



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO REGIONAL DE PLAYAS DE QUINTANA ROO,
MÉXICO; PARÁMETROS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE ARENAS
SUPERFICIALES.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
MARBELLA ISELA GONZÁLEZ LIANO

TUTOR PRINCIPAL:
Dr. ARTURO CARRANZA EDWARDS
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR:
Dra. BLANCA ESTELA MARGARITA BUITRÓN SÁNCHEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
Dra. MARÍA LUISA MACHAÍN CASTILLO
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM
Dr. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM
Dr. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO REGIONAL DE PLAYAS DE QUINTANA ROO,
MÉXICO; PARÁMETROS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE ARENAS
SUPERFICIALES.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
MARBELLA ISELA GONZÁLEZ LIANO

TUTOR PRINCIPAL:
Dr. ARTURO CARRANZA EDWARDS
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR:
Dra. BLANCA ESTELA MARGARITA BUITRÓN SÁNCHEZ
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
Dra. MARÍA LUISA MACHAÍN CASTILLO
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM
Dr. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM
Dr. MIGUEL ÁNGEL ALATORRE MENDIETA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

ASESOR(A) EXTERNO(A):
Dra. MARÍA MARTHA REGUERO REZA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2017

A mis padres

Guadalupe Liano Contreras

Angel González Lucero

A mis hermanos

Javier y Lucía, la adoración de mi vida

*Y a mis amigos, los que han caminado a mi lado y con los que
he compartido vivencias y que puedo llamar familia.*

Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos un inmenso océano

Isaac Newton.

Agradecimientos

Gracias por el tiempo y cariño brindado

Al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, por darme la oportunidad de seguir creciendo como profesionalista.

A CONACYT, por brindarme una beca que me permitió desarrollar mis estudios de posgrado.

A mi director de tesis, el Dr. Arturo Carranza Edwards, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto bajo su tutela, por brindarme apoyo tanto académico como personal, gracias por los consejos, la dedicación, la confianza y el tiempo invertido en mí.

A mí comité tutorial, por tomarse el tiempo para revisar mi proyecto y enriquecerlo con sus consejos, conocimientos y sugerencias. A la Dra. Blanca Estela Buitrón Sánchez, del Instituto de Geología, por el apoyo e interés mostrado en este trabajo para que sea tomado en cuenta como base en futuras investigaciones, a la Dra. María Luisa Machaín Castillo, por sus consejos sobre la separación de los foraminíferos, al Dr. Antonio Zoilo Márquez García, por los consejos y comentarios que me permitieron mejorar la discusión de este trabajo con respecto al origen de los terrígenos, al Dr. Miguel Ángel Alatorre Mendieta, por las recomendaciones para poder entender y comprender de mejor manera algunos de los procesos oceanográficos presentes en la zona de estudio de dicho proyecto. Por último, pero no menos importante a la Dra. María Martha Reguero Reza, que siempre me da buenos consejos y que me brinda su apoyo y amistad desde que llegué a su laboratorio hace ya algunos años y por animarse a ser parte de mis tutores en este proyecto.

Al laboratorio de sedimentología del ICMYL. Al M. en C. Eduardo Morales, por todo el apoyo brindado en las diferentes áreas de mi vida, tanto académicas como profesionales.

Al Técnico Ricardo Martínez Domínguez, por el apoyo brindado para realizar las diferentes actividades en el laboratorio, por las pláticas y los consejos, y porque a pesar de que era tu labor apoyarme, me brindaste tu amistad y tu tiempo, por esas pláticas, por los buenos ratos de felicidad y alegrías, siempre con una buena actitud y dándome ánimos en todo lo que hacía, por formar parte del aprendizaje y las aventuras en el laboratorio de sedimentología.

A la Dra. Leticia Rosales de la Hoz por permitirme usar el Laboratorio de Química Acuática del ICMYL y realizar algunas de las pruebas que necesitaba para este proyecto, así como

a la Técnica Susana Santiago, por el apoyo brindado para que entendiera las metodologías implementadas y la paciencia para hacer las titulaciones y determinaciones que realicé a su lado.

A mi familia por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento en el camino recorrido.

Angel, Guadalupe, lo logré de nuevo y, a pesar de las adversidades, estoy concluyendo una etapa más en mi vida y eso se los debo a ustedes y a la educación que me han permitido tener.

A mis hermanos Javier y Lucía, que siempre serán mi inspiración para seguir adelante, porque ustedes son el amor más grande de mi vida y que sin ustedes no tendría sentido, gracias por las risas, los buenos y malos momentos que solo me hacen darme cuenta que somos más fuertes y unidos de lo que pudiese parecer.

A mi *alma mater*, la UNAM, que una vez más, después de tantos años, me sigue dando amigos, aprendizajes, historias, y ganas de seguir soñando y luchando por lo que me hace feliz.

A mi segunda familia, esa a la que llamo mis mejores amigos, Linda y Christian, que como no me canso de decirlo son las dos extensiones de mi ser, mis Horrocruxes, en los que deposito lo que soy con todo y sin miedo siempre recibiendo esas palabras de apoyo y ánimo que, de repente, se ven menguadas en mi vida. Ustedes, más que amigos son como mis dos hermanos, gracias por siempre estar al pendiente de mi vida, por regresarme al camino del bien cuando me empiezo a perder, por estar ahí de manera incondicional y ya, porque lloró. Gracias a sus familias, por brindarme ese amor incondicional y por acogerme como un miembro más; en una, como la hija adoptada y en la segunda, como la prima, en cualquiera de las dos me encanta ser parte y espero sea siempre así, ¡Hasta que la canela nos separe!

A mis amigos; Lina gracias por ayudarme con los perfiles y con todo en la vida, a Brian, por siempre brindarme una mano amiga para seguir en este camino, a mis amigas de Picasso, por siempre darme ánimos y porras para poder resolver todo lo que hago y en lo que me meto, a Xochitl, por los consejos de gran amiga, a Angie, por todos los buenos ratos y por los mejores deseos, siempre las sorprendo a pesar de ser ¡Una simple Bióloga!.

La ciencia se compone de errores que, a su vez, son los pasos hacia la verdad.

Julio Verne

I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El estudio de playas y sus generalidades.....	1
1.2 Dinámica y estudio de las playas.....	2
1.3 Distribución de los organismos en los sedimentos de línea de costa.....	3
1.3.1 Importancia ambiental de la relación entre los organismos bentónicos y los sedimentos.....	4
1.4 Quintana Roo y su importancia sedimentológica.....	4
II ANTECEDENTES.....	6
III JUSTIFICACIÓN.....	8
IV OBJETIVO GENERAL.....	9
4.1 Objetivos particulares.....	9
4.2 Hipótesis.....	9
V MÉTODO.....	10
5.1 Área de estudio.....	11
5.2 Trabajo de campo.....	14
5.2.1 Recolección de muestras.....	14
5.3 Trabajo de laboratorio.....	14
5.3.1 Determinación de color en seco antes y después de homogeneizar.....	14
5.3.2 Cuarteo.....	14
5.3.3 Análisis granulométrico.....	15
5.3.4 Parámetros texturales.....	15
5.3.5 Análisis petrológico.....	18
5.3.6 Conteo de terrígenos y biógenos.....	18
5.3.7 Conteo de ocho grupos.....	18
5.3.8 Determinación de materia orgánica.....	19
5.3.9 Determinación de carbonatos.....	19
5.4 Trabajo de gabinete.....	19
VI RESULTADOS.....	20
6.1 Morfología de los perfiles de playa.....	20
6.2 Análisis granulométrico.....	23
6.3 Conteo de terrígenos y biógenos.....	24
6.4 Análisis de láminas delgadas (Mineralogía).....	26
6.5 Toma de fotografías.....	30

6.5.1 Moluscos.....	30
6.5.2 Foraminíferos.....	31
6.5.3 Equinodermos.....	31
6.5.4 Esponjas.....	32
6.5.5 Algas calcáreas.....	33
6.5.6 <i>Pellets</i>	34
6.5.7 Oolitos.....	34
6.5.8 <i>Beach rock</i>	35
6.6 Determinación de materia orgánica.....	36
6.7 Difracción de rayos X.....	36
6.8 Determinación de carbonatos.....	37
VII DISCUSIÓN.....	38
7.1 Morfología de los perfiles de playa.....	38
7.2 Análisis granulométrico.....	40
7.3 Determinación del color.....	42
7.4 Caracterización textural.....	42
7.5 Conteo de terrígenos y biógenos para supraplaya.....	44
7.6 Conteo de terrígenos y biógenos para mesoplaya.....	45
7.7 Conteo de terrígenos y biógenos para infraplaya.....	45
7.8 Materia orgánica.....	46
7.9 Concentración de CaCO ₃	46
VIII Conclusiones.....	47
IX Literatura citada.....	48
Anexo I Parámetros texturales de los sedimentos frente a playas de Quintana Roo. En la tabla se observa el tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$), el tamaño gráfico promedio y la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_r\Phi$) para cada uno de los sitios que se muestrearon en las playas de Quintana Roo que se trabajaron.....	52
Anexo II Tabla de medias y desviaciones por grupo taxonómico, en comparación con el total por grupo.....	54

Resumen

Se analizaron nueve playas del estado de Quintana Roo, con el objetivo de definir las características granulométricas y petrológicas de las arenas superficiales de las playas de Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Akumal, Chacmol, Punta Allen, Majahual, Puerto Ángel y San Manuel, para contribuir a los conocimientos fundamentales del ambiente de playa de manera que puedan servir como línea de investigación a futuro, ya que se trata de un ambiente vulnerable desde el punto de vista antropogénico. Las muestras se obtuvieron en noviembre de 1982 en las nueve playas de Quintana Roo y, con la información recabada en campo, se realizaron los perfiles de cada una de las playas, se realizó un análisis granulométrico, conteo de terrígenos y biógenos por medio de un análisis de láminas delgadas, toma de fotografías, determinación de materia orgánica, difracción de rayos X y determinación de carbonatos. Se obtuvo como resultado información que permite inferir que las playas están sometidas a grandes presiones físicas, geológicas y geográficas, lo cual determina la extensión de las mismas y de igual manera la distribución de sus sedimentos, como es el caso de Cancún, Playa del Carmen, Puerto Ángel y San Manuel, que presentan las menores pendientes y planicies más extensas; en comparación con el resto que tienen poca pendiente, la gran mayoría de los sedimentos son calcarenitas medianas y finas, moderadamente bien clasificadas, simétricas y asimétricas hacia los sedimentos gruesos, con una distribución de tipo mesocúrtica. En las playas que conforman la Riviera Maya existe una tendencia en la distribución de sedimentos hacia los tamaños asimétricos gruesos, y una curtosis de tipo leptocúrtico, con respecto al resto de las playas. De acuerdo con los componentes descritos en la lámina delgada, se observa que los sedimentos están conformados en su mayoría por material de origen biogénico, siendo los más abundantes los restos de *pellets*, foraminíferos, moluscos y algas calcáreas, seguidos por fragmentos de coral, esponjas, equinodermos, *beach rock* y oolitos. Este trabajo muestra información que debe ser considerada como futura línea de investigación y que al ser un estudio de perspectiva histórica deja ver grandes diferencias en el cambio de los perfiles de playa de hace 35 años con respecto a los reportes actuales y vislumbrar un futuro no deseable del litoral de Quintana Roo, si no se empieza a dar una regulación en esta área.

Abstract

Nine beaches in the state of Quintana Roo were analyzed to define the granulometric and petrological characteristics in the surface sands of the beaches of Cancun, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Akumal, Chacmol, Punta Allen, Majahual, Puerto Angel and San Manuel, to contribute to the fundamental knowledge of the beach environment in a way that serves as a line of investigation of a future, since it is an environment vulnerable from the anthropogenic point of view. The samples were obtained in November 1982 in the nine beaches of Quintana Roo, with the information collected in the field, the profiles of each of the pieces were made, a granular analysis, the terrigenous and biological contents were carried out by means of a Analysis of films, taking of photographs, determination of organic matter, X-ray diffraction and determination of carbonates. It was obtained as a result that it can be inferred that the beaches are subjected to great physical, geological and geographic pressures, which determines the extent of the same and the distribution of their sediments, as in the case of Cancun, Playa del Carmen , Puerto Angel and San Manuel, which present the smallest slopes and more extensive plains; Compared to the rest with little slope, the great majority of the sediments are medium and fine calcareous, moderately well classified, symmetrical and asymmetrical towards thick sediments, with a mesocuric distribution. In the beaches that make up the Riviera Maya there is a tendency in the distribution of sediments towards the sizes of coarse asymmetric, and a kurtosis of leptocúrtico type, with respect to the rest of the beaches. According to the components of the thin film, it is observed that the sediments are mostly composed of material of biogenic origin, the most abundant being the remains of granules, foraminifera, molluscs and calcareous algae, followed by the Fragments of coral, sponges, echinoderms, beach rock and oolites. This paper shows the information that should be considered as a future research and be a study of the historical perspective away from the great differences in the change of profiles of the beach of 35 years ago with respect to current reports and glimpse an undesirable future from the coast of Quintana Roo, if you do not begin to give a regulation in this area.

I INTRODUCCIÓN

1.1 El estudio de playas y sus generalidades

Los estudios geológicos de los sedimentos de la plataforma continental en el suroeste del golfo de México son necesarios para conocer las características ambientales derivadas de estos y cómo se relacionan con su entorno, puesto que dicha información indica diferentes propiedades de este ambiente de transición.

Por lo tanto, el hablar de playas implica situarse geográficamente en la zona costera, observar la línea de costa, comprender la dinámica del perfil del litoral, percibir la erosión evidente que induce el cambio climático, factores ambientales y antropogénicos, observar la pérdida de infraestructura, e intuir el peligro evidente para la población asentada cerca de estas zonas (Cambers, 1998; Anthony, 2005; Finkl y Walker, 2005; Carranza- Edwards, 2010).

El material no consolidado que constituye las playas proviene de la erosión de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, de la precipitación de sales (material autigénico), o bien son fragmentos de estructuras rígidas secretadas por organismos marinos (material biogénico). Estos sedimentos y los procesos que determinan su transporte, juegan un papel destacado en la conformación y dinámica de las playas (Cuevas-Jiménez y Euán-Ávila).

El litoral es una de las franjas más dinámicas de la zona costera, cuya morfología cambia en respuesta a la fuerza de los procesos marinos y continentales causando, como consecuencia, cambios en la estructura de las playas, en los tamaños de partículas y en la composición de los sedimentos que las constituyen (Montaño *et al.*, 1988).

Las zonas más importantes de interacción entre la parte continental y la parte oceánica, para este trabajo, son tres: supra, meso e infra playa. La supraplaya, será la zona más alejada del mar, y el agua nunca estará en contacto con ella, es decir, será la parte más pegada al continente; la mesoplaya será zona que va a estar sometida a los procesos de marea, que comprenderá desde el punto más alto al punto más bajo de la misma; y la zona de infraplaya será la que siempre se encuentre cubierta por agua (Carranza- Edwards y Caso-Chávez, 1994) (Fig. 1).

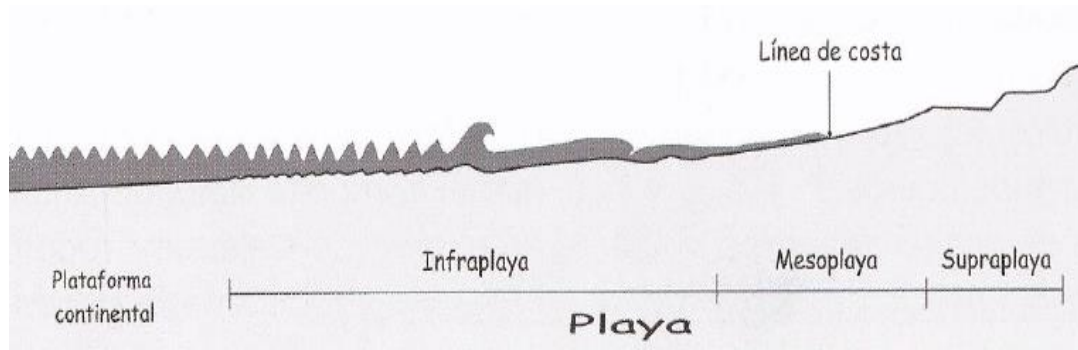


Figura 1. Zona litoral y sus divisiones. Modificado de Carranza-Edwards 1994.

1.2 Dinámica y estudio de las playas

Los procesos que condicionan la dinámica de las playas mantienen una estrecha relación con gran cantidad de factores, que se engloban en: los procesos marinos (oleaje, marea, corrientes, batimetría) y los continentales (viento, intensidad, fuente de sedimentos y disponibilidad de los mismos), los cuales en conjunto crearán una visualización espacio-temporal de la estructura de una playa (Short, 1999; Bird, 2003).

Un aspecto importante a considerar es el estudio de las corrientes superficiales, ya que existen pocos trabajos que se enfoquen a circulación de este tipo en las costas mexicanas y es un punto importante ya que, según Merino *et al.* (1980), se debe tener mayor conocimiento de los patrones de circulación, especialmente para las costas de Quintana Roo, las cuales muestran multitud de procesos y fenómenos que se relacionan de manera estrecha con estos patrones.

El oleaje también es un factor importante para el estudio de las playas del estado de Quintana Roo, en promedio estas tienen una altura que va de 0.4 m a 1.9 m con un periodo que va de 4 a 9 s (SECMAR, 1980).

Sin embargo los pastos marinos ayudan físicamente a reducir el oleaje y la energía de la corriente, a filtrar sedimentos suspendidos en el agua, a estabilizar los sedimentos del fondo marino (Fonseca *et al.*, 1982) y proveen sitios de alimentación y protección para diferentes especies.

La distribución y la diversidad de las comunidades coralinas no está determinada solamente por factores físicos como la luz, profundidad, sedimentación, temperatura y energía del oleaje, sino también por interacciones bióticas (Huston, 1985).

También es importante considerar aspectos climáticos, que inciden en la distribución y el tamaño de los sedimentos en la plataforma continental, lo cual es relevante, dado que el desarrollo del golfo de México y el mar Caribe se ve acelerado por este factor generando una amenaza latente de la elevación en el nivel del mar juegan un papel primordial debido al cambio climático global (Carranza-Edwards *et al.*, 2015).

