



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis sedimentológico, petrográfico y geoquímico en playas de la Riviera Maya

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Dafne Anaid Habib Galindo

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 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.

A Luna Elizabeth, mi pequeña Anortosita.

El motivo para seguir luchando día con día.

Te amo

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México mi “*alma máter*”, por cobijarme dentro de sus aulas desde el CCH, por las enseñanzas que me ayudaron a crecer profesional y personalmente.

Agradezco a la DGAPA por dejarme participar en el proyecto PAPIME 106016 “*Análisis y clasificación de rocas y sedimentos obtenidos a partir de la exploración y muestreo de ambientes sedimentarios con la finalidad de crear guías de aprendizaje y prácticas de campo aplicadas a las ciencias de la Tierra*”.

A mi directora de tesis, la Dra. Mayumi Cabrera Ramírez por guiarme en cada paso de la elaboración de este trabajo, por su paciencia para escuchar todas mis inquietudes y nuestras charlas. Agradezco a cada uno de los sinodales, al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo, Dr. Arturo Carranza Edwards, M.C Noé Santillán Piña y el M.C. Víctor Manuel Dávila Alcocer por su tiempo y asesoría para mejora de esta tesis.

Agradezco a mis padres Juana Elvia Galindo y Marco Antonio Habib por su apoyo e inspiración en cada etapa de mi vida. A mi madre por no soltarme nunca, por enseñarme a no darme por vencida y lograr cada meta que me proponga....Los amo.

Gracias al Instituto de Geología por permitirme utilizar sus instalaciones a la Química Paty Girón y al técnico Santiago Avilés por apoyarme a realizar los análisis de Fluorescencia de Rx, por su paciencia para esclarecer cada duda que iba surgiendo.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, al M.C Eduardo Morales de la Garza y Ricardo Martínez Domínguez del laboratorio de Sedimentología por su apoyo en el proceso para el análisis textural de las muestras, pero sobre todo, gracias Ricardo por brindarme tu amistad desde hace tiempo, gracias por las anécdotas, las pláticas y cada momento que me brindó tu compañía.

A la I.Q Susana Santiago del laboratorio de Química Acuática por asesorarme en el proceso para el análisis de carbonatos.

A todos mis profesores de la Facultad de Ingeniería por sus enseñanzas y dedicación. A la Ing. Mayverena Jurado Pineda por hacer de mi estancia en el anexo una experiencia agradable, por

darme soporte dentro y fuera de las aulas. Al Ing. Marco Rubio por su apoyo incondicional y pláticas llenas de enseñanzas para mi vida profesional.

Gracias a la M.I Isabel Trejo Domínguez por su tiempo para asesorarme y apoyarme en cada tema profesional y personal.

Al Ing. José Luis Arcos por sus enseñanzas, consejos y regaños que me ayudaron a culminar esta etapa... los llevaré siempre

A mis amigos dentro y fuera de la facultad. Tania Fonseca gracias por estar conmigo en los buenos, malos y peores momentos, por alentarme a seguir a pesar de las adversidades, ahora sé que nuestra amistad será por siempre. Viridiana Cortés, nunca olvidaré todas las experiencias que vivimos juntas, gracias por tu confianza y tu apoyo, te quiero.

Gracias infinitas a Alberto Vázquez, Raúl Curiel, Leo Ortega por brindarme su amistad y apoyo. Ricardo (limón) gracias por tu amistad desde hace más de 10 años, por tus palabras que me impulsaban a ser una mejor persona y siempre estar pendiente de cada etapa de mi vida.

Xavier Hernández gracias por el mejor regalo que Dios y la vida nos pudo mandar... nuestra hija.

CONTENIDO

Resumen	3
Abstract.....	4
1. Generalidades.....	5
1.1 Introducción	5
1.2. Antecedentes.....	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos Particulares.....	9
1.4 Localización del área de estudio	10
1.5 Vías de acceso.....	12
1.6 Fisiografía.....	13
1.7Clima	15
1.8. Hidrografía y circulación costera.....	16
1.9 Geología	19
1.10. Tectónica	25
2. Metodología	26
2.1 Trabajo de Campo	26
2.2 Trabajo de laboratorio	28
3. Análisis Sedimentológico.....	29
3.1 Lavado y secado de muestras.....	29
3.2 Tamizado de muestras	30
3.3 Recolección de datos.	32
3.4 Análisis de datos.	33
3.5 Clasificación de las muestras de acuerdo a sus parámetros estadísticos.....	36
3.6 Parámetros sedimentológicos obtenidos en las playas de la Riviera Maya.	37
3.6.1 Playa Dreams.....	38
3.6.2. Playa del Carmen.....	39
3.6.3 Puerto Morelos(muelle).	40
3.6.4.Puerto Morelos (ICMyL)	41
3.6.5.Chac Mool.....	42

3.6.6.Akumal	43
3.6.7.Holbox(muelle)	44
3.6.8.Yalahau.....	45
3.6.9 Holbox 2	46
3.6.10. Isla Pasión.....	47
3.7.11.Bacalar Muelle.....	48
3.7.12. Bacalar	49
4. Análisis Petrográfico.....	52
4.1.1. Playa Dreams.....	54
4.1.2.Playa del Carmen.....	55
4.1.3. Puerto Morelos(muelle)	56
4.1.4. Puerto Morelos (ICMyL)	57
4.1.5. Playa Chac Mool	58
4.1.6. Akumal	59
4.1.7. Holbox (muelle).....	60
4.1.8. Yalahau	61
4.1.9. Holbox 2.....	62
4.1.10. Isla Pasión.....	63
4.1.11. Bacalar (muelle).....	64
4.1.12. Bacalar	65
5. Geoquímica.....	69
5.1.Análisis de carbonatos.....	69
5.1.2 Resultados de la estandarización del método de prueba de carbonatos	72
5.2. Fluorescencia de Rayos X.....	75
5.2.1 Elementos mayores	78
5.2.2.Elementos traza	79
6. Conclusiones y recomendaciones.....	85

Resumen

La Riviera Maya, es una zona de 120 km de longitud que se extiende a lo largo de las costas del Caribe Mexicano al noreste de la Península de Yucatán. Su importancia radica en los ecosistemas asociados al Sistema Arrecifal Mesoamericano que se extiende frente a las costas, mismos que han impulsado el desarrollo e incremento de la actividad turística nacional e internacional.

Los estudios multidisciplinarios, geológicos, biológicos, geoquímicos etc, son de gran valor, porque permiten entender mejor la interrelación entre los ecosistemas terrestres y marinos asociados a la dinámica costera de la zona.

En este estudio, se analizaron 10 playas ubicadas desde la Isla de Holbox, al norte de la Península de Yucatán, hasta Chetumal en la parte sureste. Se realizaron estudios sedimentológicos, petrográficos y geoquímicos de 12 muestras de sedimentos, con el objetivo de describir y caracterizar los elementos que las constituyen, así como sus posibles implicaciones ambientales.

Abstract

The Riviera Maya is an area of 120 km long that spreads along the coasts of the Mexican Caribbean Sea to the North-East of the Yucatan Peninsula. Its importance takes root in the ecosystems associated with the Mesoamerican Arrecifal System that extends opposite to the coasts, the same that they have impelled the development and increase of the national and international tourist activity.

The multidisciplinary studies, geological, biological, geochemical are very important, because they help to understand better the relation between the terrestrial and marine ecosystems associated with the coastal dynamics of the area.

In this study, we analyzed ten beaches located from Holbox Island, north of the Yucatan Peninsula, to Chetumal in the southeast part. Sedimentological, petrographic and geochemical studies of 12 sediment samples were carried out, with the objective of describing and characterizing the elements that constitute them, as well as their possible environmental implications

1. Generalidades

1.1 Introducción

Las arenas de playa generalmente reflejan fuentes continentales, al igual que zonas de sedimentos costeros comunes, esto se debe a que estos sedimentos derivan de sistemas fluviales y/o corrientes (Komar y Inman, 1970; Komar, 1976). Cuando el área fuente está lejos del depósito de arena, la madurez del sedimento será comúnmente más alta que en caso contrario (Pettijohn, 1975).

La exposición de los materiales no consolidados que forman las playas, quedan sujetas a la fuerza de los procesos marinos causando cambios en la morfología de las playas, tamaños y composición de los sedimentos que las constituyen.

Los procesos costeros que afectan al litoral ocurren en escalas de tiempo que varían desde instantes (horas) hasta intervalos geológicos (miles o más de años), requieren de comprender la dinámica que domina y controla la zona litoral y es necesario considerar todas las escalas y distinguir la combinación de procesos más relevantes que se presentan (SNIB-CONABIO, 2006).

Para el sureste del Golfo de México, los huracanes son responsables de los cambios geomorfológicos a lo largo de la línea de costa (Manzano 1989; Ortiz-Pérez, 1992), donde patrones de acumulación y erosión alteran a lo largo de cientos de kilómetros a las costas de Tabasco y Campeche formando transgresiones marinas que han sido localizados en las últimas décadas (Ortiz-Pérez, 1992).

Krumbein y Sloss (1963) mencionan que los procesos que gobiernan la dinámica litoral son los cambios en el nivel del mar, la variación de aporte de sedimentos, los cambios de energía causados por el oleaje y corrientes que causan diferencias en el ancho, profundidad, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año

Las presiones antrópicas y ambientales, modifican la morfología de las playas en su parte continental (supraplaya) y marina (infraplaya)(Carranza et.al, 1994), por ello, los estudios sedimentológicos de las arenas nos ayudan a determinar el grado de vulnerabilidad en ellos.

Desde el punto de vista turístico, la Península de Yucatán se caracteriza por ser un lugar de importancia mundial, debido a diferentes rasgos históricos, naturales, sociales, que en conjunto, atraen millones de visitantes nacionales y extranjeros. El legado histórico precolombino, presente en una gran cantidad de zonas arqueológicas, la diversidad de sus ecosistemas para el disfrute de playas, cenotes y selvas, y la diversidad de especies de flora y fauna.

Otro atractivo importante, es la existencia de un sistema de arrecifes (El Sistema Arrecifal Mesoamericano) (Fig. 1). El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es un ecosistema de aproximadamente 1000 km de longitud localizado en el mar Caribe, inicia en Cabo Catoche, al norte de Quintana Roo, bordea las costas de Belice y Guatemala y finaliza en el complejo de Islas de la Bahía Cayos Cochinos en la costa norte de Honduras.

Las comunidades biológicas más importantes de este sistema Arrecifal son las formaciones coralinas y pastos marinos. El ecosistema se ve amenazado por la sobrepesca y por el desarrollo costero mal planeado, particularmente la infraestructura turística masiva.

