<u>No.</u>	<u>Playa</u>		
I	1	Bagdad, Tamps.	IV	35	Playa Azul, Ver.		
	2	Conchillal, Tamps.		36	Arbolillo, Ver.		
	3	Carrizal, Tamps.		37	Punta Salinas, Ver.		
II	4	Barra de Vaca, Tamps.	V	38	Rabon Grande, Ver.		
	5	Barra de Jesus Maria, Tamps.		39	Tonala, Tab.		
	6	La Industria, Tamps.		40	Pailebot, Tab.		
	7	La Pesca, Tamps.		41	Santa Ana, Tab.		
	8	Barra del Tordo, Tamps.		42	Macayo, Tab.		
	9	Altamira, Tamps.		43	Pajonal, Tab.		
	10	Miramar, Tamps.		44	Playa Azul, Tab.		
	11	Playa del Panuco, Ver.		45	El Limón, Tab.		
	12	Playa Hermosa, Ver.		46	Emiliano Zapata, Tab.		
	13	La Barra, Ver.		47	Miramar, Tab.		
	14	La Charolese, Ver.		48	Carrillo Puerto, Tab.		
	15	Barra de Galindo, Ver.		49	El Bosque, Tab.		
	16	Mojarras, Ver.		50	La Estrella, Tab.		
	17	Costa Brava, Ver.		51	Boqueron Tab.		
	18	Cazones, Ver.		52	Campechito, Camp.		
	19	Boca de Lima, Ver.		53	La Gloria, Camp.		
	III	20		Tecolutla, Ver.	VI	54	Cd. del Carmen, Camp.
		21		Riachuelos, Ver.		55	Bahamita, Camp.
		22		Paraiso, Ver.		56	Puerto Real, Camp.
23		Rancho Eufrosina, Ver.	57	Isla Aguada, Camp.			
24		Nautla, Ver.	VII	58		Sabancuy, Camp.	
25		Vega de la Torre, Ver.		59		Canchec, Camp.	
26		Boca de Ovejas, Ver.		60		Xen, Camp.	
27		Palma Sola, Ver.		61		Champton, Camp.	
28		Farallon, Ver.		62		Haltunchen, Camp.	
29		Juan Angel, Ver.		63		Playa Bonita, Camp.	
30		Chalhuique, Ver.		64		Celestun, Yuc.	
31	Chachalacas, Ver.	65	Sisal, Yuc.				
32	Punta Gorda, Ver.	66	Chicxulub, Yuc.				
33	Mocambo, Ver.	67	Telchac, Yuc.				
34	Anton Lizardo, Ver.	68	Dzilam, Yuc.				
			69	La Punta, Yuc.			