Los perfiles de playa son una herramienta para cuantificar el estado de conservación en el que se encuentra, los cambios en las mismas y son de utilidad en la gestión y recuperación de información para su cuidado y uso (Zetina, *et al.*, 2008).

Los perfiles de playa surgen a partir de la cuantificación de características morfológicas y estimación de parámetros relacionados con la altura, amplitud, pendiente y volumen de playa. Dicha cuantificación y cambios en los parámetros, permite hacer inferencias acerca de la dinámica y la evolución de estos sistemas (Delgado y Lloyd, 2004).

La representación cartográfica de las variables sedimentológicas de un área determinada, con respecto a las características geomórficas posibilita tener una idea clara, de la magnitud, distribución e interrelación de los factores que influyen en la sedimentación de esta área, además de entenderse la dinámica y afectación de cada uno de los procesos de cambio (Rosales-Hoz *et al.*, 2015).

1.3 Distribución de los organismos en los sedimentos de línea de costa

Las playas arenosas representan uno de los ambientes marinos más importantes para las comunidades de animales macrobentónicos, ya que tales ambientes se encuentran bajo la influencia de procesos físicos (oleaje, corrientes) y geológicos (sedimentación, tamaño de grano y transporte de sedimentos), los cuales influyen en la distribución de la fauna béntica (Cupul-Magaña y Téllez-Duarte, 1997).

Algunos organismos de comunidades de playas arenosas influyen profundamente en el ambiente físico por medio de la actividad bioperturbadora en los sedimentos, lo cual puede afectar propiedades como distribución del tamaño de grano y contenido de materia orgánica. Este efecto sumado a la competencia por el espacio, a las relaciones comensales e interacciones entre depredador y presa, son componentes importantes en la integración de las comunidades bióticas (Sanders, 1960; Rhoads y Young, 1970).

La granulometría de los sedimentos de la playa se ve influida directamente por los organismos que en ella habitan, para este trabajo se utilizan ocho grupos, que serán descritos más adelante; dentro de los que se encuentran los moluscos, foraminíferos, equinodermos, esponjas, algas calcáreas, *pellets*, terrígenos como los oolitos y *beach rock*.

1.3.1 Importancia ambiental de la relación entre los organismos bentónicos y los sedimentos

La distribución de la fauna intermareal bentónica se encuentra asociada a sus rangos de tolerancia a las variables fisicoquímicas y sedimentológicas (Green y Hobson, 1970; Newell, 1979); aunque debido a su poca movilidad y a su sensibilidad a las alteraciones en el sustrato requieren de investigación más profunda.

Algunas comunidades bentónicas marinas tienen, entre otras características, la de asociarse con sustratos particulares mediante adaptaciones morfo y fisiológicas (Johnson, 1971); es por ello que los macro invertebrados bentónicos han sido generalmente utilizados para detectar y monitorear el impacto ambiental, respondiendo rápidamente a los cambios y perturbaciones naturales o inducidas (Pearson y Rosenberg, 1978; Perus y Bonsdorff, 2004, Schönfeld, et al., 2012) en sustratos blandos (Grassle, 1974; Bellan, 1985; Ros *et al.*, 1990; Grall y Glémarec, 1997; Granados-Barba, 2001) y duros (Campos-Vazquez *et al.*, 1999; Yañez-Rivera, 2004).

Esta respuesta es analizada a través de los cambios cuantificables en la estructura comunitaria, los cuales proveen una indicación de la calidad ecológica del ambiente bentónico (Tsutsumi, 1990; Pocklington y Wells, 1992; Borja *et al.*, 2000), usándose a su vez como la interpretación de la estructura y función de la comunidad biológica en términos globales, tomando en cuenta los factores naturales de tipo, geográfico y climático, así como las condiciones fisicoquímicas incluidas las de origen antrópico (Riera *et al.*, 2009).

1.4 Quintana Roo y su importancia sedimentológica

Las costas del estado de Quintana Roo tienen gran importancia sedimentológica, ya que ofrecen una oportunidad para observar y estudiar diversos ambientes de depósitos pleistocénicos y holocénicos, que se encuentran bajo la influencia de las corrientes litorales de manera permanente, así como la acción del oleaje, y marcas por acciones del viento; este último proceso juega un papel importante en la información de las eolianitas a lo largo de la costa del Caribe (Green y Hobson, 1970; Newell, 1979), es decir, que se da la formación de rocas por acción del viento, usada comúnmente para hablar de las costas

calizas que se encuentran formadas por carbonatos de origen biogénico marino y que pueden dar paso a la formación de dunas para después litificarse.

Las playas de Quintana Roo son formadas en su mayoría por carbonatos de calcio de origen biogénico; lo cual genera interés de estudiar las relaciones entre el sedimento y los organismos que en ella coexisten, ya que estos pueden ser modificadores de los sedimentos, y dependiendo de la forma de vida será el efecto que tendrá sobre los mismos.

Debido al movimiento de los sedimentos, se dan procesos de mezcla y transporte (Rhoads, 1974), de manera que pueden presentarse, por ejemplo, blanqueamiento, cementación y compactación por la formación de tubos de anélidos principalmente (Dapples, 1942). De igual modo, se pueden dar cambios en las propiedades del sustrato producidos por la ingestión de algunos organismos, cuyos de detritos son depositados y materia orgánica suspendida (Rhoads, 1974).

II ANTECEDENTES

En las costas mexicanas se han realizado diferentes investigaciones con un enfoque en el estudio de los sedimentos de playa, dentro de los cuales se encuentran trabajos que tienen relación con el área de estudio, o bien con la metodología que se siguió en este trabajo de investigación.

Carranza-Edwards *et al.* (1975) realizaron una clasificación de las costas de México con un criterio morfológico-estructural, en el que se establecen nueve unidades morfo-tectónicas continentales para las costas mexicanas, tomando como referencia la clasificación tectónica de Inman y Nordstrom (1971) y la clasificación genética y geomorfológica de Sheppard (1973).

Nolasco y Carranza-Edwards (1988) llevaron a cabo un estudio sedimentológico de playas de Yucatán y Quintana Roo, encontrando una predominancia de calcarenitas medias y finas ricas, ricas en biógenos, intraclastos y oolitos; en ambos litorales, las estructuras encontradas fueron las marcas de oleaje, abundancia de horadaciones y marcas romboidales. El área de Quintana Roo se asocia a una tectónica pasiva con un relieve suave que favorece la presencia de aguas limpias libres de terrígenos, lo cual da como resultado la existencia de sedimentos calcáreos.

Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) estudiaron sobre las tendencias en el tamaño de grano y la procedencia del sedimento, en playas del sureste del golfo de México.

Carranza-Edwards *et al.* (1996) realizaron un análisis detallado para conocer la concentración de carbonatos en las arenas de playa de varias regiones de la República Mexicana, para el caso del golfo de México, desde la frontera entre México y los Estados Unidos, hasta llegar a la región de los Tuxtlas, en el estado de Veracruz. Observaron que existe una alta concentración de carbonato de calcio procedente del intemperismo de rocas sedimentarias carbonatadas de la Sierra Madre Oriental, consecuentemente al llegar al océano, el carbonato de calcio contribuye a que se formen arenas gruesas biogénicas, compuestas principalmente por fragmentos de conchas de moluscos entremezcladas con sedimentos terrígenos, disminuyendo gradualmente la concentración de terrígenos hacia el sur debido al aporte de los ríos, cuyo principal componente es el que procede de la actividad volcánica de los Tuxtlas.

Carranza-Edwards (2001) llevó a cabo una investigación a lo largo del litoral arenoso de México, en 294 localidades, subdividiendo en cinco regiones al litoral del Pacífico, así

como el golfo de California, además de cuatro regiones en el Caribe y el golfo de México, para estudiar, el tamaño, clasificación y parámetros texturales de los sedimentos en los distintos sub-ambientes sedimentarios explicando la dinámica de sedimentos en los distintos perfiles que se encuentran en una playa.

Carranza-Edwards (2009) realizó un análisis de las causas y consecuencias en la erosión de la playa, donde obtuvo que la suma de los factores naturales y antropogénicos desde el calentamiento global hasta las actividades relacionadas con el desarrollo industrial son causantes determinantes en la erosión de playa, lo cual trae consecuencias que van desde pérdidas humanas hasta impactos económicos, sociales y políticos.

Por su parte, en estudios como el de Merino en (1984) se presenta un esquema tentativo de la circulación superficial en el área de Yucatan y Quintana Roo para el periodo de octubre de 1983, en el cual resaltan la influencia de la corriente de Yucatán y la existencia de pequeñas contracciones cerca de la costa.

Estudios en geoquímica de arenas (elementos mayores, traza y tierras raras) han sido utilizados como herramienta para conocer la procedencia de los sedimentos, condiciones de intemperismo y ambientes tectónicos (Armstrong-Altrin *et al.*, 2004; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007; Roy y Smykatz-Kloss, 2007 y Carranza-Edwards *et al.*, 2009), debido a que estos elementos están contenidos de una manera particular en la roca fuente.

El análisis de tierras raras es utilizado en estudios de procedencia ya que son elementos inmóviles o resistentes al intemperismo, erosión, transporte y sedimentación por lo que reflejan una buena señal geoquímica de su roca fuente (Honda *et al.*, 2004; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008 y Etemad-Saeed *et al.*, 2011).

Sin embargo, los trabajos que tienen como objetivo estudiar la relación entre los organismos bentónicos y el sustrato en las playas tropicales del continente americano, son limitados; los principales trabajos realizados en las costas del Atlántico corresponden a Sanders en (1956, 1958); Dexter (1972) comparó las costas del Océano Atlántico con las del océano Pacífico en Panamá (1972), Johnson (1971) y Baqueiro (1979) estudiaron dichas relaciones en las costas del Pacífico en Carolina EUA y Guerrero, México, respectivamente, Méndez y colaboradores (1989) realizaron un estudio sobre la granulometría y su importancia en la distribución de los organismos bentónicos para las un conjunto de playas en el estado de Veracruz, México.

III JUSTIFICACIÓN

Entender la dinámica en los diferentes procesos que intervienen en la formación de los sedimentos y en su transporte, así como conocer la procedencia de los mismos, es importante ya que, a partir de la determinación de estos, es posible llevar a cabo la reconstrucción de los ambientes de depósito y sus posibles correlaciones, lo cual aporta evidencia clave para el conocimiento de la evolución geológica de una región en particular.

Este trabajo tiene como finalidad definir las características granulométricas y petrológicas de las arenas superficiales de las playas de Quintana Roo, para contribuir al conocimiento que se tiene sobre esta zona y su interacción con características ambientales.

IV OBJETIVO GENERAL

Contribuir al conocimiento fundamental del ambiente de playa, mediante el estudio de los sedimentos litorales del estado de Quintana Roo, para aportar, una línea de base que permita, en investigaciones futuras, establecer comparaciones e indagar por los posibles cambios antropogénicos que ocurran.

4.1 Objetivos particulares

Analizar posibles diferencias entre las distintas playas y subzonas de las mismas, mediante la elaboración de los perfiles de playa.

Interpretar los resultados del análisis granulométrico y la caracterización textural de los sedimentos de playas del margen oriental del estado de Quintana Roo.

Determinar los carbonatos en las arenas de las playas y analizar su composición química para conocer la similitud entre ellas.

4.2 Hipótesis

Se espera encontrar una relación entre el tamaño de partículas y composición química de los sedimentos litorales, con respecto a la estructura de las playas de Quintana Roo.

Dado que la estructura de la playa depende del tipo de sedimento que la compone, los procesos físicos y químicos que la afectan, se espera encontrar en las playas una relación entre estos factores, siendo los más importantes el tamaño del sedimento y su composición química.

De igual manera las playas al estar sometidas a procesos como el oleaje, corrientes costeras, corrientes superficiales, entre otros, se espera encontrar una relación con respecto a las variaciones entre las zonas de la playa.

V MÉTODO

El material para la realización de este trabajo fue recolectado por personal del laboratorio de Sedimentología del Instituto de ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México (ICMyL, UNAM), en noviembre de 1982. Se efectuó un muestreo en el litoral del estado de Quintana Roo, obteniendo material sedimentario de nueve playas: Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Akumal, Chacmol, Punta Allen, Majahual, Puerto Ángel y San Manuel. En cada una, se tomaron diferentes muestras dependiendo de las tres zonas que se tenían en la playa (supra, meso e infra playa), recolectando únicamente los primeros centímetros superficiales de sedimento para su análisis en laboratorio. El material sedimentario recolectado en las nueve playas ha sido la base para el desarrollo de la presente investigación.

Dentro de los parámetros a evaluar se consideraron: color, granulometría, parámetros texturales, petrología (estudio de componentes), geoquímica, determinación de materia orgánica, análisis de carbonatos y fluorescencia y difracción de rayos X. Las técnicas utilizadas para la determinación de cada uno de estos parámetros se abordarán más adelante.

5.1 Área de estudio

La zona de estudio se sitúa en el litoral quintanarroense, entre las coordenadas geográficas extremas: al Norte 21°37', al Sur 17°53' de latitud Norte; 86°42' al Este y al Oeste a 86°42' longitud Oeste. En la figura. 2 se pueden observar los sitios de muestreo marcados en el cuadro rojo de Norte a Sur.

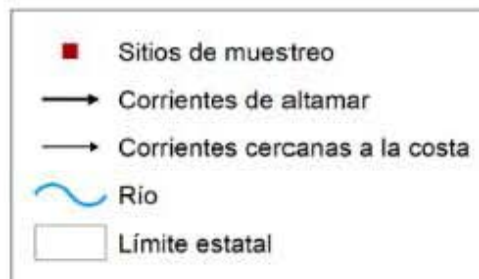
Según la clasificación climática de Köppen, a esta zona le corresponde el grupo de climas cálidos húmedos con lluvias en verano (Am) y cálidos subhúmedos con lluvias en verano (Aw), con temperaturas medias más frías entre los 5 y 7 °C, y la precipitación mensual de aproximadamente 1 300 mm anuales (García, 2004).

Dentro de los factores que no deben ser omitidos se encuentran los ciclones y las depresiones tropicales que se manifiestan durante julio-octubre; esto porque la península se encuentra cerca de cuatro regiones matriciales de huracane: El Golfo de Tehuantepec, la Sonda de Campeche, el Caribe Oriental y la Región Atlántica, aunque los ciclones que más afectan tienen vientos entre 150 y 300 km/h y llegan principalmente por las últimas dos regiones (García, 2004).

Área de estudio República Mexicana



Playas del margen oriental de Quintana Roo



Sistema de Referencia de Coordenadas: UTM zona 16 N
DATUM: WGS84



UNAM
POSGRADO
Centro de Estudios del Mar y Limnología

Fuente: Elaboración propia con base en Merino (1986)

Figura 2. Localización del área de estudio.

El mayor número de estos eventos meteorológicos están registrados entrando por la región de la costa oriental quintanarroense, de allí que en este estado sea donde pegan con mayor fuerza y poder destructivo. Entre los huracanes más recordados están: “Janet, Ópalo y Roxane, 1955”, “Hallie 1966”, “Dorothy, 1970” “Carmen 1974”, “Eloise, 1975”, “Gilberto, 1988”, “Isodoro, 2002”, “Wilma, 2005” (INEGI, 2017).

Con respecto a la conformación geológica y topográfica, la circulación de las corrientes de agua, son subterráneas, con una excepción del río Hondo, que tiene una longitud aproximada de 209 Km, su dirección predominante es hacia el noreste, una profundidad media de 10 m y una anchura media de 50 m, el cual sirve como frontera con Belice, formado por la confluencia de dos ríos, el azul y el Chanchich; desembocando en la Bahía de Chetumal, el relieve es escaso y carente de montañas, solo se presenta una suave declinación de oeste a este, hacia el mar Caribe (CONAGUA, 2004; INEGI, 2017).

Quintana Roo cuenta con 8 655 km de litorales, y se puede dividir en cinco secciones; de acuerdo con las características topográficas; el primero Puerto Morelos 20°50' de latitud, donde hay presencia de zonas de coral, de baja profundidad que son el efecto del afloramiento de los bancos de coral, con una barrera al norte que también es coralina, aguas cristalinas y gran biodiversidad,

De igual manera según Merino (1986); Muestra información sobre las corrientes superficiales en las playas de Quintana Roo las cuales están pegadas a la línea de costa y son particulares para cada uno de los sitios de muestreo (Fig. 2).

La segunda sección, en playa Punta del Sur, al sur de la isla Cozumel, caracterizada por playas de roca caliza, cuyas puntas más notables son Punta Celis y Playa del Carmen.

La tercera, se presenta en una línea continua a lo largo de 35 km aproximadamente y luego las Bahías de Asunción (19°40' en su parte media) obstruidas por cayos y arrecifes.

La cuarta sección no presenta ningún accidente geográfico considerable y culmina en Bacalar Chico, en el límite de cayo Ambergris, que ya pertenece a Belice.

Por último, la quinta sección se encuentra en las costas del noreste, norte y este de la Bahía de Chetumal, comunicándose por la Bahía de San José a la Laguna de Bacalar, que a su vez se conecta con el río Hondo por el canal de Chac Ver figura 2 llaves en color naranja.