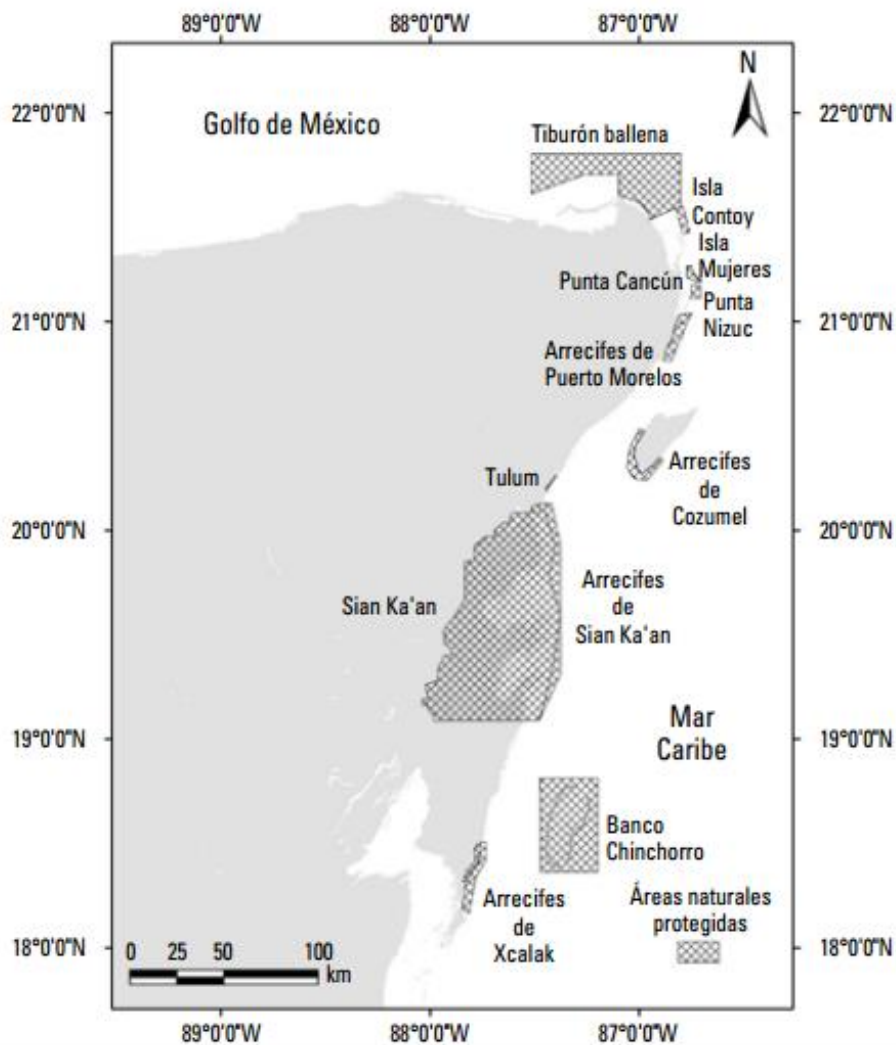


Figura 1 Localización de Arrecifes en el Caribe Mexicano. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972011000300005&script=sci_arttext

En el Estado de Quintana Roo, se ha incrementado entre otras cosas, el amplio sistema portuario que atiende a más de un millón de turistas que viajan en crucero, sin que se haya prevenido el grado en que estas actividades afectan las condiciones ambientales favorables para la proliferación de los arrecifes coralinos de la región.

Estas formaciones arrecifales, juegan un papel relevante para las playas, proporcionando protección contra el oleaje, tormentas y huracanes que afectan al Mar Caribe mexicano.

1.2. Antecedentes.

En México, el análisis de ambientes sedimentarios recientes, ha recibido especial atención en los últimos 60 años, debido a la necesidad de interpretar con mayor eficacia sus análogos antiguos. Gracias a ello se han ido estableciendo o revaluando criterios sobre los procesos de erosión, de transporte y de depósito, lo cual conlleva implicaciones económicas y ambientales.

Entre los trabajos de investigación más sobresalientes en la Plataforma de Yucatán se pueden mencionar, entre otros, los de Bonet (1956) y Kornicker y Boyd (1962), que estudiaron los arrecifes coralinos, el primero, en la Sonda de Campeche, y los segundos, en las porciones norte y nor-occidental de la península. Se caracterizaron los arrecifes de Mahahual (Maldonado-Gasca, 1998), de Alacranes (Membrillo- Venegas, 1999) y de Boca Paila (Cáceres, 1998) y aplicando técnicas de videotransectos; Garza-Pérez (2000) comparó la estructura de cuatro comunidades coralinas.

Huyes y Shoji (1962) describen y marcan la distribución de diferentes tipos de sedimentos en Isla Mujeres y áreas circunvecinas. Logan (1969) y Logan et al. (1969) analizaron los sedimentos carbonatados y arrecifes asociados, así como la distribución de los mismos, en relación a las oscilaciones eustáticas ocurridas durante el Pleistoceno y el Holoceno en las porciones norte y noroccidental de la plataforma. Ward (1970, 1973, 1974. Y 1974b), Ward y Brady (1973), Ward y Wilson (1974), Wilson et al. (1969) y Harms et al. (1974), estudiaron los ambientes de sedimentación en las porciones oriental y nororiental de la Plataforma de Yucatán. Brady (1974) estudió los sedimentos lagunares en la porción noreste de Quintana Roo.

Otros trabajos publicados, que versan sobre estratigrafía son los de Bonet (1958a, 1958b, 1959, 1967), Bonet y Butterlin (1962 y 1963), que estudiaron las formaciones del Cenozoico en los Estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. López Ramos (1973) compiló datos de la misma provincia, aportados por Bonet y Butterlin en varias de sus publicaciones, así como de informes inéditos desarrollados por geólogos de Petróleos Mexicanos.

Sobre los trabajos de caracterización, monitoreo y propuestas de manejo para Sian Ka'an, Xcalac Cozumel, Cancún, Banco Chinchorro, y el efecto de los huracanes (Gutiérrez *et al.*, 1991, 1994, 1995, 1996; Padilla *et al.*, 1992; Gutiérrez y Bezaury, 1993; García y Loreto, 1996a, 1996b; García *et al.*, 1997; Lara *et al.*, 1998; Loreto, 1998; Loreto *et al.*, 2001; Vega y Loreto, 2001).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer los parámetros texturales, la composición mineralógica y la composición química de la fracción arenosa de doce playas ubicadas en la zona costera de la Riviera Maya y valorar las posibles implicaciones ambientales en esta zona.

1.3.2 Objetivos Particulares

1. Determinar los parámetros texturales de las muestras de sedimentos costeros de 12 playas ubicadas en la Riviera Maya.
2. Determinar la composición mineralógica de la fracción arenosa de las playas muestreadas.
3. Determinar la composición química de los sedimentos colectados y analizar la posible relación entre las concentraciones de elementos mayores y traza con la composición del sedimento
4. Evaluar las posibles implicaciones ambientales a través de su composición textural, química y mineralógica.

1.4 Localización del área de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro de la península de Yucatán al sureste de la República Mexicana, en la porción septentrional de Mesoamérica, con una extensión de aproximadamente 145 000 km². La integran los Estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche.

La Provincia constituye una llanura costera karstificada, que no sobrepasa los 25 metros de altitud, desarrollada mayormente sobre rocas calcáreas terciarias hacia las zonas más interiores, mientras que hacia la costa predominan las rocas calcáreas cuaternarias, recubiertas en partes por depósitos recientes, principalmente arcillosos, correspondientes a ambientes pantanosos en las zonas bajas de lagunas y humedales circundantes, y por arenas en los sectores de playas y dunas (SNIB-CONABIO,2006).

Las zonas principales en donde se enfoca este estudio, incluyen las playas de Holbox, Cancún, Puerto Morelos, Playa del Carmen, Akumal y Chetumal, localizadas en la zona conocida como Riviera Maya que ocupa la región centro-meridional del corredor turístico Cancún- Tulum (Fig. 2), que se extiende a lo largo de unos 120 km y es uno de los destinos turísticos más importantes de México y de todo el Caribe (UAMI, 2003).

Holbox es una isla que pertenece al municipio de Lázaro Cárdenas, se encuentra localizada al extremo norte del estado de Quintana Roo a 12 Km del Puerto de Chiquilá y de Cancún a 160 km al Noroeste, en las coordenadas 21° 31' Latitud Norte y 87° 23' Longitud Oeste.

Cancún se encuentra ubicado al Noreste de la Península de Yucatán, entre los 21°00' y 21°14' de latitud norte y los 86-43, y 86-55' de longitud oeste, a 70 kilómetros de playa del Carmen, por el Este se encuentra con el Mar Caribe, al Norte con Isla Mujeres, al Sur se encuentra con el Municipio Libertad y al Oeste con el municipio Lázaro Cárdenas.

Puerto Morelos: Ubicado en el Municipio Benito Juárez del Estado de Quintana Roo México, en las coordenadas 20° 51' Latitud Norte y 86°54' Longitud Oeste a 36 kilómetros al sur de Cancún.

Playa del Carmen: Se encuentra en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, al sur de Cancún, en las coordenadas 20,62° Latitud norte y 87,07° Longitud Oeste.

Akumal: Ubicada en el municipio de Tulum a tan solo 37 Km. de Playa del Carmen, en las coordenadas 20°24'00"N y 87°19'16"O

Chetumal: Se ubica en el municipio Othón P. Blanco en el estado de Quintana Roo en las coordenadas geográficas latitud 18.503611 y longitud -88.305278.

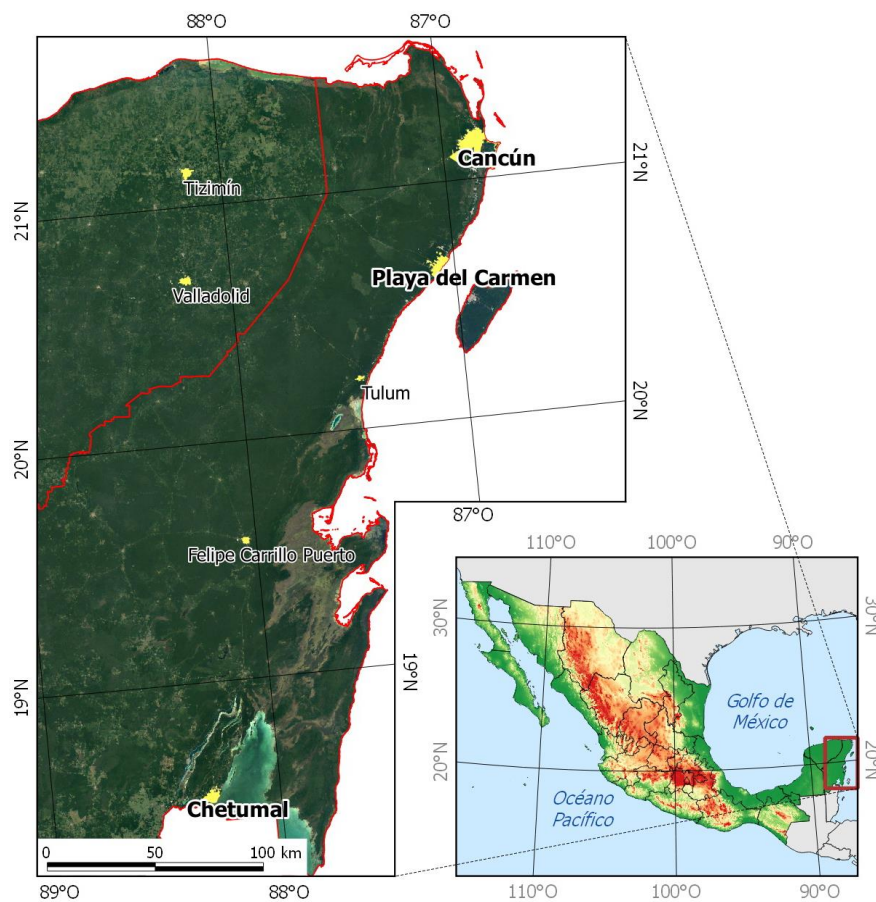


Figura 2. Localización del área de estudio.