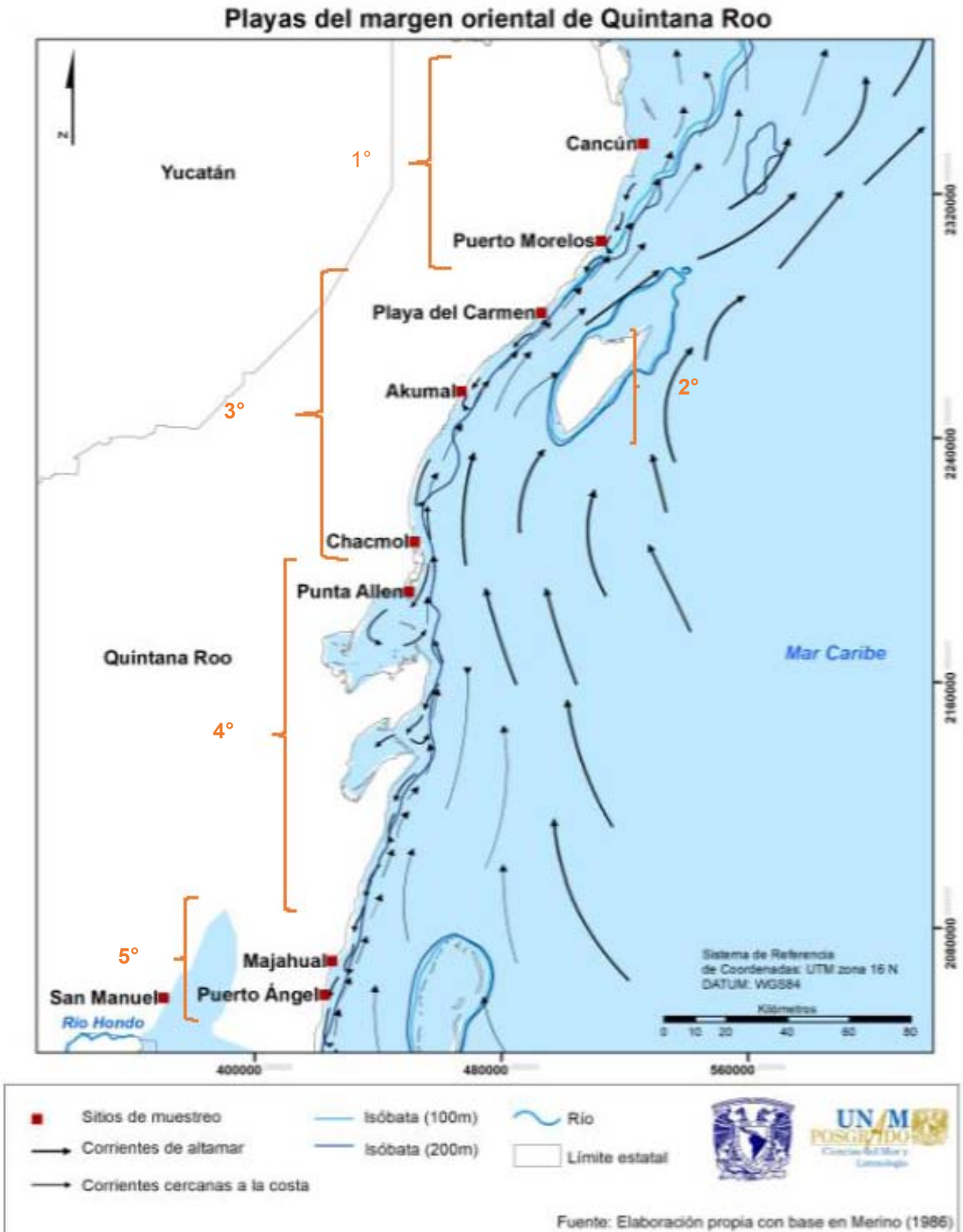


Figura 3. Mapa de las corrientes superficiales de las playas de Quintana Roo, Modificado de Merino 1986.

5.2 Trabajo de campo

Los miembros del Laboratorio de Sedimentología del ICMYL, UNAM que participaron en el muestreo, realizaron perfiles de playa *in situ*, utilizando el método de nivelación diferencial, en el cual se obtuvieron datos de altura al ojo, rumbo, distancia, lectura, posicionamiento geográfico, así como una descripción del área de muestreo, todo esto se capturó en un formato de campo.

Los perfiles de playa abarcaron las subzonas de la zona litoral, denominadas: infraplaya, mesoplaya y supraplaya en cada uno de los perfiles realizados (Fig. 1). Cada zona está definida de la siguiente manera:

Supraplaya (Sp). Zona superior de la playa hacia el continente, la cual está limitada por la vegetación, dunas o construcciones.

Mesoplaya (Ms). Zona de la playa que comprende el mínimo y máximo retroceso del oleaje.

Infraplaya (Lp). Zona de la playa que está siempre sumergido, en el cual el oleaje toca fondo y el material no consolidado presenta un movimiento.

5.2.1 Recolección de muestras

Asociadas a los perfiles de playa en los nueve sitios de muestreo; se obtuvieron las muestras de sedimento, tomando solo el centímetro superficial con ayuda de una pala para las zonas de supra, meso e infra playa.

5.3 Trabajo de laboratorio

5.3.1 Determinación de color en seco antes y después de homogeneizar

El color del sedimento se obtuvo, utilizando las tablas de Munsell, lo cual permitió determinar los colores presentes para cada uno de los sedimentos muestreados.

La determinación del color permite obtener una aproximación del grado de saturación de agua en el sedimento, así como para tener una primera aproximación en cuanto a la composición de los mismos.

5.3.2 Cuarteo

Este método que permite obtener una sub-muestra representativa, que no tenga un sesgo y que sea tomada de manera aleatoria. Para tal efecto, se tomaron 20 g de la muestra original y se colocaron en el cuarteador, obteniendo dos partes de 10 g, de las cuales una

se colocó de nuevo en el cuarteador y se obtuvieron 5 g. Este procedimiento se realizó hasta obtener los 40 g que fueron utilizados para la determinación granulométrica, por lo que fue necesario repetir el proceso 8 veces para obtener el peso final.

5.3.3 Análisis Granulométrico

Para este análisis se ocuparon 40 g de muestra cuarteada, que fueron llevadas al Ro-Tap con tamices Shaker del Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El tamizado se realizó con un intervalo granulométrico de media unidad phi (Φ) en la abertura de malla por un periodo de 20 minutos. Los materiales tamizados fueron pesados por separado y guardados en bolsas debidamente rotulados.

5.3.4 Parámetros texturales

Para determinar los parámetros texturales se utilizaron las formulas y limites propuestos por Folk (1980).

Tamaño Gráfico Promedio ($Mz\Phi$)

Este expresa el diámetro de las partículas de una muestra y es un parámetro estadístico que representa el tamaño de grano medio en la distribución de los sedimentos. La diferencia en la distribución de tamaños de partícula se relaciona con las características de la roca fuente y la distancia entre la fuente y el sedimento, con respecto al área de depósito.

De igual manera muestra información sobre los mecanismos de selectividad que existen en el área de depósito, los cuales van a influir directamente sobre las características granulométricas del sedimento; por lo que este parámetro permitirá conocer la naturaleza de los sedimentos y las condiciones en que se están depositando.

El tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$) se calcula de la siguiente manera:

$$Mz\Phi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

Los límites son:

-1 Φ a 0.01 Φ	Arena muy gruesa
0.01 Φ a 1.0 Φ	Arena gruesa
1.1 Φ a 2.0 Φ	Arena mediana
2.01 Φ a 3.0 Φ	Arena fina
3.01 Φ a 4.0 Φ	Arena muy fina

Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I \Phi$)

La desviación estándar gráfica inclusiva proporciona el grado de clasificación de la muestra, es decir, brinda el grado de homogeneidad de los granos de sedimento, la clasificación de los sedimentos se ve afectada por el grado de turbulencia, la velocidad de transporte, y la naturaleza de los mismos (Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005).

La Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I \Phi$) se calcula:

$$(\sigma_I \Phi) = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{3}$$

Y sus límites son:

<0.35 Φ	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50 Φ	Bien clasificado
0.50 a .071 Φ	Moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.0 Φ	Moderadamente clasificado
1.0 a 2.0 Φ	Mal clasificado
2.0 a 4.0 Φ	Muy mal clasificado
>4.0 Φ	Extremadamente mal clasificado

Grado de asimetría (Sk_I)

El grado de asimetría muestra la manera en que los sedimentos se dispersan e indica que las curvas de asimetría positiva representan a las muestras con un exceso de material fino, mientras que las curvas con asimetría negativa muestran un exceso en los materiales gruesos.

Esta es una medida importante, ya que puede funcionar como un indicador de mezcla de arenas finas y gruesas (Folk, 1980).

La ecuación para calcular el grado de asimetría gráfica es:

$$Sk_I = \frac{\Phi 16 + \Phi 84 - 2 \Phi 50}{2(\Phi 84 - \Phi 16)} + \frac{\Phi 5 + \Phi 95 - 2 \Phi 50}{2(\Phi 95 - \Phi 5)}$$

Desde:

1.00 a 0.30	Muy asimétrico hacia los finos
0.30 a 0.10	Asimétrico hacia los finos
0.10 a -0.10	Simétrico
-0.10 a -0.30	Asimétrico hacia los gruesos
-0.30 a -1.0	Muy asimétrico hacia los gruesos

Curtosis gráfica K_G

La Curtosis gráfica es una medida que permite saber el grado de “apicamiento” en las curvas de frecuencia, como relación de proximidad entre los valores centrales, siendo generalmente de 50 % el central y los valores externos encontrándose en 90 %.

Si la curva es unimodal y presenta un pico agudo se dice que tiene una distribución de tipo leptocúrtico; si presenta una región horizontal la distribución es de tipo platicúrtico; y si presenta una distribución parecida a la normal, se dice, que es de tipo mesocúrtico. Esta medida refleja el número de tamaños de grano que hay dentro de la muestra de distribución.

La ecuación para calcular este parámetro es:

$$K_G = \frac{\Phi 95 - \Phi 5}{2.44(\Phi 75 - \Phi 25)}$$

Desde:

<0.67	Muy platicúrtico
0.67 a 0.90	Platicúrtico
0.90 a 1.11	Mesocúrtico
1.11 a 1.50	Leptocúrtico
1.50 a 3.00	Muy leptocúrtico
>3.00	Extremadamente leptocúrtico

5.3.5 Análisis Petrológico

Para este análisis se realizaron láminas delgadas correspondientes a la fracción arenosa del sedimento, se tamizaron en húmedo las muestras con alto contenido de arena, porque las arenas tienen origen como partículas sólidas que se desprenden de la roca y son a la vez suficientemente pequeñas para observar una muestra con un considerable número de granos por lámina, conservando así la textura y composición original, pese al transporte y procesos diagenéticos a los que estén sometidos (Sánchez-Zavala y Centeno-García, 2000). Finalmente, con estas láminas se realizaron dos conteos diferentes.

5.3.6 Conteo de terrígenos y biógenos

Para determinar la composición de la fracción arenosa, se utilizó el método cuantitativo más comúnmente usado, que es el petrográfico, mediante un conteo de punto. Este consiste en el conteo de granos de arena en el microscopio, utilizando una platina graduada que permite el movimiento de la lámina delgada a un intervalo de distancia, formando una red de puntos en un sistema coordinado (Sánchez-Zavala y Centeno-García, 2000), con el cual se está realizando un registro de cada punto indicando la composición del grano localizado en el centro de la retícula.

5.3.7 Conteo de ocho grupos

Con el mismo conteo que para terrígenos y biógenos se contabilizaron 300 granos por lámina utilizando para ello los siguientes grupos: moluscos, *pellets*, foraminíferos, oolitos, algas calcáreas, fragmentos de coral y equinodermos y otros; en este último se incluyeron espículas de sílice y restos que no se pudieron identificar pero que son de origen biogénico. En este último grupo (espículas de sílice y otros), se colocaron juntos ya que al hacer una revisión preliminar de las láminas se observó asociación entre corales y equinodermos, al igual que Carranza-Edwards *et al.* (2015).

5.3.8 Determinación de materia orgánica

Se realizó utilizando el método propuesto por Walkey- Black en (1947), adaptado y modificado por Jackson en (1958) y que se basa en una oxidación exotérmica de la materia orgánica en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N.

Posteriormente, el exceso de dicromato de potasio se tituló con sulfato ferroso amoniacal [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] 0.5N, hasta obtener un vire verde brillante, utilizando difenilamina ($C_{12}H_{10}NH$) como indicador. Este proceso diferencia materia orgánica húmica de otras fuentes de carbono inorgánico.

5.3.9 Determinación de carbonatos

Se realizó utilizando la técnica propuesta por Hesse (1971) que consiste en la titulación con hidróxido de sodio 0.3 N del exceso de ácido clorhídrico 0.1 N agregado que no reacciona con los carbonatos presentes en las muestras de sedimento que se analicen. La exactitud de esta determinación se tiene, utilizando carbonato de calcio, con la finalidad de obtener el porcentaje de recuperación y el coeficiente de variación.

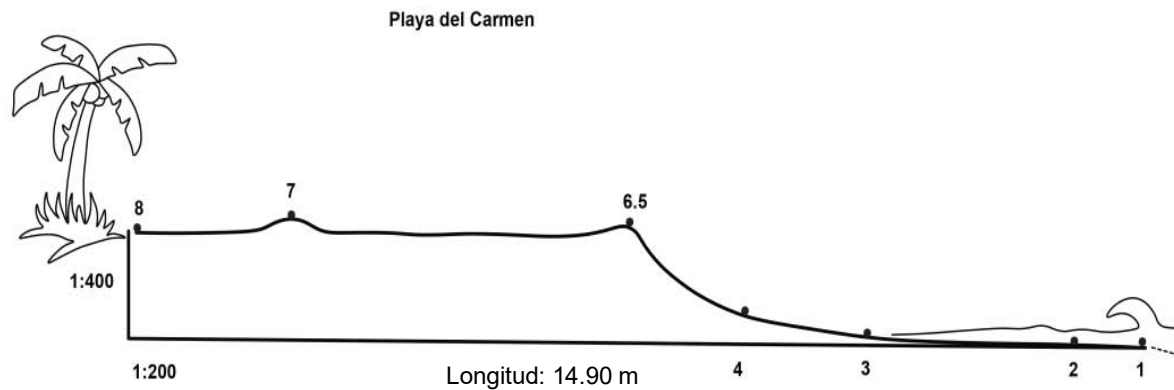
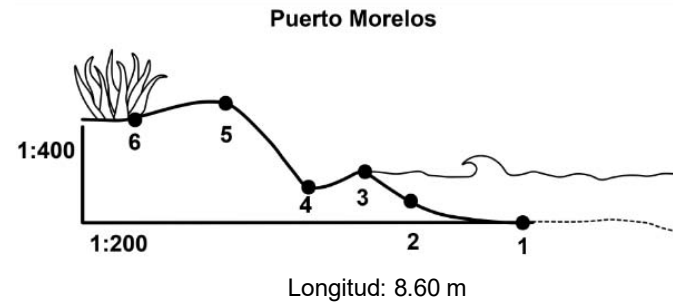
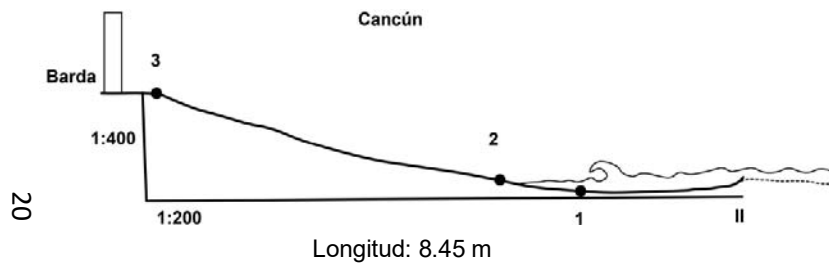
5.4 Trabajo de gabinete

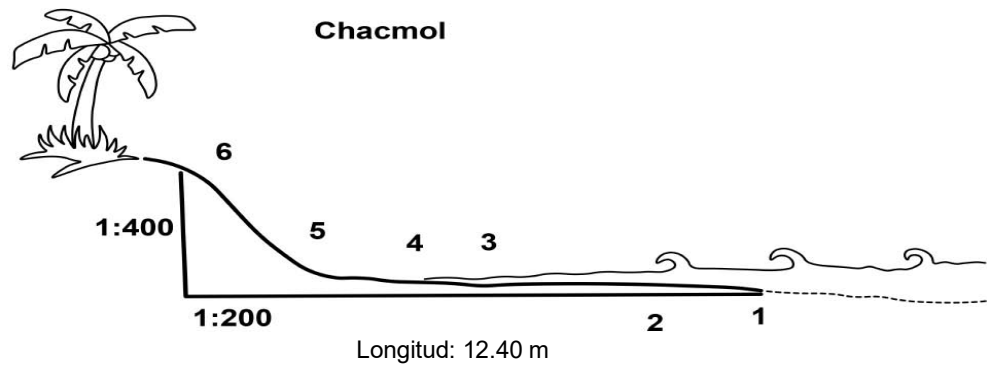
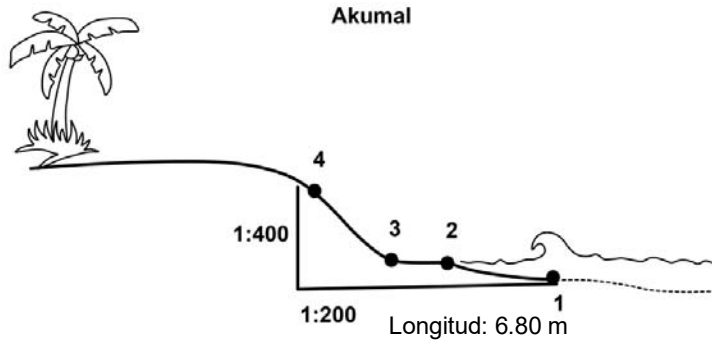
Se elaboraron perfiles de perfiles de playa, con el software Corel Draw (versión 12), con una escala vertical 1:250 y horizontal 1:500 para obtener una exageración vertical de 2x. con base en los datos obtenidos en 1982 y para realizar el análisis de cada uno de los sitios de muestreo. Se realizaron los gráficos con paquetería estadística y paquetería de Office, con la finalidad de reducir gran cantidad de datos en factores, los cuales contienen gran cantidad de variables que se relacionan con los datos.

VI RESULTADOS

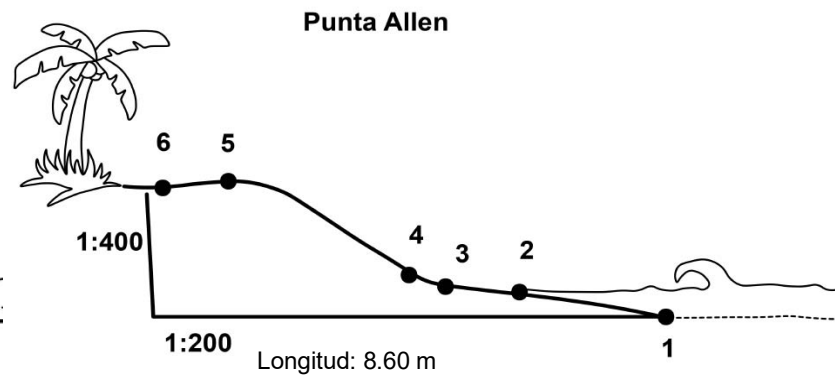
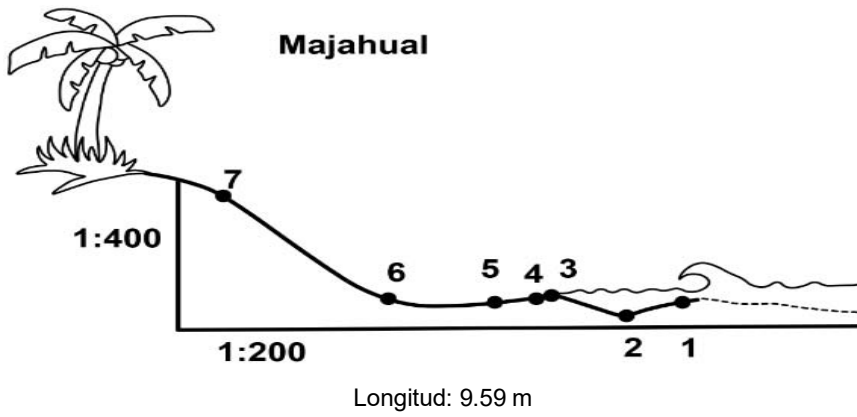
6.1 Morfología de los perfiles de playa

Elaboración de los perfiles de playa para los nueve sitios de muestreo en el litoral de Quintana Roo dio como resultado los esquemas que se muestran en la figura 4, en los que se observa, las playas más amplias Cancún, Playa del Carmen, Chacmol, Puerto Ángel y San Manuel, y las playas más angostas y con mayor pendiente; Puerto Morelos, Akumal, , Majahual y Punta Allen, siendo San Manuel la playa más extensa con 19 m y la más pequeña Akumal con 6.8 m.





21



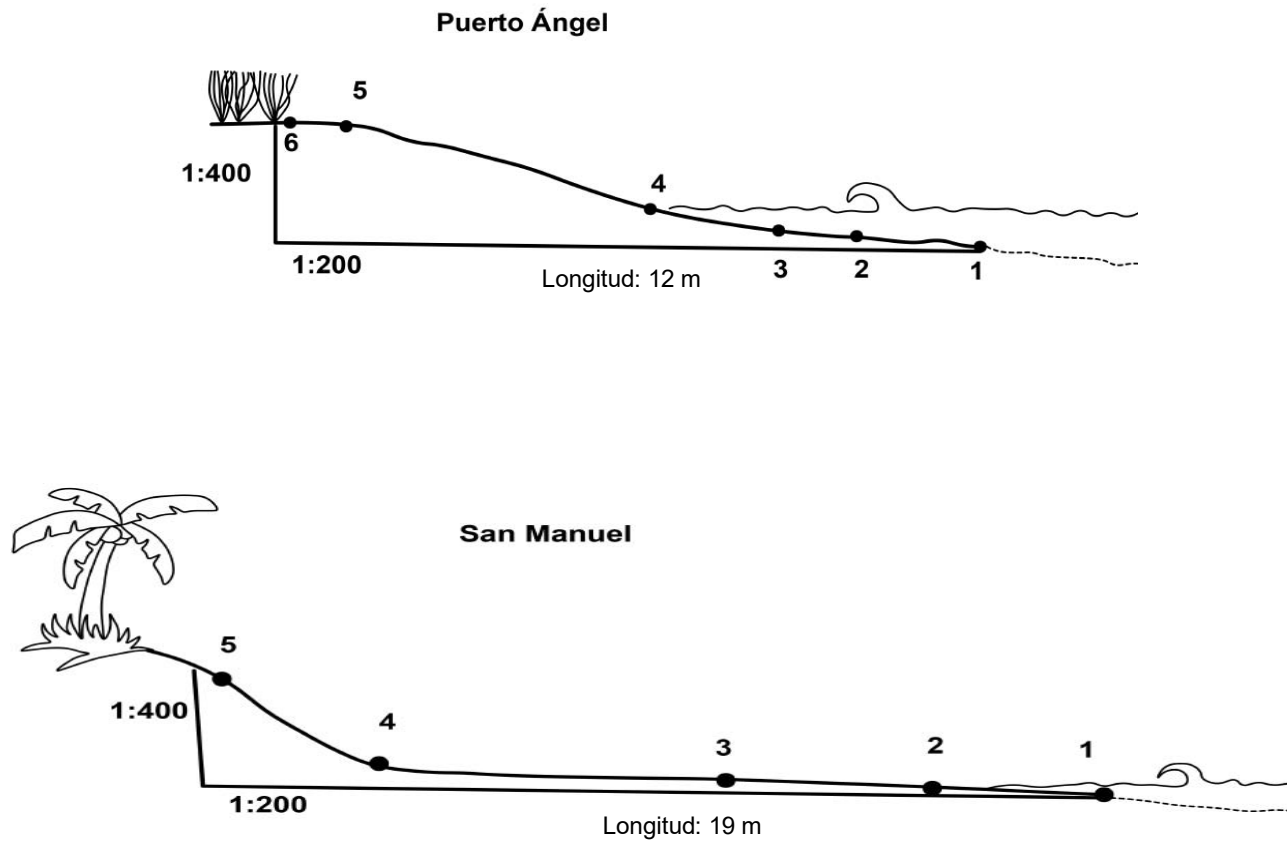


Figura 4. Obtención de los perfiles de playa del estado de Quintana Roo, los puntos representan las zonas de las que se tomaron las muestras de arenas superficiales.

6.2 Análisis granulométrico

Los parámetros texturales derivados del análisis granulométrico de los sedimentos en las nueve playas de este trabajo se muestran en la tabla 1, registrándose diferencias notables para el caso del tamaño gráfico promedio y el grado de asimetría entre Akumal y San Manuel; para Akumal se obtuvo una clasificación de arenas muy gruesas, con asimetría hacia los gruesos, mientras que para San Manuel se obtuvo arenas muy finas muy asimétrico hacia los finos.

En el caso de la desviación estándar gráfica inclusiva se obtuvo diferencia entre Cancún y San Manuel, para el caso de Cancún, la homogeneidad se representó bien clasificada y para San Manuel la homogeneidad fue muy mal clasificada, para la curtosis gráfica Akumal presento un apicamiento muy leptocurtico, mientras que San Manuel presento un apicamiento platicúrtico.

Estas mismas diferencias se pueden observar en la figura 5 donde queda de manifiesto que los valores de playa San Manuel salen del promedio con respecto al resto de las playas trabajadas en esta investigación.

Tabla 1. Parámetros texturales de los sedimentos frente a playas de Quintana Roo: tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$), milímetros del tamaño gráfico promedio (mm), desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I\Phi$), el grado de asimetría (Sk_I), la curtosis gráfica K_G promedio.

Promedio	$Mz\Phi$	$Mz\Phi$ en mm	$(\sigma_I\Phi)$	(Sk_I)	K_G
1 Cancún	2.15	0.21	0.39	-0.12	1.11
2 Puerto Morelos	2.16	0.24	0.52	-0.18	1.08
3 Playa del Carmen	1.80	0.298	0.63	-0.11	0.97
4 Akumal	0.85	0.595	0.79	0.03	2.03
5 Chacmol	1.77	0.297	0.54	0.06	1.50
6 Punta Allen	2.10	0.25	0.76	-0.28	1.35
7 Majahual	1.40	0.354	0.86	-0.14	1.31
8 Puerto Ángel	1.75	0.297	0.71	-0.08	0.70
9 San Manuel	3.73	0.074	2.16	0.56	2.33

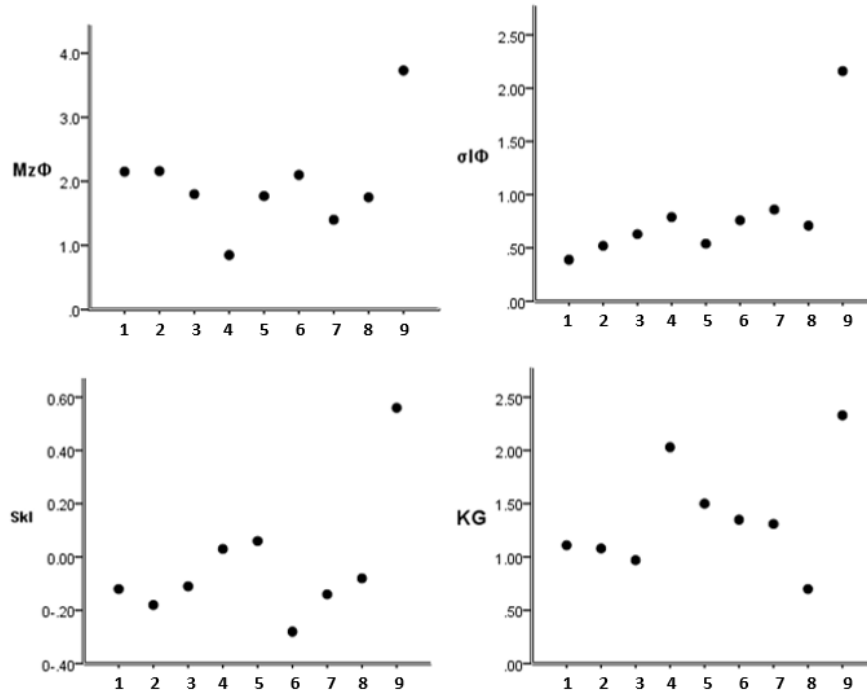


Figura 5. Parámetros texturales de los sedimentos frente a playas de Quintana Roo, organizadas de Norte a Sur del estado: **1** Cancún, **2** Puerto Morelos, **3** Playa del Carmen, **4** Akumal, **5** Chacmol, **6** Punta Allen, **7** Majahual, **8** Puerto Ángel y **9** San Manuel.

6.3 Conteo de terrígenos y biógenos

Se realizó un conteo de los terrígenos y biógenos, considerando 100 granos por lámina delgada, con los cuales se obtuvieron las gráficas para cada una de las zonas muestreadas, el color gris oscuro (con rayas) representa a los terrígenos encontrados para cada playa, mientras que la franja de color gris claro (con puntos) muestra la dominancia de los biógenos en los sitios de muestreo en los gráficos se puede observar que los biógenos representan más del 95 %, en la muestra total. (Figs. 6-8).

Sin embargo, la presencia de terrígenos se encuentra en porcentajes más altos para Chacmol en las zonas de supra e infra playa representando aproximadamente el 50 % (Figs. 6-8). Cabe destacar que la única playa con 100 % de biógenos para las tres zonas (supra, meso e infra playa) fue Akumal (Figs. 6-8).

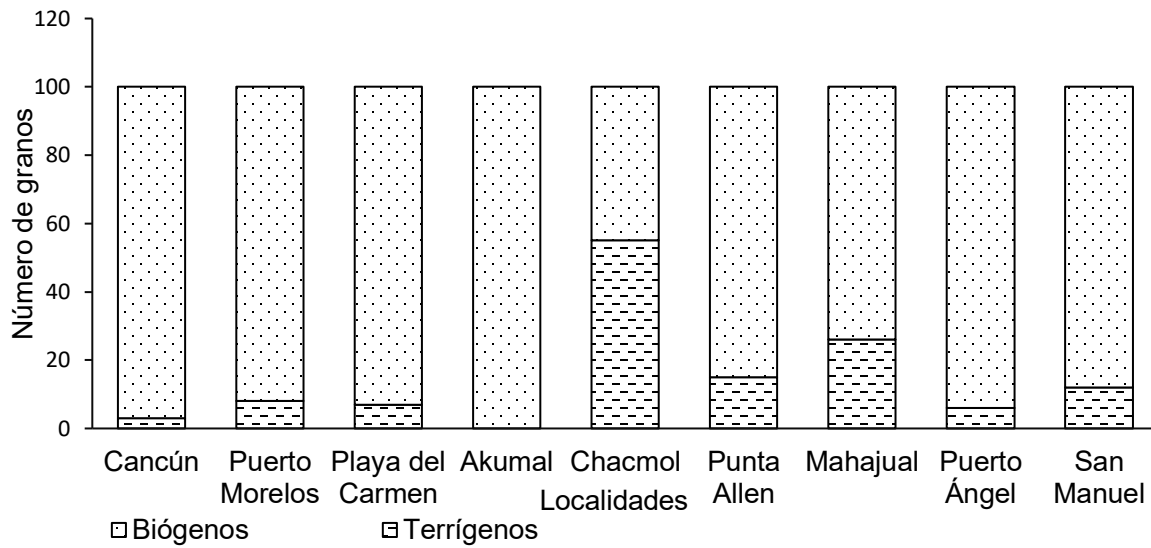


Figura 6. Terrígenos y biógenos para la zona de supraplaya de arenas superficiales de Quintana Roo.

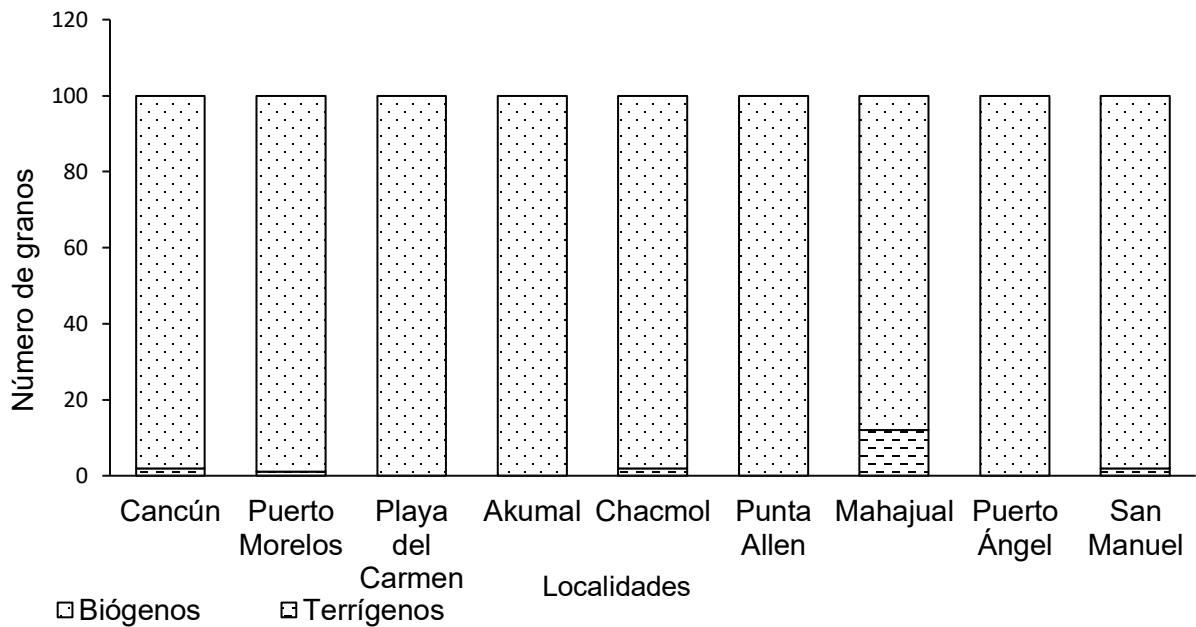


Figura 7. Terrígenos y biógenos para la zona de mesoplaya de arenas superficiales de Quintana Roo.

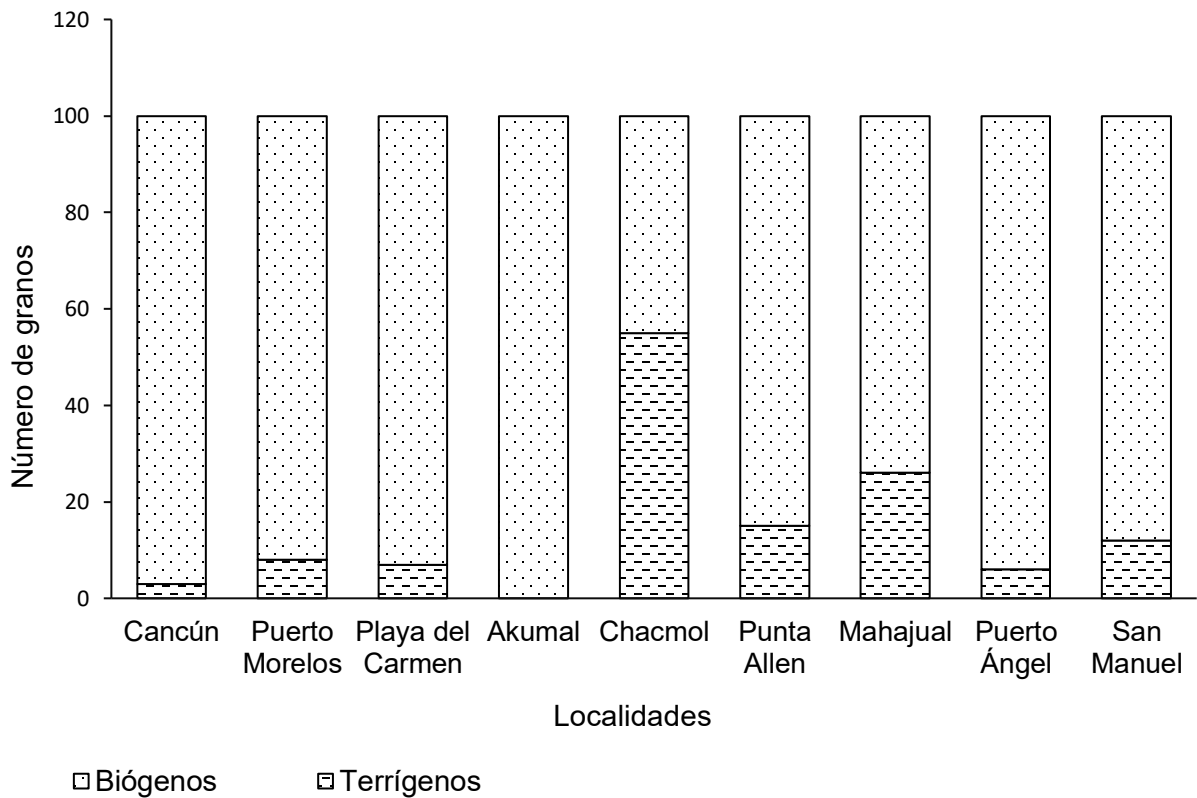


Figura 8. Terrígenos y biógenos para la zona de infraplaya de arenas superficiales de Quintana Roo.