1.5 Vías de acceso

-Las principales vías de acceso a las playas de Holbox son a través de 3 rutas distintas:

- ***Desde la Ciudad de Chetumal:*** Tomando la Carretera Federal 307 hacia la Cd. de Cancún, llegar el entronque de Tulum y tomar la desviación a la zona arqueológica de Coba, continuar hasta el poblado El Ideal y tomar el desvío hacia Kantunilkin y continuar en la misma vía hasta Chiquilá.
- ***Desde la Ciudad de Cancún:*** Tomando la Carretera Federal 180 rumbo a la Cd. De Mérida, aproximadamente en el kilómetro 80, tomar el desvío hacia Kantunilkin y continuar hasta el puerto de Chiquilá.
- ***Desde la Ciudad de Mérida:*** Tomando Carretera Federal 180 hacia la Cd. De Cancún, pasando la Cd. De Valladolid, Yucatán, siga hacia el poblado El Ideal, Quintana Roo y tome el desvío hacia Kantunilkin y continúe en la misma vía hasta Chiquilá.

-Las vías de acceso a las playas dentro de Cancún, Quintana Roo:

El Aeropuerto Internacional de Cancún, es el principal acceso a la Riviera Maya. Es el segundo más importante de México, el más grande para pasajeros internacionales en Latinoamérica. Se encuentra a 50 km de la ciudad de Playa del Carmen. El Aeropuerto Internacional de Cozumel es el segundo acceso internacional por vía aérea.

La carretera costera 307 que une las ciudades de Cancún y Tulum –cruzando toda la Riviera Maya– y otra que comunica Tulum y Cobá son las principales vías de comunicación terrestre.

-Las vías de acceso a la playa de Bacalar dentro de Chetumal:

Bacalar es un poblado ubicado a 38 km al noreste de Chetumal. Se tiene acceso por vía terrestre a través de la carretera 184, existe también. Desde Cancún puede tomar la carretera 307 o bien desde Yucatán la 295.

También se puede llegar a través de la autopista 307 o desde la ciudad de Mérida por la carretera federal 184, o bien, volar al Aeropuerto Internacional de Chetumal.

1.6 Fisiografía

La península de Yucatán es una estructura de plataforma que consiste en un conjunto de rocas sedimentarias de espesores de 2 500 a 3 500 m, de acuerdo con López-Ramos (1979), las cuales descansan sobre un basamento Paleozoico. Limita con las montañas de Chiapas y se extiende al Golfo de México con una amplia plataforma continental, que prácticamente está ausente hacia el oriente, en el Mar Caribe. Es la provincia más joven de la República Mexicana y abarca los estados de Yucatán, Quintana Roo y la mayor parte del estado Campeche (Fig.3).

En general, la topografía es llana con una altitud promedio menor a los 50 m.s.n.m, con elevaciones en la zona centro-sur de hasta 350 m. Es posible distinguir 2 tipos de relieve submarino en las márgenes del Golfo y el Caribe; por un lado, una gran plataforma continental, mientras que a pocos kilómetros de la costa profundidades de hasta 4000 km.

La morfología de la península de Yucatán consiste en tres unidades principales:

- 1) la planicie costera, una franja estrecha de depósitos marinos recientes y un litoral de acumulación;
- 2) la planicie interior de plataforma, en la porción septentrional, en estructura escalonada;
- 3) la porción meridional, predominante mente de lomeríos de 200-400 m.s.n.m. (Lugo-Hubp, 1990).

Sierra de Ticul.

Es una elevación delimitada por una falla normal, con una extensión de 125 km con orientación NW-SE y una altura que oscila entre los 20 m y 200 m.

Este rasgo fisiográfico contiene las rocas más antiguas que corresponden a la época del Paleoceno-Eoceno indiferenciado, se encuentran dolomitizadas, silicificadas o recristalizadas, incluidas las rocas evaporitas de la formación caliche, constituidas por yeso, anhidrita y halita, ricas en sulfatos y cloruros de sodio (Weidie, 1985; Reeve y Perry, 1990).

Relieve kárstico.

Esta característica fisiográfica de la Provincia, tiene su origen en el ascenso gradual del agua subterránea; este proceso, ha tenido como resultado el desarrollo de dolinas que crean en su interior formaciones de lagos interiores denominados *cenotes*. Éstos se concentran en la parte norte, alineados entre las zonas de Tulum, Quintana Roo y Campeche; disminuyendo hacia el sur de la península.

Gerstenhauer (1969) considera que en Yucatán ha habido dos etapas de generación del karst: la primera paleogénica, en una superficie elevada con formas propias de clima tropical (conos cársticos); la segunda corresponde a la planicie, con alturas de 25-30 m.s.n.m., y las formas kársticas fueron originadas por un ascenso gradual de las aguas subterráneas de hasta 20-100 m.

Además, la Península de Yucatán tiene una gran plataforma sumergida limitada por escarpes hacia el Caribe. Se encuentra inclinada de norte a sur (Velázquez et al., 2007) y limitada sobre sus tres lados, por pendientes continentales y escalonadas que caen en las profundidades abisales del Golfo de México, constituida por arrecifes de coral y terrazas sumergidas que se relacionan con antiguas líneas de costa.



Figura 3. Modelo topográfico de la Península de Yucatán.
<http://www.cicy.mx/documentos/CICY/sitios/Biodiversidad/pdfs/Cap1/02%20Relieve.pdf>

1.7Clima

Con base en la clasificación climática Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006), el clima de Yucatán es tropical con temporadas húmedas más frías y secas, influenciado por la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (Hughen et al., 1996). La ZCIT es el cinturón zonal de baja presión cerca del ecuador que abarca la convergencia subtropical de alta presión de los cinturones de alta presión del hemisferio norte y sur, lo que ocasiona patrones de precipitación a gran escala en los trópicos (Hastenrath, 2012). La estación climática fría-seca (de diciembre a abril) es resultado de que la posición de la ZCIT esté más al sur, dando por resultado, una acumulación de la precipitación durante este tiempo típicamente baja (promedio <100 mm por mes; Negreros-Castillo et al., 2003). Esto está en contraste con la época de lluvias (mayo a noviembre), donde la ZCIT se desplaza hacia el norte durante el verano ecuatorial y la

Península de Yucatán experimenta aumento de las precipitaciones (promedio 1000-1500 mm durante la temporada; Hodell et al, 2007; Metcalfe et al., 2015).

1.8. Hidrografía y circulación costera

La geología regional de la Península de Yucatán de México consiste de caliza biogénica que se acumuló durante el Cenozoico (Ward et al., 1985). Estas rocas tienen una alta permeabilidad y porosidad (Bauer-Gottwein et al., 2011). El paisaje ha sido ampliamente karstificado por la interacción de la hidrología de la zona de mezcla y los procesos litorales (Smart et al., 2006). Como resultado, la lluvia se filtra a través de la capa porosa, sustrato subyacente en el acuífero costero no confinado, donde esta agua meteórica forma una masa de agua distinta (WM) posicionada en la parte superior de la intromisión marina WM de la costa. Debido a la diferencia de densidades las WM están separadas por una haloclina (o picnoclina) que es una zona de transición nítida entre los cuerpos de agua (Kambesis y Coke, 2013; Perry y otros, 2003). Debido a la naturaleza del drenaje subterráneo, así como la escasa elevación de su geomorfología, la Península de Yucatán, no presenta una red fluvial definida, los cuerpos de agua superficial y las corrientes están ausentes o muy limitadas en la región (Metcalfe et al., 2000), con excepción del Río Hondo con una longitud aproximada de 180 Km, una profundidad media de 10 metros y una anchura media de 50 metros y que es la frontera con Belice. Por esta razón la principal fuente de agua dulce para el consumo humano además del uso industrial y agrícola se obtiene del agua subterránea (Escolero et al., 2002).

El estado de Quintana Roo comprende dos regiones Hidrológicas, la Yucatán Norte y Yucatán Este. En la primera, se encuentra la cuenca Quintana Roo y en pequeñas porciones la Cuenca Yucatán (Fig. 4). En la región Este, podemos encontrar dos cuencas, Bahía Chetumal y otras donde se aprecian las corrientes superficiales Hondo, Azul Escondido y Ucum.

Los cuerpos de agua más importantes son la Laguna de Bacalar, San Felipe, La Virtud, Guerrero y Milagros en el municipio de Othón P. Blanco; la Laguna Chichankanab y Esmeralda en el municipio de José María Morelos; la laguna Kaná, Noh Bec, Paytoro, Sac Ayin, X Kojoli, Ocom y Chunyaxché en el municipio de Felipe Carrillo Puerto; la Laguna Cobá en el municipio de Solidaridad; la Laguna Nichupte en Cancún; entre otros cuerpos de aguas.

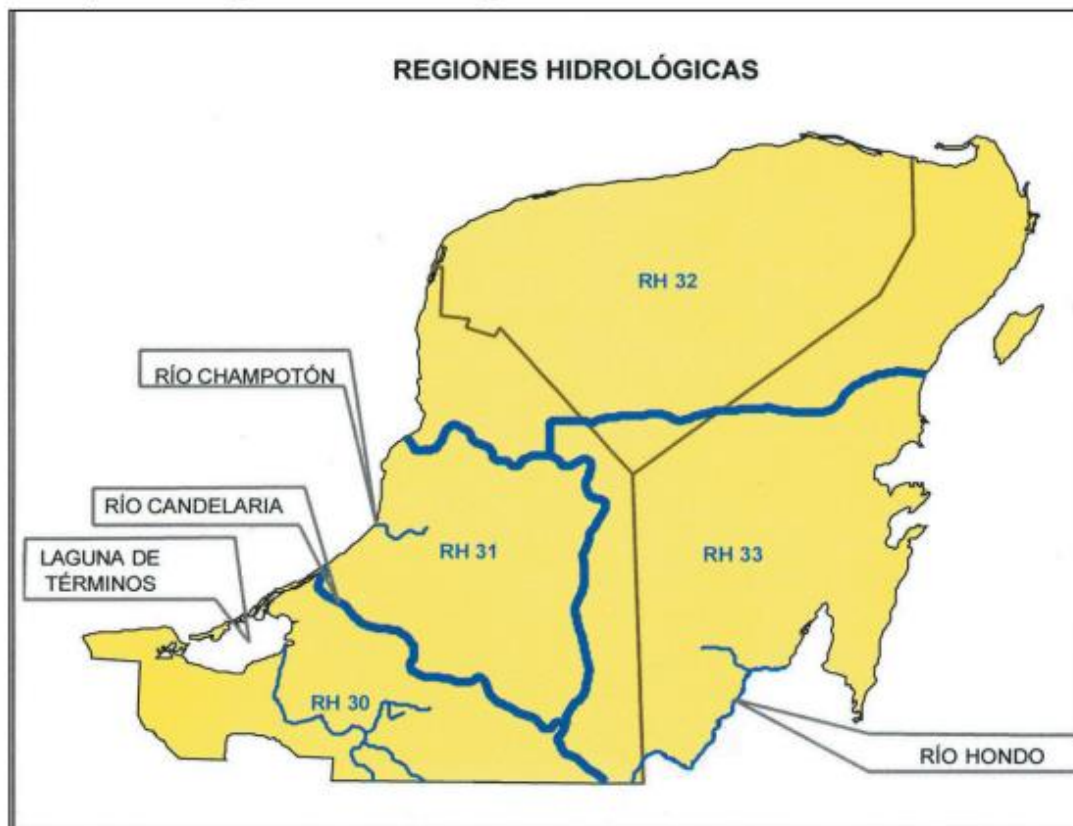


Figura 4. Regiones Hidrológicas de la Península de Yucatán, publicado en el diario oficial de la federación el 28 de agosto de 2009.

Por otro lado, el conocimiento de los patrones de circulación costera en esta región del litoral mexicano cobra una gran importancia ya que existe una multitud de procesos y fenómenos que están íntimamente relacionados con estos patrones (Merino et al., 1980). Entre los más evidentes están la dispersión y distribución de las larvas plantónicas de organismos (Johnson y Brinton, 1963), que viven asociados a la barrera

arrecifal coralina que existe a lo largo de esta costa (Fig. 5). Otros, representan recursos de un alto valor potencial por su contenido de fármacos de difícil síntesis como son algunos octocorales (Moreno et al., 1980). Los patrones de circulación costera en la región tienen también una fuerte influencia sobre la distribución y estructura comunitaria de los constructores arrecifales en sí, y por tanto sobre el desarrollo arrecifal mismo (Jordan et al., 1982), influyendo con esto sobre la gran diversidad de especies asociadas. Otro fenómeno, para la predicción del cual es necesario conocer la circulación costera, es la dispersión de contaminantes en la región. En este sentido la posibilidad de derrames de hidrocarburos provenientes de accidentes o de la explotación petrolera en el Caribe representa un grave peligro. Para nuestro estudio es importante para saber la distribución de sedimentos y posibles contaminantes asociados y su distribución a lo largo de la línea de costa

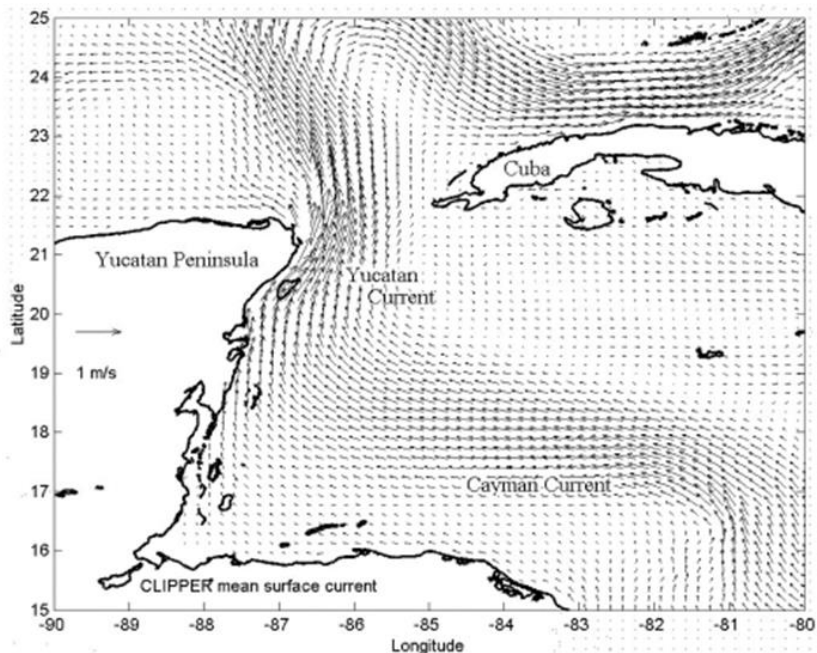


Figura 5. Circulación promedio a lo largo del Mar Caribe a partir de CLIPPER ATL6, los vectores representa el promedio de 5 años

El patrón de circulación costera (Fig. 5) dentro de la zona es hacia el norte.

1.9 Geología

Desde el punto de vista geológico la Península se constituye principalmente por sedimentos calcáreos marinos del Cenozoico. Representa una extensa planicie que forma parte de la provincia geográfica de la Llanura del Golfo y del Caribe, con características morfológicas y estructurales bastante uniformes.

La geología superficial de Yucatán se caracteriza por la poca existencia de suelo <20 cm aproximadamente y se compone, en su mayor parte, por una secuencia casi horizontal de sedimentos calcáreos de origen marino depositadas durante el Cretácico Inferior al Cuaternario.

Después de los 200 m, se compone de capas impermeables de margas y calizas cuyos espesores se extienden varios centenares de metros (Butterlin y Bonet. 1960: Bonet y Butterlin, 1962). En consecuencia, no hay cursos de aguas superficiales: las lluvias saturan el terreno, dando origen a grutas, cavernas o sumideros.

Al tratarse de una zona que estuvo emergida hasta inicios de Paleoceno, el basamento se conforma por una capa gruesa de sedimentos marinos del Paleozoico tardío que subyacen a una secuencia sedimentaria continental de edad jurásica proveniente del Bloque de Yucatán y el Macizo de Chiapas.

La cuenca marina en que se depositaron estos sedimentos ha sido relacionada con la falla transformante que dio origen a la apertura del Golfo de México (Tucker. 1985). El principal rasgo fisiográfico está representado por la Sierra de Ticul.

En la línea de costa afloran calizas recristalizadas, con abundantes microfósiles de pelecípodos así como una variedad de miliólidos. La unidad presenta algunos horizontes calcáreo-arcillosos y margas blancas; se encuentran principalmente rocas del Cuaternario (coquinas, suelos residuales, arenas, arcillas y turbas); y comprende playas de barrera y lagunas de inundación, así como una serie de bahías someras en las que se presenta el fenómeno de intrusión salina.

En sentido Cronoestratigráfico se pueden encontrar las siguientes unidades:

1. Cenozoico:

1.1 Paleoceno-Eoceno inferior:

Formación Icaiché. Compuesta por calizas compactas de micro a macro cristalinas, generalmente dolomitizadas, a veces silicificadas o bien simplemente recristalizadas, lo que explica la poca presencia de fósiles (Álvarez, 1969). **Extensión geográfica:** Se encuentra ampliamente distribuida en los estados de Campeche y Quintana Roo.

Ambiente de depósito: Esta unidad corresponde a un cambio de facies de una plataforma interna con influencia evaporítica, hasta una plataforma externa con influencia de mar abierto; el conjunto fosilífero indica un ambiente de depósito que oscila entre nerítico medio y batial superior.

1.2 Eoceno Medio-Superior:

Formación Chichen Itzá: Son calizas con abundante fauna y algunas variaciones litológicas, las cuales permiten dividirla en 3 miembros: Miembro Xbacal, Miembro Pisté y Miembro Chumbec.

- *Miembro Xbacal:* representada por calizas blancas o grises pero generalmente amarillentas e impuras, a veces masivas, pudiendo pasar a margas amarillas o inclusive a lutitas verdosas
- *Miembro Pisté:* Pertenece al Eoceno Medio, se conforma por calizas de estructura masiva. Contiene gran cantidad de foraminíferos- familia Valvulinidae- así como por algas calcáreas (*Clypeina*)
- *Miembro Chumbec:* Pertenece al Eoceno Superior, se conforma por calizas de estructura masiva muy cristalinas. El espesor es de aproximadamente 100 m.

Espesor: varían de 25 a 180 m (Pemex, 1988); 100m (Islas-Tenorio et al., 2005; Loaeza-García et al., 2005), alcanzando un máximo de 700 a 780 m (López-Ramos, 1973 en Cardoso-Vázquez et al. 2004).

Distribución geográfica: Las rocas de ésta unidad se encuentran ampliamente distribuidas en los estados de Campeche, Yucatán, Quintana Roo y en una pequeña porción del estado de Tabasco. En la porción central de la Península de Yucatán desde la ciudad de Campeche, sur de Mérida, hasta el poniente de Chetumal y Carrillo Puerto (Pemex, 1988).

Ambiente de depósito: Se ha interpretado que los carbonatos de esta unidad se depositaron, en un ambiente marino de plataforma somera con zonas lagunares y cuencas tranquilas (López-Ramos, 1973 en Miranda-Huerta et al., 2004). Por otro lado, personal de PEMEX (1988) consideran que con base en su litología, y contenido fosilífero, el ambiente de depósito varía de nerítico interno a nerítico externo en el noroeste y que en el extremo suroeste presenta influencia de plataforma evaporítica hacia la base.

1.3 Oligoceno

Se conforma por margas blancas y grises con intercalaciones de arcilla y calizas compactas. El Oligoceno superior está conformado por caliza y calcarenita coquinoide, con abundantes restos de moluscos, briozoarios, algas y miliólidos.

1.4 Mioceno inferior

Formación Bacalar: Fue definida por J. Butterlin en 1958, se constituye por margas y cretas blancas con contenido de Moluscos y Hexacoralios en los niveles inferiores y a veces presentando finas capas de yeso. Ocasionalmente, los horizontes de margas se alternan con pequeños lentes de areniscas (López-Ramos, 1979). La fauna contenida en ésta formación es muy abundante, formando caliza de coquina (CONAGUA, 2009). Esta formación es sobreyacida concordantemente por la Formación Carrillo Puerto.