6.4 Análisis de láminas delgadas

Se realizó un conteo de 300 granos para cada lámina delgada, y se obtuvieron las siguientes gráficas para cada una de las zonas (Figs. 8-10). Se encuentran representados ocho campos de conteo, que incluyen; *pellets*, moluscos, foraminíferos, algas calcáreas, equinodermos y corales, otros (incluyen organismos que no entran en las categorías asignadas y que tienen una composición distinta al CaCO_3), “*beach rock*” y oolitos.

En las gráficas se muestra la frecuencia de aparición correspondiente a cada uno de los grupos con respecto las distintas zonas establecidas: supra, meso e infra playa.

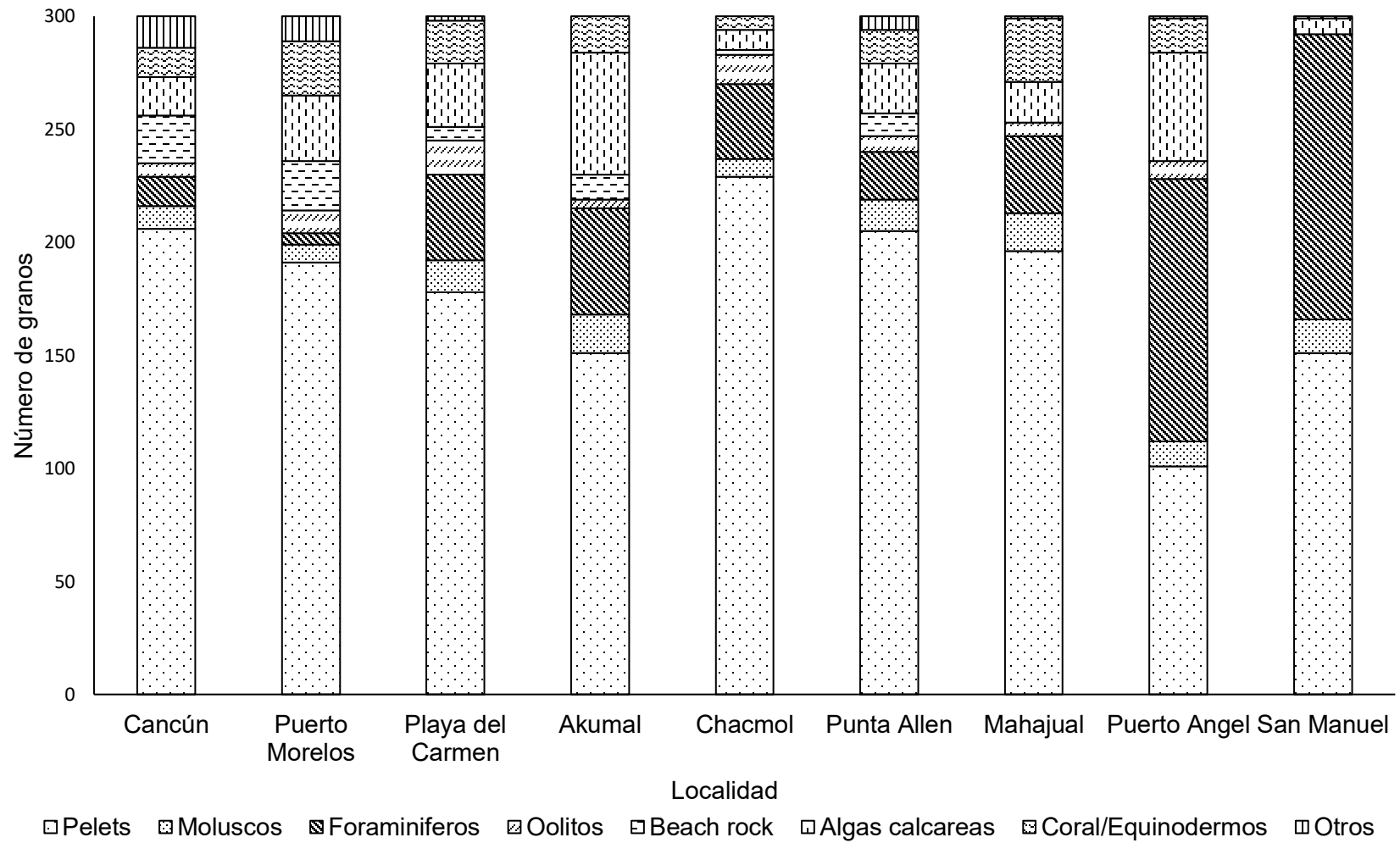


Figura 9. Conteo de componentes principales en láminas delgadas de arenas superficiales de Quintana Roo para la zona de supraplaya.

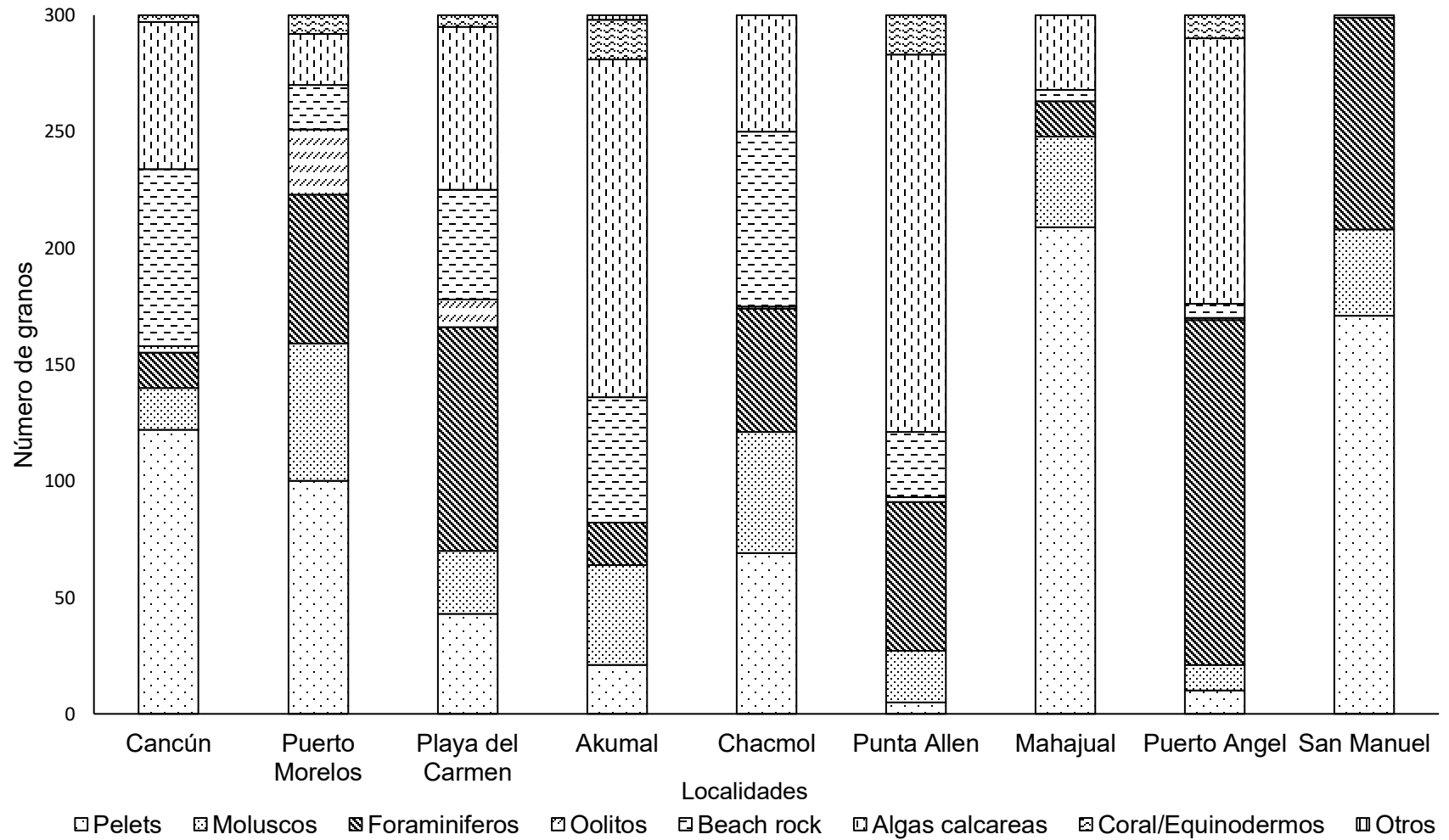


Figura 10. Conteo de componentes principales en láminas delgadas de arenas superficiales de Quintana Roo, para la zona de mesoplaya.

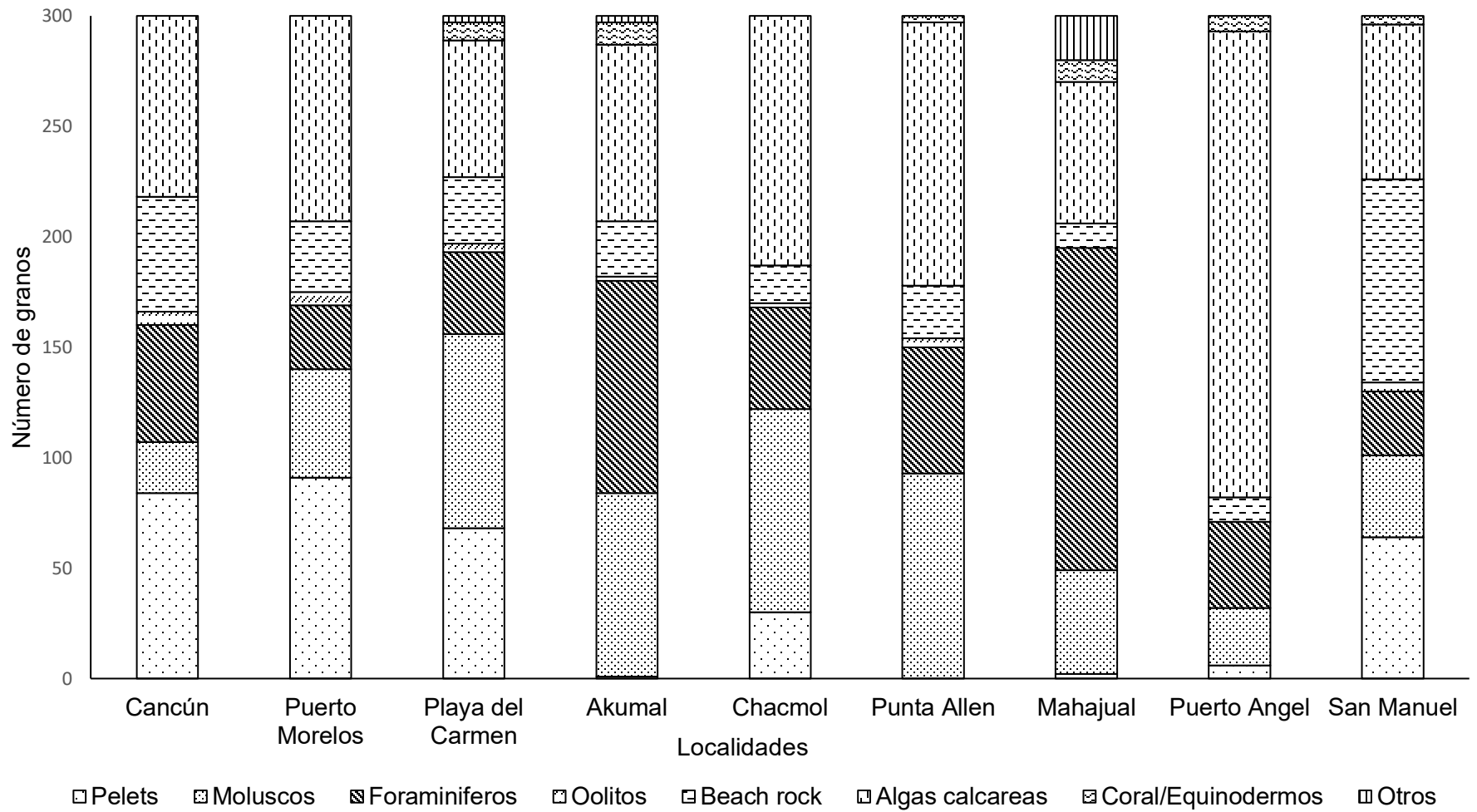


Figura 11. Conteo de componentes principales en láminas delgadas de arenas superficiales de Quintana Roo, para la zona de infraplaya.

6.5 Toma de fotografías

Se obtuvieron fotografías de las láminas delgadas, en las cuales se representó a cada uno de los ocho grupos que se contabilizaron en los 300 granos por lámina delgada y que corresponden a las zonas de meso, supra e infra playa. Estas fotos se tomaron con una cámara acoplada al microscopio, y en el microscopio petrográfico, algunas de las fotografías se tomaron con nicoles cruzados, como fue el caso de la correspondiente a algas calcáreas (Fig. 16 A), con una regleta ubicada en el ocular, y se proporcionó una descripción del grupo en cuestión.

6.5.1 Moluscos

Los moluscos son considerados el segundo phylum más diverso después de los artrópodos, integrado por más de 200 000 especies vivas y 70 000 especies fósiles (Fernández-Alamo y Rivas, 2007).

Este phylum actualmente se encuentra dividido en ocho clases: *Gastropoda*, *Bivalvia*, *Polyplacophora*, *Scphopoda*, *Monoplacophora*, *Caudofoveata*, *Solenogastres* y *Cephalopoda*, de los cuales algunos tienen presencia en el sustrato y se conocen como micromoluscos; definiendo a los micromoluscos para este trabajo a los organismos que pertenecen a esta clase y que tienen tamaños menores a 1 cm (Fig. 12) (Fernández-Alamo y Rivas, 2007; González Liano, 2015). Los moluscos estuvieron presentes en todas las playas y fue el grupo más abundante en la zona de infraplaya (Figs. 9-11).

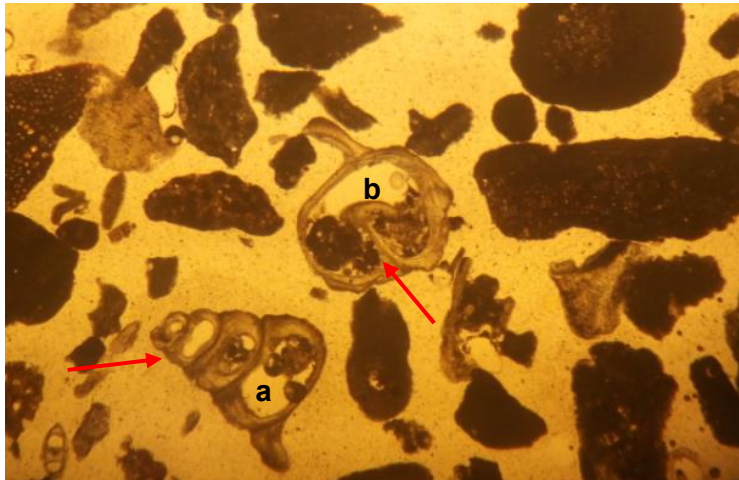


Figura 12. Representantes del phylum Mollusca; a) gasterópodo, b) bivalvo vistos en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 3.5 mm y corresponden a organismos de infraplaya.

6.5.2 Foraminíferos

La mayoría de los foraminíferos son marinos, bentónicos o planctónicos, algunos son de agua salobre y muy pocos de agua dulce. Son de vida libre y son muy abundantes en los mares actuales, igual que en el pasado.

Este grupo constituye fuente de información sobre estratigrafía y son utilizados en la prospección del petróleo, siendo objeto de investigación actual (Fig. 13) (Buitrón *et al.*, 2010), algunos como los foraminíferos planctónicos, en la actualidad son utilizados en diversos campos particularmente en las ciencias ambientales (Jones,2014) este grupo se presentó en todas las playas de esta investigación (Figs. 9-11) presentando la mayor abundancia en las zonas de meso e infra playa.

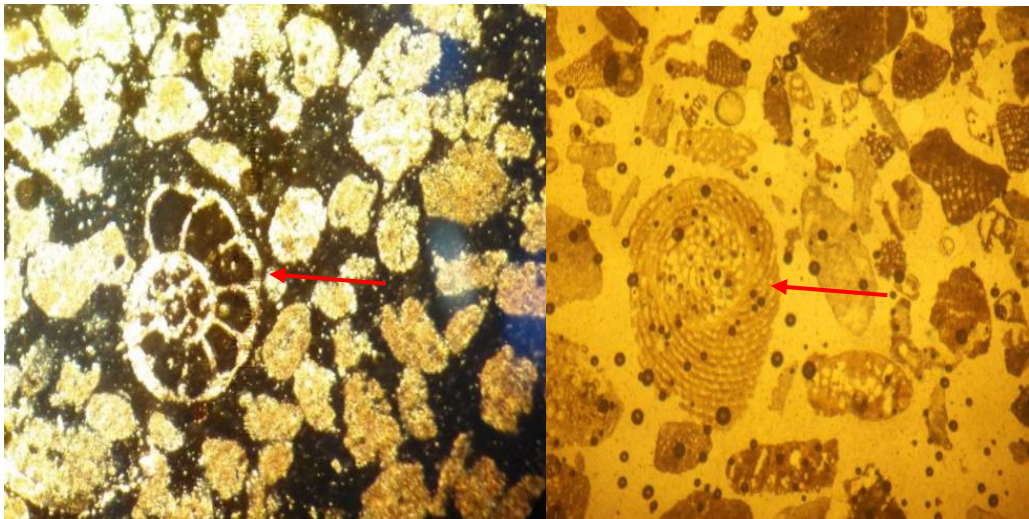


Figura 13. Fotografía de foraminíferos vistos en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 4.5 mm y corresponden a la zona de supraplaya.