Contenido fosilífero: Butterlin (1958) y Bonet y Butterlin (1959) reportaron que las rocas de ésta unidad contienen Lamelibranquios, gasterópodos, abundantes

madreporarios y ostrácodos. Por su parte, López-Ramos (1979) menciona que dicha unidad también contiene a los siguientes foraminíferos: *Peneroplis proteus*, *Archais angulatus*, *A. compresus*, *Sorites sp.*, o *Marginota sp.*, *Gypsina pilaris*.

Espesor: Inicialmente, Butterlin (1958) documentó que debido a la falta de estratificación no fue posible medir el espesor real; sin embargo, considera que éste no es mayor a 5 m. Posteriormente, se reportó un espesor de 65 m (Virgen-Magaña, 1988).

Distribución geográfica: Ésta unidad aflora en una pequeña porción de la parte sureste del estado de Quintana Roo, la cual queda comprendida entre Chetumal y Bacalar (Butterlin, 1958; Bonet y Butterlin, 1959).

Ambiente de depósito: Se trata de una sedimentación que se efectuó en las cercanías de los arrecifes coralinos en su borde exterior o en la zona inter arrecifal, y los fragmentos de arrecifes arrancados por las olas se englobaron en los lodos calcáreos que se depositaron en los alrededores (Butterlin, 1958).

1.5 Mioceno Superior- Plioceno

Formación Carrillo Puerto: Los niveles superficiales están representados por calizas blancas, duras y masivas; los intermedios por calizas arcillosas, duras, de color amarillento a rojizo y los inferiores por coquinas constituidas por materiales fosilíferos blandos de color blanco. Ésta formación es la unidad hidrogeológica más importante debido a su gran distribución y a la poca profundidad del agua subterránea.

Contenido fosilífero: Esta unidad contiene abundante contenido fosilífero; el cual está representado por gasterópodo, foraminíferos bentónicos así como Hexacoralarios (cnidarios), moluscos, del género *Archaias* (Butterlin y Bonet, 1963) y ostrácodos (López-Ramos, 1972).

Espesor: En su descripción original, Butterlin (1958) únicamente menciona que puede alcanzar centenares de metros; mientras que personal de PEMEX (1988) consideran que varía entre 5 y 25 m.

Distribución geográfica: La unidad constituye toda la parte oriental y central del territorio de Quintana Roo, se extiende ampliamente en la región central del estado de Yucatán y al noroeste del estado de Campeche (Butterlin y Bonet, 1963)

Ambiente de depósito: Puede corresponder a un período de sedimentación bastante largo, en donde el mar debió de cubrir una gran parte de la península (Bonet y Butterlin, 1959); depositándose en un ambiente nerítico interno con influencia del nerítico medio (PEMEX, 1988), en un ambiente de plataforma somera.

1.6 Pleistoceno-Holoceno: Calizas de Moluscos. Son calizas coquiníferas masivas con tonalidades de blanco a crema. Su microfauna comprende sobre todo moluscos de aspecto moderno. Probablemente las calizas consolidadas pertenecen al Pleistoceno y las capas superiores más blandas y costeras pertenezcan al Reciente. Esta formación tiene una gran permeabilidad y porosidad debido a la presencia de fracturas y cavidades por disolución.

En la Fig. 6 se sintetiza las unidades que conforman la columna de la Península de Yucatán.

C E N O Z O I C O	Holoceno	Calizas con moluscos
	Pleistoceno	
	Plioceno	Fm. Carrillo Puerto
	Mioceno	Formación Bacalar
	Oligoceno	Margas con intercalaciones de arcilla y caliza
	Eoceno	Fm. Chichén Itzá: Miembro Chumbec Miembro Pisté Miembro Xbacal
	Paleoceno	Fm. Icaiché

Fig. 6. Unidades estratigráficas de la Península de Yucatán.

1.10. Tectónica

La península de Yucatán ha constituido un elemento tectónicamente estable durante buena parte del Mesozoico y Cenozoico, a partir de la apertura y formación del Golfo de México en el Jurásico Medio.

La evidencia en las rocas sedimentarias marinas terciarias, muestran un levantamiento gradual a partir del Oligoceno. La zona de estudio ha estado sujeta a transgresiones y regresiones, uno de los más significativos se ubica al final del Pleistoceno, donde el ascenso del nivel del mar llegó a los 130 m (Emery, 1977), cubriendo extensiones de tierras emergidas pertenecientes a la Florida y Yucatán; resultado de ello es la plataforma continental de aproximadamente 180 km en la parte occidental de Yucatán.

Un evento importante en la evolución tectónica de la Península de Yucatán ocurre en el límite entre el Período Cretácico y el Período Paleógeno, cuando se ha postulado que en el área de Chicxulub, en la costa norte de Yucatán, ocurrió el impacto de una meteorita al que se considera responsable de la extinción de numerosas especies animales y vegetales, entre las que destacan los dinosaurios y las amonitas.

2. Metodología

El análisis de estas playas fue realizado de acuerdo al proyecto PAPIME “*Análisis y clasificación de rocas y sedimentos obtenidos a partir de la exploración y muestreo de ambientes sedimentarios*”, a cargo de la Dra. Mayumi Cabrera Ramírez con el propósito de crear guías de aprendizaje aplicadas a las ciencias de la tierra.

2.1 Trabajo de Campo

Las muestras que fueron colectadas del 8 al 16 de abril del 2017, se agruparon específicamente en 3 áreas: la isla de Holbox, la zona costera norte de la Riviera Maya y la zona de Chetumal. Se recolectó alrededor de medio kilo de arena correspondiente a los primeros 5 cm de profundidad en 12 playas de la Península de Yucatán. Dichas muestras fueron guardadas en bolsas de plástico, rotuladas y selladas para un mejor manejo.

En la isla de Holbox se obtuvieron muestras de la laguna de Yalahau la playa de Isla Pasión, la playa municipal cerca del muelle y una más al occidente de la isla de Holbox, denominada en este estudio como Holbox 2 (Fig. 7).

Las muestras correspondientes a la zona costera norte de la Riviera Maya son: la playa Chac-mool, la Playa Dreams, Puerto Morelos (muelle) y la playa ubicada frente al Instituto de Ciencias del mar y Limnología (ICMyL) de la UNAM (sede Puerto Morelos, Q.Roo) , Playa del Carmen , la playa de Akumal (Fig. 7).

En Chetumal se obtuvieron dos muestras de la laguna de Bacalar, una cerca del muelle y otra 100 m laguna adentro (Fig. 7).



Fig.7a Playa Akumal



Fig 7b..Bacalar Muelle



Fig 7c. Playa Chac-mool



Fig 7d. Puerto Morelos



Fig 7e.Isla Pasión



Fig 7f. Playa Dreams (Puerto Morelos)

Fig. 7. Fotografías de las zonas muestreadas.



Fig 7g Laguna de Yalahau



Fig 7h Playa del Carmen.

Fig. 7 Fotografías de las zonas muestreadas.

2.2 Trabajo de laboratorio

Los análisis realizados a las muestras que se recolectaron son:

- Sedimentológicos: Se obtuvieron los parámetros estadísticos que permitieron clasificar los sedimentos, obtener ambientes de formación y mecanismo de transporte.
- Petrográficos: Conteo de puntos para determinar el porcentaje total de elementos que la componen, descripción e identificación de éstos.
- Geoquímicos: Análisis de carbonatos, obtención de elementos mayores y metales traza de cada playa a través del método de Fluorescencia de Rayos X, con la finalidad de encontrar anomalías.

3. Análisis Sedimentológico.

El análisis sedimentológico se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

3.1 Lavado y secado de muestras.

Las muestras fueron lavadas dentro de recipientes de vidrio con la finalidad de retirar partículas que no corresponden a la composición original de la arena. Este proceso se llevó a cabo poniendo la muestra directamente al agua de grifo (Fig. 8).

Una vez lavadas, las muestras fueron expuestas al calor de un conjunto de lámparas yuxtapuestas dentro de un área aislada para comenzar el proceso de secado de manera lo más uniforme posible (Fig. 9).



Fig 8 Lavado de muestras.



.Fig 9.Secado de muestras

3.2 Tamizado de muestras

El proceso de tamizado se llevó a cabo conforme a lo sugerido por Folk (1980), con el rango de tamices de -3.0 a 4.0ϕ dentro de un ROT-TAP (Fig. 10). Cuando las muestras se han secado en su totalidad, se obtiene el peso total y se comienza a tamizar con un tiempo aproximado de 5 minutos entre cada muestra (Fig. 11). La cantidad tiempo en el ROT-TAP se determinó de esa manera para evitar que los materiales carbonatados sufrieran el menor daño posible.

Tabla 1. Escala Sedimentológica Wentworth, 1922



.Fig 10. ROT-TAP

Escala Φ	mm	Clase de tamaño Wentworth	Clasificación de la partícula
-8	256	Bloque	Gravas
-7	128	Canto	
-6	64		
-5	32		
-4	16	Guijarro	
-3	8		
-2	4		
-1	2	Gránulo	
0	1	Arena muy gruesa	Arenas
1	0.5	Arena gruesa	
2	0.25	Arena media	
3	0.125	Arena fina	
4	0.062	Arena muy fina	



.Fig 11. Proceso de tamizado

3.3 Recolección de datos.

Al término del proceso, se va pesando la fracción de la muestra que va quedando en cada uno de los tamices, todos estos datos son recolectados dentro de una tabla para una mejor manipulación (Tabla 2.);

Tabla 2. Resultados del proceso de tamizado.

	Playa Dreams	Playa del Carmen	Puerto Morelos (Muelle)	Puerto Morelos	Chac Mool	Akumal
	307.36 g	511.09 g	397.19 g	442.71g	482.73 g	302.65 g
Φ						
-3.00						
-2.50						
-2.00			0.097			
-1.50	0.030	0.150	0.005		0.077	
-1.00	0.031	0.354	0.025	0.072	0.069	
-0.50	0.096	0.454	0.053	0.473	0.124	0.114
0.00	0.223	1.029	0.132	2.533	0.257	0.566
0.50	1.442	6.159	0.704	22.662	1.956	5.050
1.00	13.578	53.75	4.029	85.57	12.350	15.463
1.50	51.61	217.54	20.440	67.80	51.20	10.132
2.00	48.95	167.25	85.06	38.03	229.53	6.350
2.50	49.62	56.74	188.64	69.17	177.57	19.805
3.00	97.46	6.86	87.41	124.09	9.30	165.64
3.50	42.08	0.59	9.64	30.74	0.06	74.23
4.00	2.30	0.08	0.65	1.34		11.30
PAN	0.05	0.09	0.47	0.05		1.44

	Holbox (Muelle)	Yalahau	Holbox 2	Isla Pasi3n 547.41 g	Bacalar (Muelle)	Bacalar
	420.96 g	78.71g	510.20 g		229.01 g	438.87 g
Φ						
-3.00			30.93	0.339	2.209	198.80
-2.50		1.084	19.22	0.825	5.348	138.46
-2.00		0.763	15.49	1.156	3.063	59.56
-1.50		3.443	23.84	5.809	3.357	26.343
-1.00		4.334	30.55	7.447	8.429	10.23
-0.50		5.765	54.99	19.807	18.519	4.44
0.00		5.729	33.56	35.529	15.024	0.59
0.50		9.787	17.37	84.54	23.178	0.23
1.00		13.626	5.18	119.53	28.435	0.09
1.50	0.116	12.049	2.96	54.22	23.312	0.06
2.00	1.553	8.643	6.21	30.36	21.494	0.06
2.50	17.327	5.260	26.12	54.85	24.154	0.05
3.00	232.31	2.829	155.08	102.45	24.691	0.10
3.50	139.68	1.672	75.69	28.544	16.166	0.09
4.00	27.59	1.045	11.30	1.909	6.660	0.02
PAN	2.24	2.108	1.44	0.309	4.112	0.03

3.4 An3lisis de datos

Los par3metros granulom3tricos resultan una herramienta muy 3til para poder llevar a cabo an3lisis paleoambiental y geomorfol3gico.