6.5.3 Equinodermos

El phylum Echinodermata está integrado por aproximadamente 7000 especies vivientes, agrupadas en cinco clases: *Crinoidea* (conocidos comúnmente como lirios o canastas de mar), *Asteroidea* (estrellas de mar), *Ophiuroidea* (estrellas quebradizas), *Echinoidea* (erizos, galletas y bizcochos de mar) y *Holoturoidea* (pepinos de mar) (Fig. 14), los cuales se encuentran asociados al sustrato y que pueden ser encontrados en los sedimentos como organismos enteros o solo fragmentos de sus exoesqueletos (Fernández-Almo y Rivas, 2007).

Este grupo se presentó en la zona de infra y meso playa, siendo más abundante en Akumal, Mahajual y Chacmol con respecto a otras zonas y playas (Figs. 9-11)

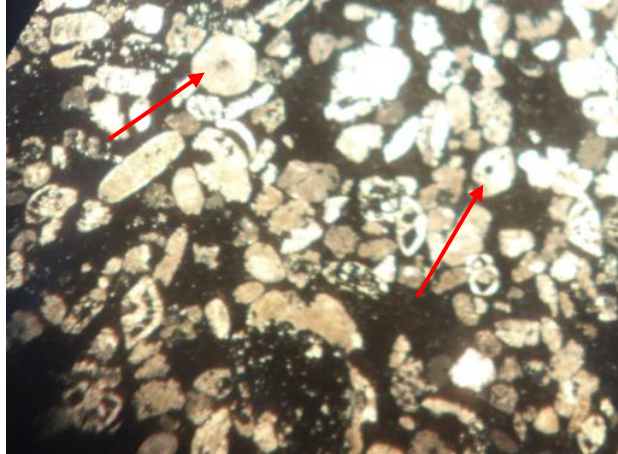


Figura 14. Fragmento de un equinodermo visto en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 2 mm y corresponden a mesoplaya.

6.5.4 Esponjas

El phylum Porífera está integrado por animales invertebrados relativamente simples, se distinguen por tener un cuerpo lleno de poros y canales, internamente están formados por conjuntos de células poco organizados que mantienen una actividad celular casi independiente y carecen de órganos especializados.

Existen tres clases que tienen representantes vivos: *Calcarea* (las esponjas calcáreas) tienen un exoesqueleto de carbonato de calcio (CaCO_3) (Fig. 15) *Hexactinellida* (esponjas vítreas) que tienen un exoesqueleto de sílice y las *Demospongiae* (demosponjas) que son las más numerosas (Fernández-Almo y Rivas, 2007). Se contabilizo a este grupo en la zona de supraplaya en Cancún (Fig. 9) y para la zona de infraplaya en Majahual (Fig. 11).

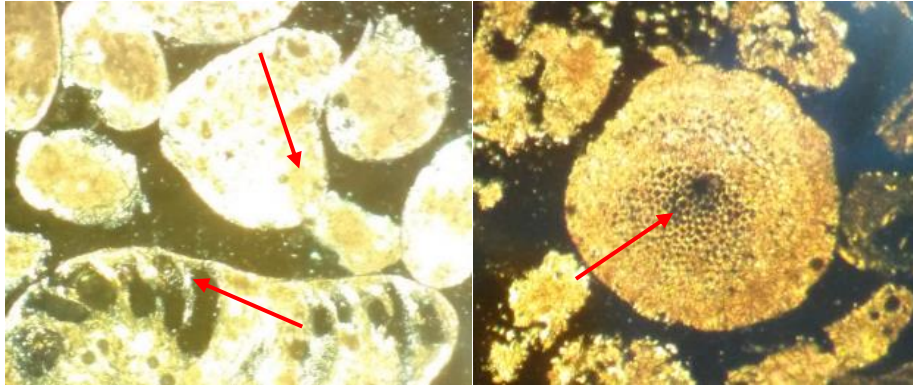


Figura 15. Fragmentos de esponjas calcáreas vistos en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 6 mm y corresponden a mesoplaya.

6.5.5 Algas calcáreas

Es un término informal que agrupa a varios grupos de protoctistas pluricelulares fotosintéticos, bentónicos. Tienen la facilidad de calcificarse parcial o totalmente, y cuyos fragmentos articulados son capaces de disgregarse para formar parte de los componentes bioclásticos de la fracción arenosa (Fig. 16) (Canudo, 2002).

Este grupo está presente en todas las zonas y playas de esta investigación siendo más dominante en meso e infra playa (Figs. 9-11).

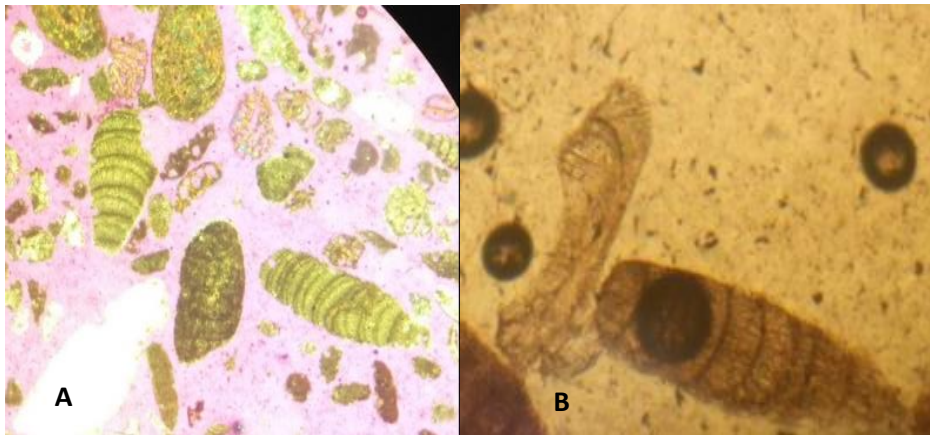


Figura 16. Algas calcáreas vistas en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 3.7 mm y corresponden a mesoplaya.

6.5.6 Pellets

Son productos catalogados como biomasa sólida, el cual está constituida por pequeños cilindros de pocos milímetros de diámetro, son granos micríticos no estructurados, de tamaño medio comprendido entre 0.1-0.5 mm y de diferente origen fecal, representando muy buena selección, estos pueden ser aglutinados por cemento de calcita aspártica fina (Fig. 17).

Otra manera de definirlo es la de un grano aloquímico, con tamaño medio entre 100-500 μm , compuesto de carbonato de cripto a microcristalino; con forma redondeada o subredondeada, esférica, elipsoidal o irregular, y sin estructura interna (Bathurst, 1975).

Este grupo se encuentra mejor representado en la zona de supraplaya con una presencia del 50 % del total de granos contados para cada una de las playas, y se mantiene presente en el resto de las zonas y playas en menores porcentajes (Figs. 9-11).

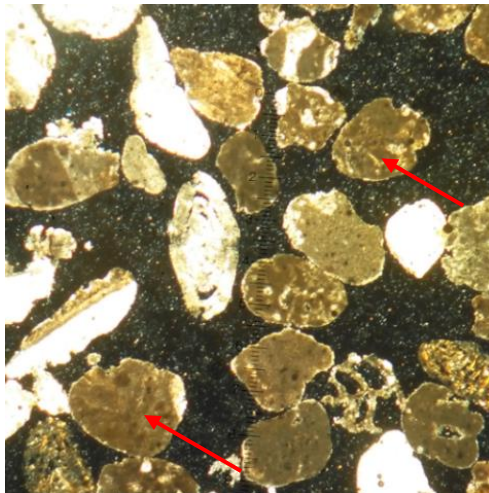


Figura 17. *Pellets* vistos en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 1.2 mm y corresponden a la zona de mesoplaya.

6.5.7 Oolitos

Son partículas carbonatadas, esféricas-subesféricas, en general de tamaño de grano que va de 0,25 a 2 mm, con un núcleo y envueltas concéntricas (Fig. 18). Aunque se originan en diversos ambientes, los genuinos se forman únicamente en ambientes de sedimentación marina de alta energía (Scholle, 1978).

Este grupo se identificó en la zona de supraplaya para Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen Mahajual y Puerto Ángel, para mesoplaya para Puerto Morelos y Playa del Carmen, para infraplaya en Chacmol, punta Allen y San Manuel (Figs. 9-11).

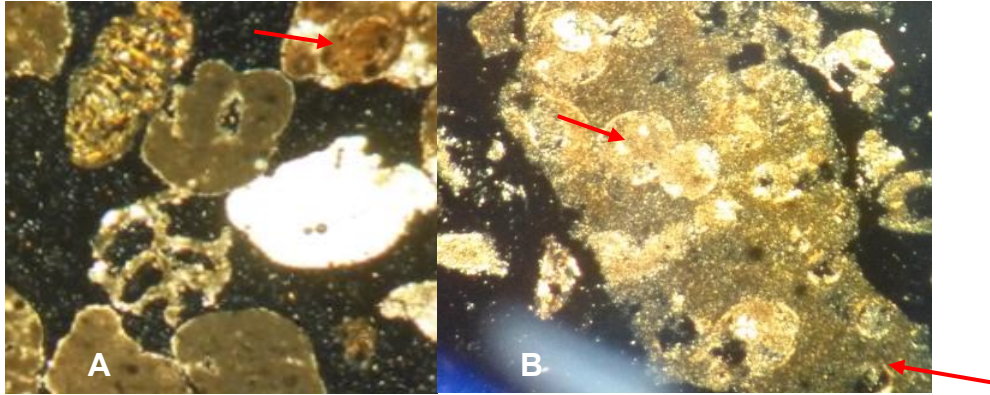


Figura 18. Oolitos en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; A) se observan los oolitos más completos, B) los oolitos ya se encuentran inmersos en un cementante, miden aproximadamente 4 mm y corresponden a mesoplaya.

6.5.8 *Beach rock*

Está definida como la arena de playa cementada por cristales de aragonita en ambiente de la zona de mesoplaya (Fig. 19). Dicho proceso de cementación es relativamente rápido y se ve favorecido por un clima árido (Folk, 1980).

Este grupo se encontró en las láminas delgadas de supraplaya en Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, en mesoplaya para playa del Carmen y Cancún, y en infraplaya para siete playas (Figs. 9-11).

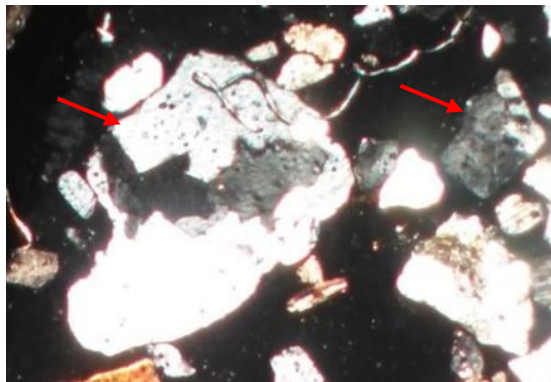


Figura 19. *Beach rock* vista en lámina delgada de arenas superficiales de Quintana Roo; miden aproximadamente 4 mm y corresponden a supraplaya.

6.6 Determinación de materia orgánica

La determinación de materia orgánica se realizó para la zona de mesoplaya de para las nueve playas (Tabla 2), ya que esta zona tiene el conjunto de elementos contenidos en supraplaya y en infraplaya. Se observa que la playa con mayor contenido de materia organica es San Manuel, mientras que la playa con menores valores es Chacmol, las nueve playas presentan en promedio 27 % de materia orgánica.

Tabla 2. Porcentajes de materia orgánica en los sedimentos de la zona de mesoplaya

Localidad	% de materia orgánica
1 Cancún	0.35
2 Puerto Morelos	0.31
3 Playa del Carmen	0.25
4 Akumal	0.33
5 Chacmol	0.22
6 Punta Allen	0.32
7 Majahual	0.44
8 Puerto Ángel	0.25
9 San Manuel	1.04

6.7 Difracción de rayos X

En la tabla se puede observar que las playas con mayor concentración de Aragonita es Puerto Morelos y la de menor contenido es San Manuel, para el caso de la calcita es mayor en San Manuel y menor en Puerto Morelos, para el caso del porcentaje de cuarzos, la paya con mayor porcentaje es Punta Allen y los que muestran ausencia de cuarzos son Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Majahual y Puerto Ángel.

Tabla 3. Porcentaje en el contenido de aragonita, calcita y cuarzos silíceos en las muestras de mesoplaya para los nueve sitios de muestreo.

	Aragonita	Calcita	Cuarzos
	%	%	%
1 Cancún	83.2	16.8	0
2 Puerto Morelos	84.6	15.4	0
3 Playa del Carmen	71.8	28.2	0
4 Akumal	57.7	38.9	3.4
5 Chacmol	75.8	21.3	2.9
6 Punta Allen	65.6	30.2	4.2
7 Majahual	53.8	46.2	0
8 Puerto Ángel	54.5	45.5	0
9 San Manuel	5.6	91.5	2.9

6.8 Determinación de carbonatos

La determinación de carbonatos se realizó para playas que conforman la Riviera Maya (Tabla 4), para poder asociar estos datos a las composiciones de biógenos en esta región, forada por la playa de Cancún, Puerto Morelos y Playa del Carmen.

Para el caso de Cancún este porcentaje de carbonato de calcio está justificado por la presencia de *pellets* y restos de algas calcáreas; en el caso de Puerto Morelos este carbonato se debe a la presencia de los fragmentos de moluscos y foraminíferos; y finalmente en Playa del Carmen este porcentaje de carbonato de calcio se justifica por la presencia de foraminíferos y algas calcáreas (Fig. 9).

Tabla 4. Carbonatos para playas de la Riviera Maya

Playa	CaCO₃
Cancún	97.68 %
Puerto Morelos	83.54 %
Playa del Carmen	86.76 %
Akumal	87.40 %

VII DISCUSIÓN

7.1 Morfología de los perfiles de playa

Las playas más extensas son las de Playa del Carmen (14.9 m), Chacmol (12.4 m) Puerto Ángel (12 m) y San Manuel (19 m), (Fig. 4), en el caso de estas dos últimas puede explicarse su amplitud porque que ambas playas se encuentran protegidas de los efectos físicos y climáticos, de igual manera, la precipitación puede ser un factor determinante en la amplitud de la playa San Manuel, ya que al encontrarse cerca de la desembocadura del río Hondo, el aporte de sedimentos es mayor y la velocidad de transporte impide su acumulación lo cual genera una playa tan ancha y, en lo que concierne a la región de la Riviera Maya (conformada por las playas de Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen y Akumal), las lluvias mensuales son mayores de julio a octubre, no obstante los perfiles en este trabajo se realizaron con información previa al Huracán Gilberto en 1988 (Fig. 4), por lo cual al compararlos con los perfiles de Carranza *et al.* (2015) se muestran algunas diferencias significativas con respecto a la amplitud de las mismas, para este artículo las playas son más amplias sin embargo la línea de costa se encuentra en un lugar diferente y las muestras recolectadas para el presente trabajo se encuentran 10-15 m dentro del mar.

El riesgo de erosión se incrementa cuando el patrón de transporte sedimentario es modificado por acciones del hombre, como la construcción inadecuada de infraestructura marítima y de estructuras de protección y por la deforestación de las áreas con dunas. Al perderse el material sedimentario, la playa se deteriora, retrocede, pierde calidad de hábitat y pierde su efecto amortiguador, pone en riesgo propiedades y bienes. Aunado a la pérdida económica y de servicios ecológicos, el deterioro de la playa también afecta a los sistemas costeros contiguos (Cuevas-Jiménez y Euan-Ávila, 2009).

El problema de la erosión de playas en las costas de Quintana Roo es preocupante, dado que afecta las propiedades próximas a la línea de costa, cobra gran importancia por la vocación turística y recreativa de la zona, así como el alto grado de urbanización que presentan algunas porciones costeras (Cuevas-Jiménez y Euan-Ávila, 2009), como es el caso de los perfiles de playa que podemos observar en Carranza *et al.*, (2015) en los cuales se ve que se han realizado construcciones, como hoteles para Cancún y Puerto Morelos, y bardas de concreto para Playa del Carmen y Akumal. Las playas actuales se encuentran afectadas por procesos de erosión, desde Playa del Carmen hacia el norte, lo cual se debe a procesos antropogénicos.

Dentro de estos procesos antropogénicos se encuentran, entre otros, los relacionados con el cambio de uso de suelo, los cuales determinaran de manera indirecta la amplitud de los perfiles de las playas. Por ejemplo, el crecimiento poblacional, ya que, al aumentar, los recursos son más demandados y por ende el consumo de los mismos hace que se dé un cambio de uso de suelo, el que con lleva a modificaciones de un área de manglar a un terreno agrícola o piscícola, el cual con el paso del tiempo será utilizado como un área urbana o industrial, dando como resultado un empobrecimiento del terreno.

La consecuencia de esta situación es que el área que en principio era de manglar disminuirá su infiltración y aumentará el escurrimiento, ya que se perderá toda la flora que se tenía en el lugar, los sedimentos erosionados serán de partículas finas que disminuirán aún más su tamaño al ser transportadas a las costas y no podrán ser retenidas por la alta energía que se presenta en las mismas, el resultado de esta modificación dará como consecuencia una playa más angosta y con mayor erosión, sin embargo esta explicación solo afectara a la playa de San Manuel que es la que se encuentra cercana a la desembocadura del Río Hondo que es el único que hay en Quintana Roo (Carranza-Edwards *et al.*, 2010).

En el caso de procesos de retención de sedimentos litorales debidos a obras de infraestructura, rompen el dogma de balance entre zonas de erosión y depósito, ya que al sacar más material o construir barreras que naturalmente no pueden ser pasadas, el transporte de los sedimentos se verá afectado.

Otro factor importante que puede determinar la estructura y amplitud de una playa dependerá de los eventos hidrometeorológicos que se presenten en el área, como sucede en Quintana Roo, Yucatán y Campeche que reciben con frecuencia el paso de huracanes, con mayores o menores aportes de sedimentos (Carranza *et al.*, 2015).

Los eventos hidrometeorológicos ocurridos entre 1851-2013 (NOAA, 2014), para el Caribe suman 174, entre tormentas tropicales (31), depresiones tropicales (22), huracanes (45) y huracanes intensos (76) es decir, existe una alta incidencia de huracanes para esta región.