Los coeficientes estadísticos utilizados por Folk y Ward (1957) y que ser3n 3tiles para nuestro an3lisis granulom3trico son (Fig.12):

La media y la mediana: son las medidas de la tendencia central. Reflejan la energía cinética media del agente de transporte. Este aspecto tiene influencia por parámetros como velocidad del agente de transporte, forma, gravedad específica, composición y resistencia de los sedimentos durante el transporte.

La desviación estándar es una medida de dispersión más útil para clasificar arenas de acuerdo a sus diferentes ambientes de depósito; participan parámetros tales como la velocidad del agente de transporte, el grado de turbulencia, propiedades hidrodinámicas, naturaleza de los sedimentos provistos al ambiente de depósito y el índice de materiales detríticos (Mckinney y Friedman, 1970).

Nos muestra el grado de clasificación granulométrica, la clasificación es más baja cuantos mayores intervalos de grados estén involucrados en la distribución granulométrica, refleja el tipo de agente de transporte y es una medida de su grado de fluidez o viscosidad.

La **asimetría** muestra si la distribución es simétrica o asimétrica con respecto a la moda y la media. Las distribuciones con asimetría positiva poseen una acumulación de *materiales finos*, mientras que las de asimetría negativa tienen una acumulación de *materiales gruesos*.

La **curtosis** es una medida comparativa entre la selección en el centro de la distribución y en los extremos. La gráfica de curtosis es una forma de comparar cualitativamente los sedimentos ya clasificados, con alta energía, con el posterior transporte y modificación por otro tipo de ambiente (Folk y Ward, 1957)

DESVIACIÓN STANDARD	CURTOSIS	ASIMETRÍA
Extremadamente mal seleccionado ----- 4,00 -----	Extremadamente leptocúrtica ----- 3,00 -----	----- 1,00 ----- Muy asimétrica positiva
Muy pobremente seleccionado ----- 2,00 -----	Muy leptocúrtica ----- 1,50 -----	----- 0,30 ----- Asimétrica positiva
Pobremente seleccionado ----- 1,00 -----	Leptocúrtica ----- 1,11 -----	----- 0,10 ----- Simétrica
Moderadamente seleccionado ----- 0,70 -----	Mesocúrtica ----- 0,90 -----	----- -0,10 ----- Asimétrica negativa
Moderadamente bien seleccionado ----- 0,50 -----	Platicúrtica ----- 0,67 -----	----- -0,30 ----- Muy asimétrica negativa
Bien seleccionado ----- 0,35 -----	Muy platicúrtica	----- -1,00 -----
Muy bien seleccionado		

.Fig 12. Los coeficientes estadísticos Folk y Ward (1957):

Para poder realizar los cálculos estadísticos de las muestras se organizó la información en una tabla (Tabla 3.) con la siguiente información:

Tabla 3. Ejemplo de las operaciones realizadas para los cálculos estadísticos.

		Peso (g)	Peso Acumulado	%Peso	%Acumulado
Nombre de la muestra	-3	A	A	$(a*100)/(\text{peso total})$	
	-2.5	B	a +b	$(b*100)/(\text{peso total})$	
	-2	C	a+b+c		
	.				
	.				

3.5 Clasificación de las muestras de acuerdo a sus parámetros estadísticos.

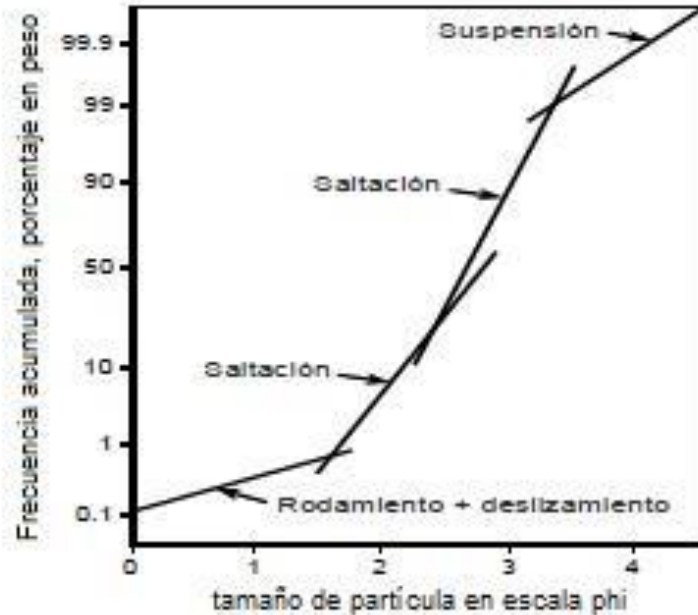
Según Folk (1980), la clasificación de partículas de acuerdo a su tamaño es posible debido a que la mayoría de partículas existentes en un medio dado, los tamaños de grano tienden a acumularse uniformemente.

A partir de la información obtenida en la tabla 3, se graficó el valor de ϕ contra el valor del porcentaje acumulado con el fin de poder obtener mediante ϕ_{95} , ϕ_{84} , ϕ_{75} , ϕ_{50} , ϕ_{16} y ϕ_5 . Estos valores se emplean dentro de las ecuaciones que permiten el análisis estadístico de las partículas (Fig. 13):

$$\begin{aligned}\text{Media } (M_z) &= \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \\ \text{Mediana } (Md_\phi) &= \phi_{50} \\ \text{Desviación standard } (\sigma_i) &= \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \\ \text{Asimetría } (Sk_i) &= \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \\ \text{Curtosis } (K_G) &= \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}\end{aligned}$$

.Fig 13. Ecuaciones para obtener el análisis estadístico. Folk,1978

Para clasificar el mecanismo de transporte se graficó la escala phi vs el porcentaje acumulado (Fig. 14).



.Fig 14. Clasificación del mecanismo de transporte de partícula a partir de la escala phi y la frecuencia acumulada (Modificado de Visher, 1969).

3.6 Parámetros sedimentológicos obtenidos en las playas de la Riviera Maya.

Se obtuvieron los parámetros estadísticos: tamaño gráfico promedio ($Mz\Phi$), desviación estándar (clasificación σ), asimetría y curtosis, descritos anteriormente de cada muestra de arena perteneciente a 10 playas que se encuentran en la Riviera Maya.

3.6.1 Playa Dreams.

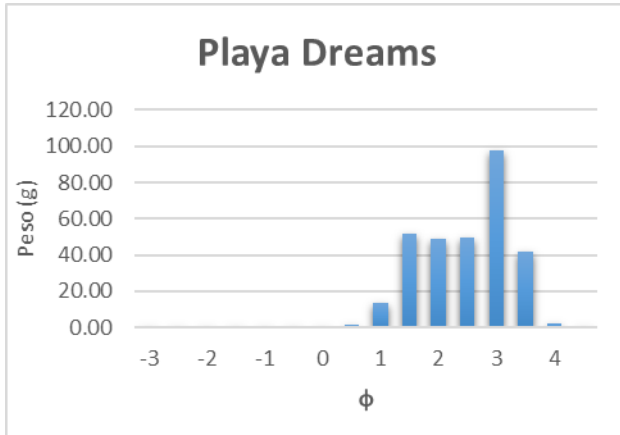


Fig.15.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

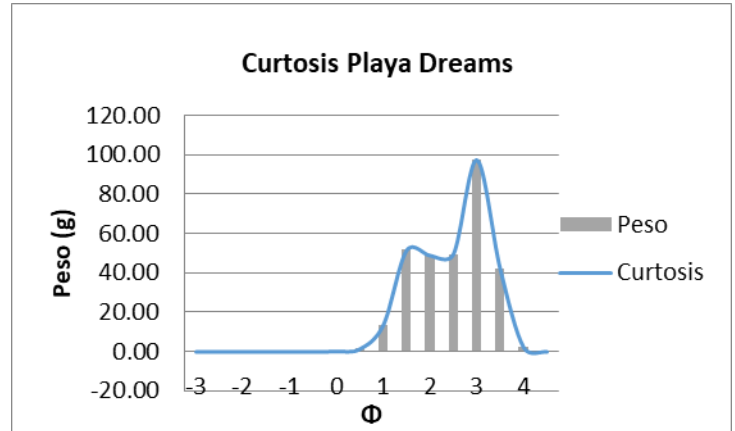


Fig.16.Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Playa Dreams.

Tabla 4. Parámetros sedimentológicos de playa Dreams

Parámetro	Valor	Clasificación
Mzφ	2.23	Arena fina
σ	0.77	Moderadamente clasificada
Asimetria	0.23	Asimétrica-finos
Curtosis	0.79	Platicúrtica

La playa Dreams ubicada al norte de la ciudad de Puerto Morelos presenta arenas finas, bien clasificadas con una curva asimétrica hacia finos, platicúrtica. (Fig 15, 16 y Tabla 4).