Para King (1972), la marea influye de varias maneras sobre la playa: generando morfologías específicas, la variación de la altura de las olas desplaza la posición del rompeolas, que es donde existe mayor disipación de energía, la velocidad de las ondas va

a variar dependiendo de la profundidad que está determinada por la marea y que tiene como resultado una diferencia de arrastre en los diferentes perfiles de playa, con lo que se tiene que la distribución de los sedimentos no será necesariamente uniforme a lo largo del perfil, por lo cual es necesario tener una referencia de los puntos que se muestrean con los datos referidos del nivel medio del mar, otro factor importante a considerar será el oleaje ya que este va a jugar parte importante en las velocidades de transporte de los sedimentos en las diferentes playas.

El movimiento de las masas de agua del Caribe o Mar de las Antillas, se presentará de manera dominante hacia el norte (Fernández-Eguiarte *et al.*, 1992a y 1992b), pero las estimaciones de deriva con pelota de tenis para este muestreo indicaron movimiento dominante hacia el sur para casi todas las playas y únicamente en Playa del Carmen se obtuvo una corriente estacionaria, brindando entre otras características una mayor amplitud, mayor concentración de fragmentos de organismos y una tendencia hacia las arenas medianas moderadamente bien clasificadas y con oleajes no tan fuertes ya que se encuentra protegida por Cozumel, que es factor importante para que se de este tipo de corriente.

El calentamiento global también puede ser un proceso que genera una modificación en las líneas de costa y por consecuencia se dará una modificación en las playas. Esto puede ocurrir. Esto puede ocurrir entre otras cosas, por el aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, el cual puede producir el deshielo de los polos, de manera exponencial, teniendo como resultado un aumento en el nivel del mar y modificación de las playas, ya que. (por los procesos de erosión, en las zonas costeras de menor pendiente se modificarán de una manera más fuerte). El aumento de este CO₂ se debe entre otros factores a la acción del hombre y junto con los factores ambientales coloca todo en un panorama de modificación de la línea de costas aún más severo.

7.2 Análisis granulométrico

Se utilizaron todas las muestras a lo largo de los perfiles de playa, las cuales después de ser tamizadas y manipuladas permitieron graficar los datos obtenidos en una escala logarítmica para obtener los percentiles y de esta manera encontrar los valores de las medias, medianas y desviaciones estándar, así como la asimetría y curtosis (Folk, 1966).

En general, las playas tienen una composición de arenas medias (Tabla 1, Fig. 5), de acuerdo con el tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$), Akumal presentó arenas más gruesas (0.59 mm) y playa San Manuel las arenas más finas (0.074 mm); para el caso de la clasificación o desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I\Phi$), están moderadamente bien clasificadas, siendo las excepciones: Cancún que está bien clasificada y playa San Manuel, que se encuentra muy mal clasificada.

Se muestra de igual manera una tendencia de distribución o grado de asimetría (Sk_I) hacia los gruesos, con excepción de San Manuel que es muy simétrica hacia los finos. Las muestras presentan una tendencia a la distribución o curtosis gráfica K_G del tipo leptocúrtico, es decir, presentan un solo pico agudo en su distribución, con excepción playa Puerto Ángel con una distribución de tipo platicúrtico, es decir, muy parecida y cercana a una distribución normal.

Estas excepciones se podrían explicar por los factores que actúan directamente sobre ellas. En el caso de Cancún es una de las playas que estarán sometidas de manera más intensa a los efectos meteorológicos como huracanes y ciclones los cuales pueden generar que la distribución de los sedimentos no presente ninguna tendencia, esto con respecto al número de eventos meteorológicos que han ocurrido en las playas de este muestreo (NOAA, 2014).

En comparación con playa San Manuel que es una playa que presenta mayor clasificación y arenas muy finas, lo cual se puede explicar por los fenómenos meteorológicos que ocurrieron mientras se realizó el muestreo, y es que al estar playa muy cercana a la desembocadura del río Hondo, el aporte de partículas finas acarreadas de partes más altas dieron como resultado esta clasificación en el análisis de laboratorio.

Existe una tendencia en la distribución de sedimentos para las playas que conforman la Riviera Maya hacia los tamaños asimétricos gruesos, y una curtosis de tipo leptocúrtico (Tabla 1, Fig. 5), esto se puede explicar debido a las corrientes que van de Norte a Sur del estado, en donde las arenas más gruesas se encuentran en playas como Cancún y Puerto Morelos, y las más finas en Playa del Carmen y Akumal, de igual manera el oleaje puede determinar este transporte de sedimentos ya que puede ser el que los esté removiendo de un lugar a otro.

Actualmente Carranza Edwards *et al.*, (2015), describen información con respecto a la granulométrica de las playas que forman la Riviera Maya, se muestra una tendencia a valores asimétricos hacia los finos y muy finos, entre otros factores esto puede ser a causa de la construcción artificial de playas en esta zona, lo cual puede ser factor de transporte de sedimentos más finos que corresponden a lugares mar adentro de otras playas. De igual manera en el golfo de México la dispersión de tamaños de los sedimentos carbonatados es mayor, menormente clasificados y con mayor tendencia de muestras simétricas, esperando encontrar muestras del tipo mesocúrtico o leptocúrtico.

En este trabajo, los sedimentos mejor clasificados se encuentran en la zona de mesoplaya, ya que se encuentra sometida a efectos de marea y oleaje constantes, y para supraplaya, por encontrarse sometida a la acción del viento.

Las playas de este estudio presentan corrientes superficiales pegadas a la línea de costa y que son bastante particulares de acuerdo con cada una de las playas (Fig. 3). Para el caso de Puerto Morelos, Playa del Carmen y Akumal, presentan circulación estacionaria, que podrían estar indicando la distribución de los organismos y la relación con respecto al tamaño de grano.

7.3 Determinación del color

Permite obtener una aproximación del grado de saturación de agua en el sedimento, así como tener una primera aproximación en cuanto a la composición de los mismos. Las playas de Quintana Roo muestran colores blancos, lo cual nos indica gran concentración de carbonatos y, por ende, se encontraron organismos que presentaban este tono en sus exoesqueletos, aspecto que es favorable.

Por ejemplo, en los organismos que se encuentran en el área de supraplaya, en donde este color les ayuda como mecanismo de camuflaje para protegerse contra depredadores ya que se encuentran expuestos.

7.4 Caracterización textural

Se obtuvieron conteos por medio del análisis de láminas delgadas en microscopio petrográfico para poder realizar una caracterización general de cada una de las playas que se estudiaron en este trabajo. Dentro de los conteos de terrígenos (Figs. 5-7) se observó la presencia de cuarzos, aragonita y plagioclasas, las cuales se confirmaron en el análisis de difracción de rayos X (Tabla 3).

La presencia de estos terrígenos para el estado de Quintana Roo, que no cuenta con grandes aportes de los mismos, por ser una zona conformada por rocas de calcita, se puede explicar por diferentes factores: tales como la presencia de construcciones cercanas a los sitios de muestreo, ya que en artículos como el de Jiménez-Álvarez y Téllez-Jurado (2010) habla acerca de la composición del material para construcción, el cual contiene plagioclasas en su estructura, y estos materiales al ser sometidos a procesos de desgaste por erosión de tipo eólica o hídrica, generaran partículas de menor tamaño que pueden ser transportadas y depositadas a lo largo de la línea de costa.

La presencia de minerales como el cuarzo también se puede explicar por los eventos con repercusiones a nivel mundial como las erupciones volcánicas, que, al ocurrir, emiten grandes cantidades de minerales particulados que son transportados por el viento hasta llegar a diferentes puntos y ser depositados.

El más importante para este trabajo podría ser el que ocurrió en 1982, que fue la erupción volcánica del Chichonal en Chiapas, el mismo año en que se realizó el presente trabajo. De igual manera la presencia de cuarzos puede estar asociada a la presencia de precipitación de cavidades en la región lo cual puede ser un factor de aporte de estos para las playas de Akumal Chacmol y Punta Allen.

Con respecto al conteo de biógenos, se encontraron en las láminas delgadas ocho grupos de organismos que fueron dominantes, unos con mayor presencia que otros, como el caso de los moluscos, algas calcáreas, foraminíferos y *pellets*, sobre los fragmentos de esponjas, equinodermos, oolitos y *beach rock*, estos últimos pueden no ser de origen biogénico (Figs. 12-19).

Estos grupos muestran diferencias y preferencias a lo largo de las tres zonas que se presentan en la estructura de las playas (supra, meso e infra); sin embargo, hay organismos que se presentan en todas las zonas, como es el caso de los moluscos, foraminíferos y algas calcáreas, algunos por ser transportados por la marea como es el caso de las algas calcáreas, otros por tener adaptaciones para poder desarrollarse en todo el perfil, como los moluscos, que pueden encontrarse vivos o que pueden ser conchas que son arrastradas a la superficie por efectos del viento y la marea, o como los foraminíferos que presentan adaptaciones para vivir en la zona de infraplaya, y que al morir son transportados a la parte superior.

Estas variaciones se presentan de nuevo por los altos niveles de energía que se registran en esta zona y por los efectos físicos; como es el caso de los huracanes y tormentas que transportan sedimentos de un punto a otro, procesos químicos como la precipitación de carbonatos, o factores biológicos, relacionados con las redes tróficas que se pueden presentar dentro de los sedimentos como la obtención de nicho, alimento y refugio, ambientales como lo relacionado con el calentamiento global y efecto invernadero y por procesos antropogénicos a los que se encuentra sometido este sistema costero.

7.5 Conteo de terrígenos y biógenos para supraplaya

Los grupos taxonómicos más abundantes para la región de supraplaya (Fig. 9) fueron las algas calcáreas, foraminíferos y moluscos, destacando su abundancia en las siguientes playas: Puerto Ángel para las algas calcáreas, Playa del Carmen, Akumal y Chacmol para moluscos y Mahajual para foraminíferos.

Esto es común observarlo en sustratos arenosos con respecto a la macro fauna bentónica marina, donde los moluscos además de frecuentes en las playas, representa el 27 % del total contado en las láminas delgadas, y las algas calcáreas representa el 46 % de abundancia, pero no de dominancia, ya que este grupo está presente, sin ser una especie que domine y otorgue espacial. El éxito de los moluscos se puede explicar por la gran variedad de hábitos, formas, patrones de vida y tipo de alimentación que presentan, los cuales si pueden ser considerados como una especie dominante (Fig. 12).

En todas las playas de este estudio, los moluscos fueron abundantes con respecto a la zona, esto se puede explicar porque la mayoría de las conchas que se observan al revisar la muestra original algunos no tienen la estructura blanda, lo cual nos dice que solo son conchas vacías que por acción del oleaje fueron arrastradas a la orilla, y que podrían ser considerados sedimentos que vienen de la zona de infraplaya, mientras que los que si presentan una estructura blanda si se encuentran formando parte directa de la zona en la que fueron recolectados.

Con respecto al conteo de terrígenos (Fig. 6) los más abundantes se registraron en Akumal y Punta Allen con una abundancia de 3.4 y 4.2. %, respectivamente, comprobándolo con la difracción de rayos X (Tabla 3), lo cual se puede asociar a la presencia de algunas plagioclasas que, como se mencionó anteriormente pueden tener diferentes orígenes.

7.6 Conteo de terrígenos y biógenos para mesoplaya

Los grupos taxonómicos más abundantes para la región de mesoplaya (Fig. 10) fueron algas calcáreas, moluscos y *pellets*, destacando su abundancia en las siguientes playas; Majahual, presenta una dominancia de *pellets* (Fig. 17), mientras que Akumal y Punta Allen una mayor abundancia de las algas calcáreas (Fig. 16), y la presencia de los moluscos en todas las playas de dicho estudio.

En esta zona para el caso de Puerto Morelos se encontró la presencia de oolitos (Fig. 18) lo cual se puede explicar por la manera en que se producen, esto asociado a la presencia de algas, bacterias o sustancias orgánicas, las cuales pueden ser producidas por algas calcáreas, moluscos y foraminíferos, grupos que también se encontraron presentes en esta muestra.

Con respecto al conteo de terrígenos (Fig. 7) los más abundantes fueron en Chacmol, comprobándolo con la difracción de rayos X (Tabla 3), lo cual se puede asociar a la presencia de algunas plagioclasas, que como se mencionó anteriormente pueden tener diferentes orígenes.

7.7 Conteo de terrígenos y biógenos para infraplaya

Los grupos taxonómicos más abundantes en infraplaya (Fig. 11) fueron los foraminíferos, *pellets* y moluscos (Figs. 12, 13, 17), que se encontraron en todas las playas; el grupo de conteo dominante para esta zona fue el de los *pellets* que en el caso de Puerto Morelos y Majahual mostraron fragmentos de equinodermos en los conteos, lo cual se explica porque al ser una zona que está sometida a las mareas y oleajes dificulta la preservación del exoesqueleto y una vez que el organismo muere, es común que se desarticule y como consecuencias, que se vean solo cortes transversales de las placas calcáreas individuales y no el organismo completo.

En el caso de San Manuel y Puerto Ángel, los más abundantes fueron los foraminíferos, lo cual se explica tomando en cuenta que son dos sitios de muestreo que se encuentran protegidos por el continente o por una gran barrera de corales, y esto permite que las testas se preserven mejor. Adicionalmente la resistencia de estas es alta con respecto a otros grupos taxonómicos, ya que están formadas CaCO_3 y calcita con alto contenido de magnesio (Mg).

En relación con el conteo de terrígenos (Fig. 8), los más abundantes fueron en Chacmol, Punta Allen, Majahual y San Manuel, comprobándolo con la difracción de rayos X (Tabla 3), lo cual se puede asociar a la presencia de algunas plagioclasas que como se mencionó anteriormente, pueden tener diferentes orígenes.

7.8 Materia orgánica

La zona de mesoplaya que presentó la menor cantidad de materia orgánica fue Chacmol (0.22 %), en tanto que San Manuel fue la que presentó el mayor porcentaje (1.04 %) (Tabla 2), esto se puede explicar si se considera que Chacmol es una playa que se encuentra protegida por una barrera de arrecifes y la biota asociada a este ambiente establece redes tróficas complejas que se caracteriza por el gran de flujo de energía y por la presencia de consumidores de materia orgánica, mientras que para el caso de la playa de San Manuel se da una mayor presencia de materia orgánica que proviene de los afluentes del río Hondo, cuyas aguas la acarrearón y se depositó.

Cabe mencionar que, de manera común, los porcentajes de materia orgánica en las playas siempre será bajo, por la dinámica a la que están sometidas, sin embargo, esta materia orgánica puede ser utilizada como fuente de alimento por los organismos que se encuentran en estos ambientes, antes de que sea transportada a otros sitios dentro de la placa oceánica y que va a determinar, entre otras cosas, los tamaños poblacionales y los tipos de competencia por los recursos que se presentan en la zona de playa.

7.9 Concentración de CaCO_3

La concentración de carbonatos (Tabla 4) en las playas que forman la Riviera Maya, presentan porcentajes por arriba del 80 %, Cancún fue la playa que mayor concentración de carbonatos presentó (97.68 %), y la playa con menor concentración fue la de Puerto Morelos (83.54 %), lo cual se puede explicar por la presencia de organismos que están formados por aragonita o silicio.

VIII CONCLUSIONES

Los perfiles de playa están sometidos a grandes presiones físicas, geológicas y geográficas, lo cual va a determinar la extensión de las mismas y por ende la manera en que se distribuyan los sedimentos.

La gran mayoría de los sedimentos de este estudio son calcarenitas medianas y finas, moderadamente bien clasificadas, simétricas y asimétricas hacia los sedimentos gruesos con una distribución de tipo mesocúrtica, presentándose la mayor variación granulométrica en la zona de infraplaya, y una menor variación en la zona de mesoplaya.

Existe una tendencia en la distribución de sedimentos para las playas que conforman la Riviera Maya hacia los tamaños asimétricos gruesos y una curtosis de tipo leptocúrtica. En el resto de las playas, la tendencia es a presentar un mayor tamaño de grano, asociado a pendientes más pequeñas y pronunciadas, como es el caso de Chacmol, Majahual y Akumal. Se presenta una estratificación masiva debida principalmente al oleaje.

De acuerdo con los componentes descritos en la lámina delgada de arenas superficiales, se observa que los sedimentos están conformados en su mayoría por material de origen biogénico, siendo los más abundantes restos de *pellets*, foraminíferos, moluscos y algas calcáreas.

Es importante considerar los procesos que se presentan en las zonas litorales de Quintana Roo para regular de mejor manera los complejos turísticos que se construyen cerca de estas zonas, desarrollos costeros y el desarrollo urbano, tomando en cuenta la dinámica natural del mar y la interacción entre la parte continental y la oceánica, lo cual permitirá reducir el impacto en estas zonas litorales.

Este trabajo muestra información que debe ser considerada como línea de base para futuras investigaciones ya que, al ser un estudio de perspectiva histórica deja ver grandes diferencias entre algunas de las playas que se revisaron en este trabajo y que fueron trabajadas en años recientes y permite vislumbrar un futuro no deseable del litoral de Quintana Roo, si no se empieza a dar una regulación en esta área. De igual manera esta información deberá manejarse como regional para apoyar a futuros trabajos costeros en México.

IX Literatura citada

Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Verma, S.P. & S. Ramasamy, 2004. Geochemistry of sandstones from upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting, *Journal of Sedimentary Research*, 74 (1): 285-297.

Anthony, E. J., 2005. Beach erosion, p. 140-145. *In*: M. L. Schwartz (Ed.), *The Encyclopedia of Coastal Sciences*, Dordrecht, The Netherlands, 1212 pp.

Bathurst, R.G.C. (1975): Glossary of Sedimentological terms. *En*: Carbonate Sediments and their diagenesis. *Developments in Sedimentology*, 12, Elsevier: 558 pp.

Baqueiro, E., 1979. La distribución de *Magapitaria aurantica* (Sowerby), *M. squalida* (Sowerby) y *Dosina ponderosa* (Gray), en relación a la granulometría del sedimento (Bivalvia: Veneridae). *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol.* Univ. Nal. Autón. México, 6(1): 25-32.

Buitrón, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Gómez-Espinosa, C. 2010. Paleontología General. Invertebrados. Editorial Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Segunda Edición, 2010, 317 p. ISBN 978-607-02-13564.

Cambers, G., 1998. Coping with Beach Erosion with Case Studies from the Caribbean. Coastal Management Sourcebooks. Environment and Development UNESCO Publishing. UNESCO Paris, 120 pp.