3.6.2. Playa del Carmen.

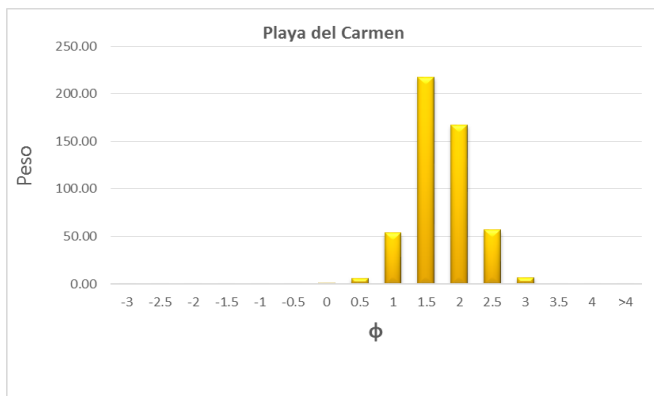


Fig 17. Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

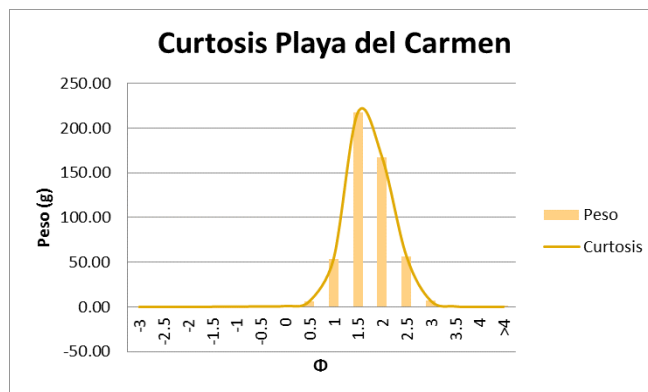


Fig.18. Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Playa del Carmen.

Tabla 5. .Parámetros sedimentológicos de Playa del Carmen

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	1.48	Arena media
σ	0.47	Bien Clasificada
Asimetría	0.085	Simétrica
Curtosis	1.046	Mesocúrtica

En Playa del Carmen el tamaño gráfico promedio es de arena media, bien clasificada con una curva simétrica y mesocúrtica.(Fig 17,18 y Tabla 5).

3.6.3 Puerto Morelos(muelle).

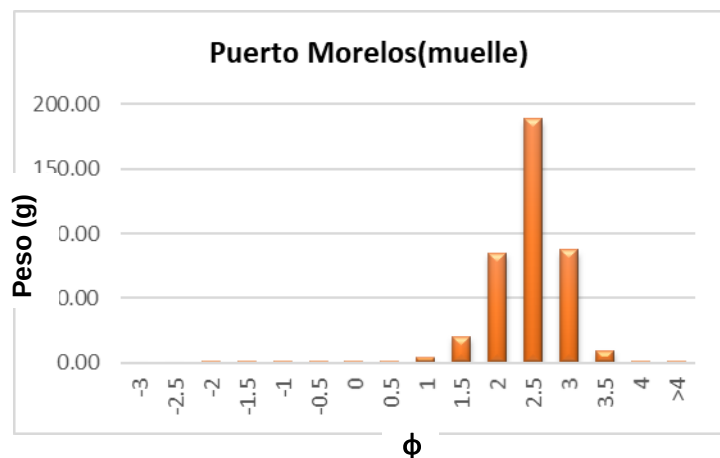


Fig.19.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

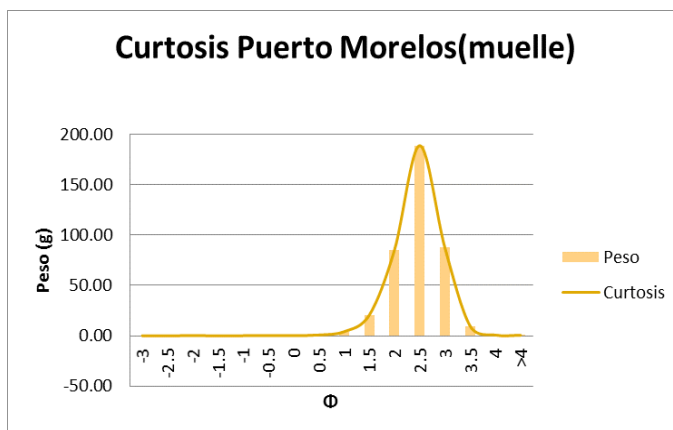


Fig. 20. Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Puerto Morelos (muelle).

Tabla 6. Parámetros sedimentológicos de Puerto Morelos

Parámetro	Valor	Clasificación
Mzφ	2.21	Arena fina
σ	0.48	Bien Clasificada
Asimetría	-0.06	Simétrica
Curtosis	1.143	Leptocúrtica

Las arenas de la playa cerca del muelle de Puerto Morelos son finas, bien clasificadas con una curva simétrica y leptocúrtica.(Fig.19, 20 y Tabla 6).

3.6.4. Puerto Morelos (ICMyL)

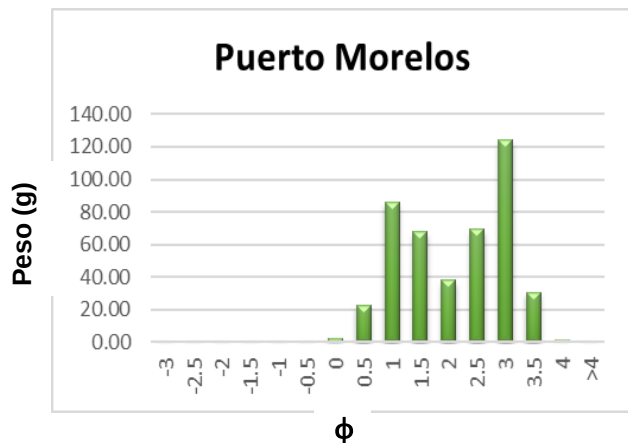


Fig 21. Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

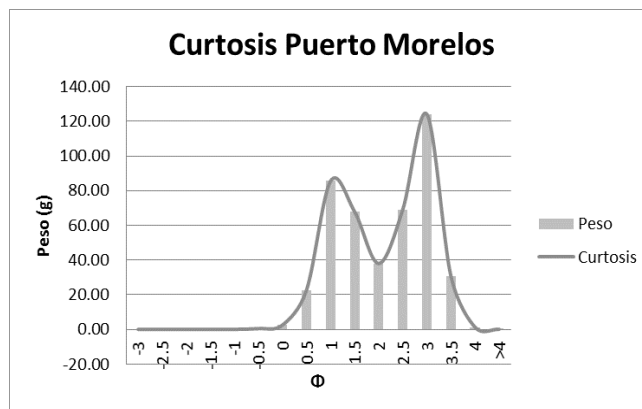


Fig. 22. Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Puerto Morelos.

Tabla 7. Parámetros sedimentológicos de Puerto Morelos (ICMyL)

Parámetro	Valor	Clasificación
Mzφ	1.87	Arena media
σ	0.92	Moderadamente clasificada
Asimetría	-0.19	Asimétrica-gruesas
Curtosis	0.66	Muy platycúrtica

El análisis granulométrico de la playa enfrente del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Unidad Puerto Morelos permitió caracterizar los sedimentos como arenas medias, moderadamente clasificada con curva asimétrica hacia gruesos y muy platycúrtica. (Fig 21, 22 y Tabla 7).

3.6.5.Chac Mool.

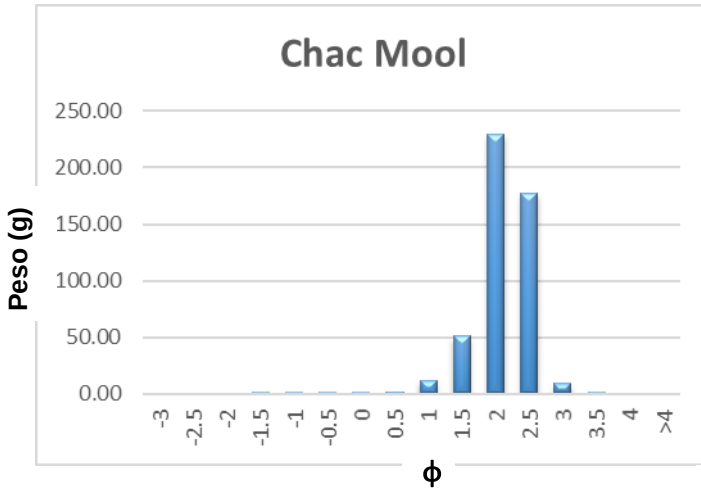


Fig.23.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

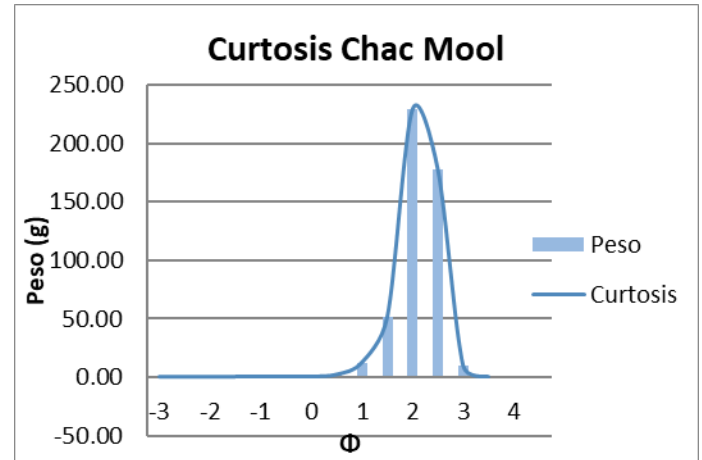


Fig. 24. Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Chac Mool.

Tabla 8. Parámetros sedimentológicos de Chac Mool.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	1.9	Arena mediana
σ	0.40	Bien Clasificada
Asimetría	-0.05	Simétrica
Curtosis	0.96	Mesocúrtica

La playa Chac-mool ubicada en la zona hotelera de Cancún presenta tamaños de arenas medias, bien clasificadas con una asimetría simétrica y una curtosis mesocúrtica.(Fig. 23,24 y Tabla 8).

3.6.6.Akumal

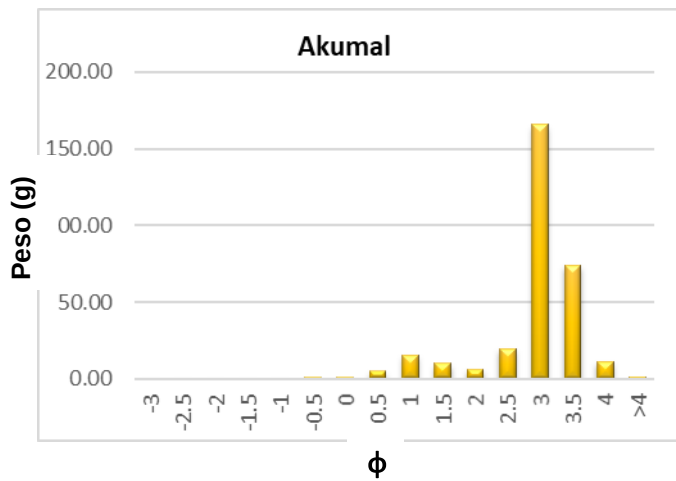


Fig.25 Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

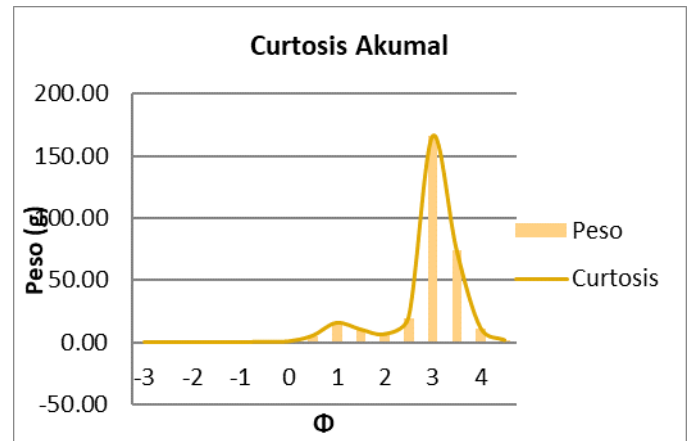


Fig.26. Representación gráfica de la curtosis correspondiente a la playa de Akumal.