Canudo, J.I., 2002. Algas Calcareas. Micropaleontología, Eustaquio Molina, Universidad de Zaragoza, 365-384.

Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez, y R. Rodríguez. 1975. Unidades Morfo-tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. *An. Centro Cien. del Mar y Limnol. Univ Nal. Auton. México.* 2 (1): 81-88.

Carranza-Edwards, A. y Caso-Chávez, M., 1994. Zonificación del perfil de playa. *An. Centro Cien. del Mar y Limnol. Univ Nal. Auton. México.* 2 (2): 26-32.

Carranza-Edwards, A., & L. Rosales-Hoz. 1995. Grain-size trends and provenance of Southwestern Gulf of Mexico beach sands, Canadian *Journal of Earth Sciences*, 32: pp. 2009-2014.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz & S. Santiago-Perez, 1996. A Reconnaissance Study of Carbonates in Mexican Beach Sands *Sedimentary Geology* 101: pp. 216-268

Carranza Edwards A. 2001. Grain Size Sorting in Modern Beach Sands. *Journal of Coastal Research*, 17 (1): 38-52.

Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales-De la Garza, E. & R.L. Santa-Cruz. 2009. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26(2): 433-447.

Carranza-Edwards, A. 2009. Causas y consecuencias de la erosión de playas. Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera, pp.37-50.

Carranza-Edwards A. 2010. Causas y consecuencias de la erosión de playas. En: Yáñez-Arancibia (Ed.) Impactos del Cambio Climático sobre la Zona Costera. Instituto de Ecología A. C. (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México.

Caraanza-Edwards A., Márquez-García A. Z., Tapia-González C., Rosales-Hoz L. y Alatorre-Mendieta, M.A., 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe Noroeste. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol. 67, Nú. 1, 2015, p.21-43.

Comisión Nacional del Agua. 2004. Sistema nacional de Información Estadística y Geográfica. Vertiente y principales ríos-longitud-periodo de observación.

Cupul-Magaña L. A., Tellez-Duarte. 1997. Variaciones espaciotemporales de la fauna macro bentónica de una playa arenosa y su relación con los cambios del perfil de playa y el tamaño de grano de los sedimentos, en la Playa Pelicano. Baja California. Ciencias Marinas 23 (4):419-434.

Dapples, C. E., 1942. The effect of macroorganisms upon near-shore marine sediments. Jour. Sed. Petrol., 12(3): 118-26.

Dexter, D. M., 1972. Comparison of the Community structures in a Pacific and Atlantic Panamanian Sandy Beach. *Bull. Mar. Sci.*, 22: 449-462.

Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M. & Armstrong-Altrin, J.S. (2011). Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 61, pp. 142-159.

Fernández-Alamo, M. A. y G. Rivas, 2007. Niveles de organización de animales, Las prensas de Ciencias, UNAM; México, 254, 306-322.

Finkl, C. W. & H. J. Walker, 2005. Beach nourishment, p. 147-161. In: M. L. Schwartz (Ed.), *The Encyclopedia of Coastal Sciences*, Dordrecht, The Netherlands, 1212 pp.

Folk, R. L., 1980, *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Texas, Hemphill Publishing Co., 182 p.

Fonseca, et al, 1982; MS Fonseca, JS Fisher, JC Ziemann, GW Thayer; Influence of the seagrass (*Zostera marina*) on current flow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15 (1982), 351–364 pp.

García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana): Ciudad de México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 21 p.

González-Liano M. I., 2014. Tesis de licenciatura Macronutrientes de la clase Cephalopoda Cuvier, 1797 (Phylum: Mollusca) de importancia comercial en México, Tutor Brian Urbano Alosa, Facultad de Ciencias, Unam, 1 p.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., Black, W. C., 1998, *Multivariate Data Analysis*, Prentice Hall, 730 p.

Hesse. P., 1971, *A textbook of soil chemical analysis*, Ed. John Murray.

Honda, M., S. Yaabuky, y H. Shimuizi., 2004 Geochimical and isotopic studies of eolian sediments in China. *Sedimentology*, 51, pp. 211-230.

Huston M. 1985. Patterns of species diversity on coral reefs. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 16:149-177 pp.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2017. Mapas de Geología, topografía, climatología, hidrología.

Inman, D.L. and C. E. Nordstrom., 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *Journal of Geology*, 79 (1):1-21.

Jackson, L.N., K.F. Nordstrom., L. Eliot and G. Masselink. 2002. Low energy sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*. 48:147-162.

Jiménez-Álvarez, F. y Téllez-Jurado L., 2010. Efecto aditivo plastificante sobre la estructura cristalina de la plagioclasa utilizada en la fabricación de blocks ligeros de concreto, *Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de superficies y materiales*, 23(S): 104-108.

Johnson, G. R., 1971. Animal-sediment relations in shallow water benthic communities. *Mar. Geol.*, 11: 93-104.

Jones, R. (2013). *Applications and case studies in environmental science In Foraminifera and their Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 265-276.

Kasper-Zubillaga, J.J. y Carranza-Edwards, A., 2005. Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from north western Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* V.22, pp. 383-390.

Kasper-Zubillaga, J.J. y Faustinos-Morales, R., 2007. Scanning electron microscopy analysis of quartz grains in desert and coastal dune sands (Altar Desert, NW México). *Ciencias Marinas*, 33, 11-22.

Kasper-Zubillaga, J.J., Acevedo-Vargas, B., Morton-Bermea, O.M., Ortiz-Zamora, G., 2008a. Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, Northwestern Mexico. *Chemie der Erde Geochemistry*, 68 (1): 45-59.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O., 2008b. Heavy minerals and rare earth elements in coastal and inland dune sands of El Vizcaino desert, Baja California Peninsula, México. *Marine Georesources and Geotechnology*, 26(3): 172-188.

Loska, K., Wiechula, D., 2003 Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in Surface sediments from the Rybnik Reservoir: *Chemosphere*, 51, pp. 723-733.

Méndez, M.N., Sólis-Wiss, V. y Carranza-Edwards, A., 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del estado de Veracruz, México. *An. Ins. Cienc. del Mar. y Limnol. Univ. Autón. México.*, 13(3): 45-56.

Mico, C., Recatala, L., Peris, M., Sánchez, J., 2006, Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean Area by multivariate analysis: *Chemosphere*, 65, 863–872.

Montaño - Ley Y., Mario Gutiérrez-Estrada. Javier Aldeco-Ramírez. 1988. Dinámica de playas del delta del río Balsas, México. *ICMyL, An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 16(1): 17-32.

Nolasco-Montero E. y Carranza-Edwards A., 1988. Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *ICMyL, An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 15 (2): 49-66.

Roads, C. D., 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.* 12: 263-300.

Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., Martínez-Serrano, R.G., Alatorre-Mendieta, M.A., Armstrong-Altrin, J. S., 2015. Textural and Geochemical characteristics of marine sediments in the SW Gulf of Mexico: Implications for source and seasonal change. *Environ. Monit. Asses.* 187 (4): 1-19.

Roy, P.D. y Smykatz-Kloss, W., 2007. REE geochemistry of the recent playa sediments from the Thar Desert, India: An implication to playa sediment provenance. *Chemie Der Erde Geochemistry*, 67, 55-68.

Sánchez-Zavala, J.L y Centeno- García, 2000. Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Sanders, H. L., 1956. Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954 X. Biology of marine bottom communities. *Bull. Bingham. Oceanogr.* Coll. 15: 345-414.

Sanders, H.L., 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-sediment relationships. *Limnol. Oceanogr.*, 3(3): 245-258.

Scholle, P.A. (1978): Glossary: Carbonate Petrography. En: A Color Illustrated Guide to Carbonate Rock. Constituents, Textures. Cements and Porosities. AAPG Memoir 27: 221 pp.

Secretaría de Marina. 1980. Contribución al conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano. Química del Océano. México.

Schönfeld J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S., and Members of the FOBIMO group., 2012. The FOBIMO (FORaminiferal Bio-MONitoring) initiative-Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropalontology* 94-95, 1-13 pp.

Sheppard, F. P., 1973. *Submarine Geology*, Harper and Row. Nueva York, 517 p.

Siemens H.A., P.C. Moreno and C.B. Sarabia. 2006. The metabolization of dunes and wetlands by the city of Veracruz, México. *J. Am. Geogr.* 5(1):7-29.

Anexo I

Parámetros texturales de los sedimentos frente a playas de Quintana Roo. En la tabla se observa el tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$), el tamaño gráfico promedio y la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_I\Phi$) para cada uno de los sitios que se muestrearon en las playas de Quintana Roo que se trabajaron.

	($Mz\Phi$)	Tamaño gráfico promedio	($\sigma_I\Phi$)	DE gráfica
Cancún	2.18	Arena fina	0.62	Moderadamente bien clasificado
Cancún	2.05	Arena fina	0.35	Bien clasificado
Cancún	2.18	Arena fina	0.26	Muy bien clasificado
Cancún	2.17	Arena fina	0.33	Muy bien clasificado
Puerto Morelos	2.32	Arena fina	0.60	Moderadamente bien clasificado
Puerto Morelos	1.70	Arena mediana	0.70	Moderadamente bien clasificado
Puerto Morelos	2.36	Arena fina	0.40	Bien clasificado
Puerto Morelos	2.26	Arena fina	0.37	Bien clasificado
Playa del Carmen	2.18	Arena fina	0.76	Moderadamente clasificado
Playa del Carmen	1.29	Arena mediana	0.88	Moderadamente clasificado
Playa del Carmen	1.95	Arena mediana	0.51	Moderadamente bien clasificado
Playa del Carmen	1.73	Arena mediana	0.46	Bien clasificado
Playa del Carmen	1.85	Arena mediana	0.56	Bien clasificado
Akumal	0.54	Arena gruesa	1.83	Mal clasificado
Akumal	0.09	Arena gruesa	0.42	Bien clasificado
Akumal	1.15	Arena mediana	0.87	Moderadamente clasificado
Akumal	1.62	Arena mediana	0.71	Moderadamente bien clasificado
Chacmol	2.65	Arena fina	0.70	Moderadamente bien clasificado
Chacmol	1.16	Arena mediana	0.44	Bien clasificado
Chacmol	1.47	Arena mediana	0.47	Bien clasificado
Chacmol	1.78	Arena mediana	0.54	Moderadamente bien clasificado
Punta Allen	2.26	Arena fina	1.18	Mal clasificado
Punta Allen	1.13	Arena mediana	0.96	Moderadamente clasificado
Punta Allen	2.57	Arena fina	0.43	Bien clasificado
Punta Allen	2.44	Arena fina	0.46	Bien clasificado
Majahual	2.01	Arena fina	1.05	Mal clasificado
Majahual	2.02	Arena fina	0.78	Moderadamente clasificado
Majahual	1.00	Arena gruesa	1.16	Mal clasificado
Majahual	0.30	Arena gruesa	0.92	Moderadamente clasificado
Majahual	1.96	Arena mediana	0.62	Moderadamente bien clasificado
Majahual	1.11	Arena mediana	0.61	Moderadamente bien clasificado
Puerto Ángel	2.17	Arena fina	0.64	Moderadamente bien clasificado
Puerto Ángel	1.05	Arena mediana	0.89	Moderadamente clasificado
Puerto Ángel	1.66	Arena mediana	0.74	Moderadamente clasificado
Puerto Ángel	1.90	Arena mediana	0.65	Moderadamente bien clasificado
Puerto Ángel	1.71	Arena mediana	0.73	Moderadamente clasificado
Puerto Ángel	2.02	Arena fina	0.60	Moderadamente bien clasificado
San Manuel	3.58	Arena fina	1.52	Mal clasificado
San Manuel	4.74	Limos gruesos	3.28	Muy mal clasificado
San Manuel	4.63	Limos gruesos	2.17	Muy mal clasificado
San Manuel	5.00	Limos gruesos	2.97	Muy mal clasificado
San Manuel	0.70	Arena gruesa	0.84	Moderadamente clasificado

	$(Mz\Phi)$	Grado de simetría	$(\sigma_I\Phi)$	Curtoris gráfica
Cancún	-0.05	Simétrico	1.16	Leptocúrtico
Cancún	-0.19	Asimétrico hacia los gruesos	1.07	Mesocúrtico
Cancún	-0.08	Simétrico	1.14	Leptocúrtico
Cancún	-0.15	Asimétrico hacia los gruesos	1.06	Mesocúrtico
Puerto Morelos	-0.27	Asimétrico hacia los gruesos	1.19	Leptocúrtico
Puerto Morelos	-0.08	Simétrico	1.03	Mesocúrtico
Puerto Morelos	-0.19	Asimétrico hacia los gruesos	1.07	Mesocúrtico
Puerto Morelos	-0.17	Asimétrico hacia los gruesos	1.04	Mesocúrtico
Playa del Carmen	-0.47	Muy asimétrico hacia los gruesos	1.16	Leptocúrtico
Playa del Carmen	-0.04	Simétrico	0.90	Mesocúrtico
Playa del Carmen	-0.13	Asimétrico hacia los gruesos	0.92	Mesocúrtico
Playa del Carmen	0.10	Simétrico	0.98	Mesocúrtico
Playa del Carmen	-0.02	Simétrico	0.91	Mesocúrtico
Akumal	-0.29	Asimétrico hacia los gruesos	4.10	Extremadamente leptocúrtico
Akumal	0.03	Simétrico	1.04	Mesocúrtico
Akumal	0.37	Muy asimétrico hacia los finos	0.98	Mesocúrtico
Akumal	0.01	Simétrico	0.96	Mesocúrtico
Chacmol	-0.46	Muy asimétrico hacia los gruesos	2.06	Muy leptocúrtico
Chacmol	0.08	Simétrico	1.39	Leptocúrtico
Chacmol	0.25	Asimétrico hacia los finos	1.47	Leptocúrtico
Chacmol	0.38	Muy asimétrico hacia los finos	1.09	Mesocúrtico
Punta Allen	-0.58	Muy asimétrico hacia los gruesos	1.93	Muy leptocúrtico
Punta Allen	0.16	Asimétrico hacia los finos	1.06	Mesocúrtico
Punta Allen	-0.37	Muy asimétrico hacia los gruesos	1.15	Leptocúrtico
Punta Allen	-0.34	Muy asimétrico hacia los gruesos	1.27	Leptocúrtico
Majahual	-0.23	Asimétrico hacia los gruesos	1.32	Leptocúrtico
Majahual	-0.31	Muy asimétrico hacia los gruesos	0.92	Mesocúrtico
Majahual	0.04	Simétrico	1.79	Muy leptocúrtico
Majahual	0.05	Simétrico	1.42	Leptocúrtico
Majahual	-0.39	Muy asimétrico hacia los gruesos	1.26	Leptocúrtico
Majahual	0.02	Simétrico	1.13	Leptocúrtico
Puerto Ángel	-0.39	Muy asimétrico hacia los gruesos	-0.01	Muy platicúrtico
Puerto Ángel	0.27	Asimétrico hacia los finos	0.99	Mesocúrtico
Puerto Ángel	0.09	Simétrico	0.72	Platicúrtico
Puerto Ángel	-0.21	Asimétrico hacia los gruesos	0.77	Platicúrtico
Puerto Ángel	0.04	Simétrico	0.92	Mesocúrtico
Puerto Ángel	-0.27	Asimétrico hacia los gruesos	0.83	Platicúrtico
San Manuel	0.67	Muy asimétrico hacia los finos	3.42	Extremadamente leptocúrtico
San Manuel	0.97	Muy asimétrico hacia los finos	2.78	Muy leptocúrtico
San Manuel	0.31	Muy asimétrico hacia los finos	1.30	Leptocúrtico
San Manuel	0.66	Muy asimétrico hacia los finos	2.03	Muy leptocúrtico
San Manuel	0.18	Asimétrico hacia los finos	2.13	Muy leptocúrtico

Anexo II

Tabla de medias y desviaciones por grupo taxonómico en comparación con el total por grupo.

		<i>PELLETS</i>	<i>MOLUSCOS</i>	<i>FORAMINIFEROS</i>	<i>OOLITOS</i>	<i>BEACH ROCK</i>	<i>ALGAS CALCAREAS</i>	<i>CORAL/ EQUINODERMOS</i>	<i>OTROS</i>
Total de la muestra									
N=42	Media	91.93	41.14	61.02	3.86	21.55	70.19	8.31	2.00
	DE	75.60	30.31	44.96	5.38	22.11	51.63	7.52	4.55
Cancún n=5	Media	141.40	28.20	23.60	3.20	39.60	49.00	9.20	5.80
	DE	64.74	32.51	17.23	2.77	24.46	31.80	9.12	7.95
Puerto Morelos N=6	Media	110.75	33.75	33.50	11.50	26.75	72.50	8.50	2.75
	DE	56.04	24.16	24.28	11.47	7.37	58.50	10.88	5.50
Playa del Carmen N=6	Media	124.80	87.20	89.20	14.00	40.00	108.80	14.00	2.00
	DE	69.16	39.62	27.69	5.62	17.64	34.53	7.14	1.50
Akumal N=4	Media	45.50	61.00	55.75	2.25	26.75	93.75	13.25	1.75
	DE	70.81	38.05	32.46	1.71	19.05	38.30	3.77	1.26
Chacmol N=4	Media	100.25	57.25	40.50	4.00	27.50	68.50	2.00	0.00
	DE	88.00	36.75	10.85	6.06	32.40	48.25	2.83	0.00
Punta Allen N=4	Media	71.00	53.25	37.00	3.75	25.75	97.75	9.50	2.00
	DE	95.50	41.00	27.96	2.36	12.76	58.91	7.55	2.83
Majahual N=4	Media	76.33	39.00	109.83	1.67	6.67	50.67	12.00	3.83
	DE	98.00	14.60	68.42	2.34	6.92	22.43	9.74	7.96
Puerto Ángel N=4	Media	65.67	15.33	84.33	1.83	5.00	118.50	9.17	0.17
	DE	75.93	7.55	43.61	3.13	5.93	71.65	5.95	0.41
San Manuel N=5	Media	136.00	44.40	78.00	0.80	22.00	17.20	1.60	0.00
	DE	52.26	28.07	37.40	1.79	39.79	29.79	1.82	0.00