Tabla 9. Parámetros sedimentológicos de playa Akumal.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	2.80	Arena fina
σ	0.60	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.23	Asimétrica-gruesos
Curtosis	2.49	Muy leptocúrtica

La playa Akumal presenta un tamaño gráfico promedio de arenas finas moderadamente bien clasificadas, con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis muy leptocúrtica.(Fig 25, 26 y Tabla 9)

3.6.7.Holbox(muelle)

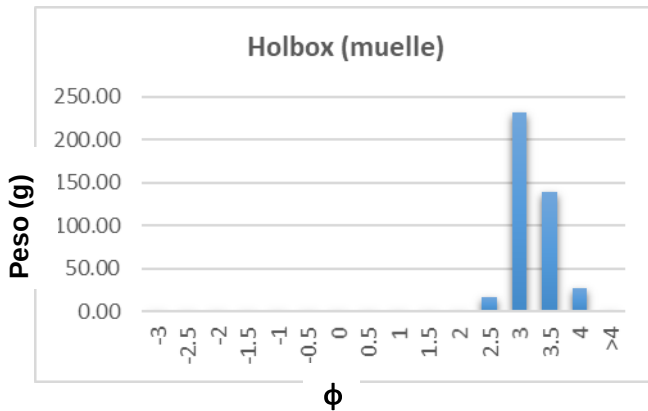


Fig.27.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “X” vs el peso en el eje “Y” de la muestra.

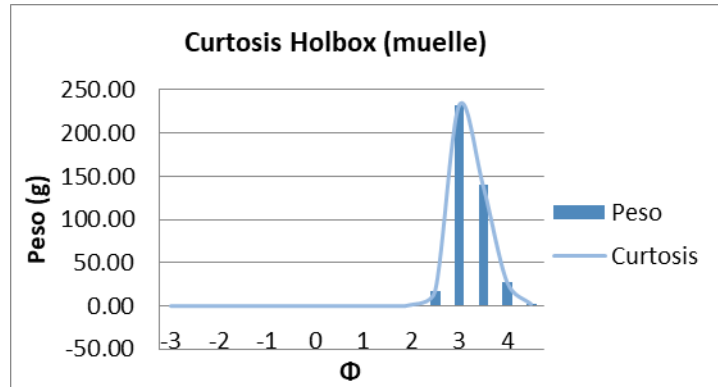


Fig.28.Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Holbox.

Tabla 10. .Parámetros sedimentológicos de Holbox.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mzφ	2.94	Arena fina
σ	0.33	Muy bien Clasificada
Asimetria	0.20	Asimétrica-finos
Curtosis	0.86	Platicúrtica

En la isla de Holbox, el análisis granulométrico de las arenas de la playa principal cercana al muelle da como resultado que los sedimentos que la componen son en su mayoría arenas finas, muy bien clasificadas con una curva asimétrica hacia finos y platicúrtica (Fig 27,28 y Tabla 10).

3.6.8. Yalahau

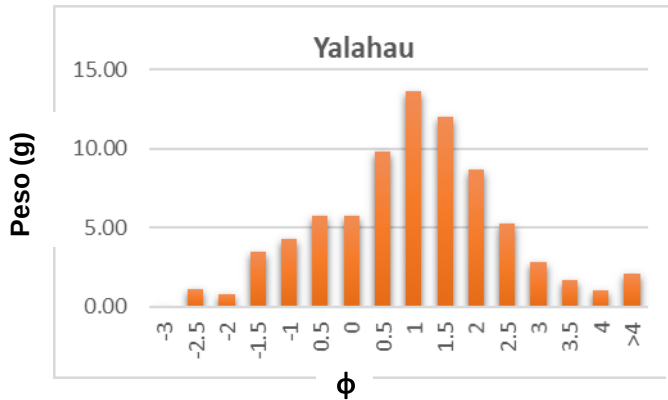


Fig.29.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

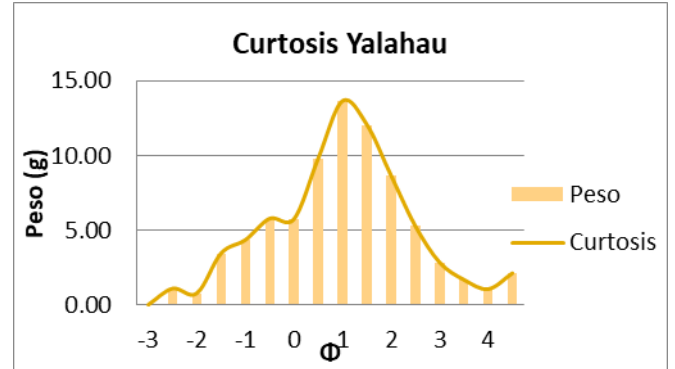


Fig 30.Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Yalahau.

Tabla 11..Parámetros sedimentológicos de Yalahau.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	0.65	Arena gruesa
σ	1.27	Mal Clasificada
Asimetría	-0.24	Asimétrica-gruesos
Curtosis	0.80	Platicúrtica

En la Laguna Yalahau, los sedimentos que la componen tienen un tamaño gráfico promedio de arenas gruesas, mal clasificadas con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis platicúrtica (Fig.29, 30 y Tabla 11).

3.6.9 Holbox 2

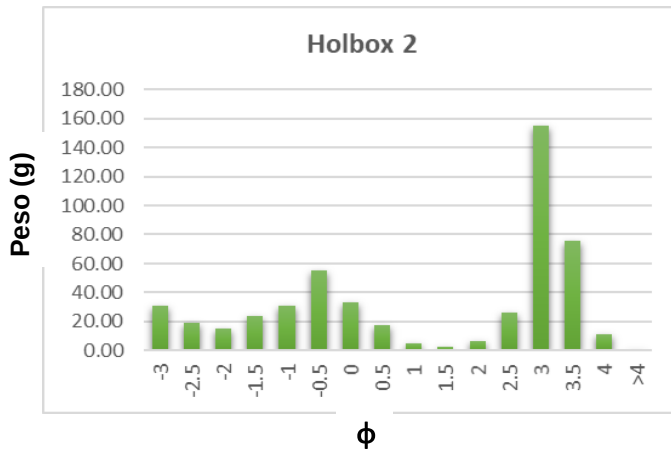


Fig.31 .Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

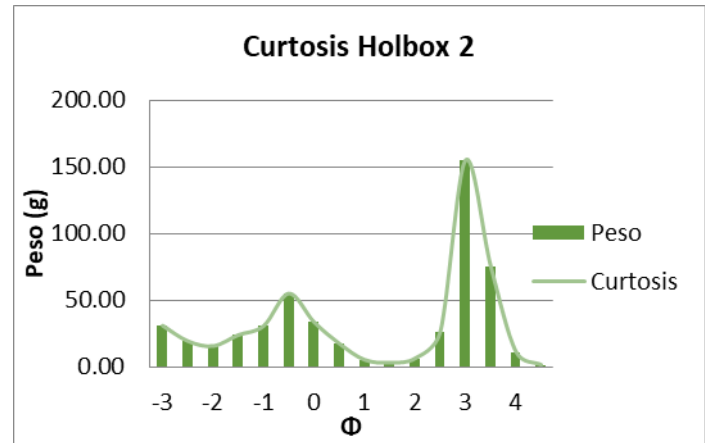


Fig 32. .Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Chac Mool.

Tabla 12..Parámetros sedimentológicos de Holbox 2.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	1.23	Arena media
σ	1.70	Mal Clasificada
Asimetría	-0.58	Muy Asimétrica-gruesos
Curtosis	0.35	Muy platicúrtica

Para la playa Holbox 2, el análisis sedimentológico arroja como resultados arenas medias, mal clasificadas con una curtosis muy platicúrtica y una asimetría muy asimétrica hacia gruesos (Fig 31, 32 y Tabla 12).

3.6.10. Isla Pasión

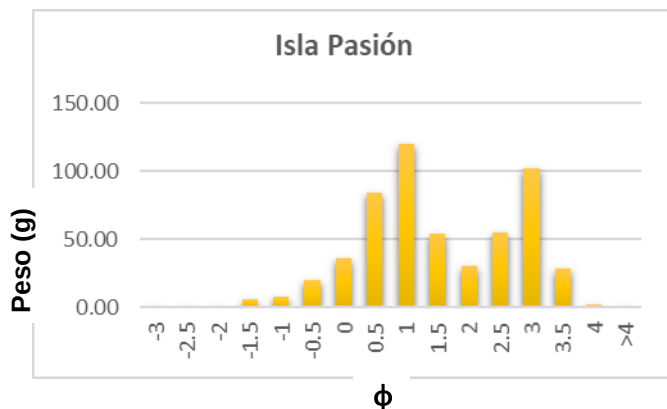


Fig.33.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

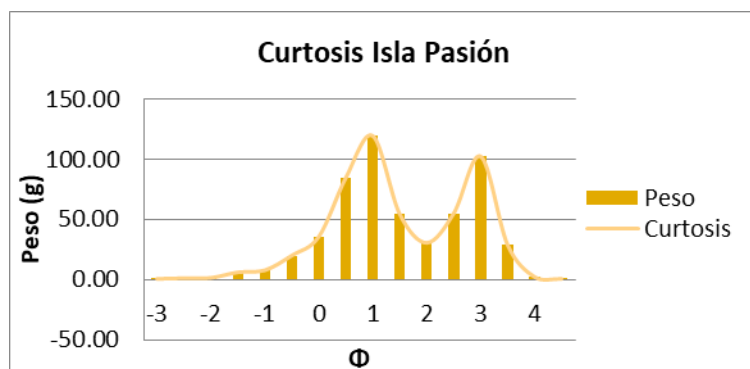


Fig.34 .Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Chac Mool.

Tabla 13..Parámetros sedimentológicos de Isla Pasión.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	1.27	Arena media
σ	1.21	Mal Clasificada
Asimetría	0.188	Asimétrica-finos
Curtosis	0.73	Platicúrtica

La playa muestreada en Isla Pasión presenta sedimentos de tamaño arena media, mal clasificados con una curva asimétrica hacia finos y platicúrtica (Fig 33, 34 y Tabla 13).

3.7.11. Bacalar Muelle.

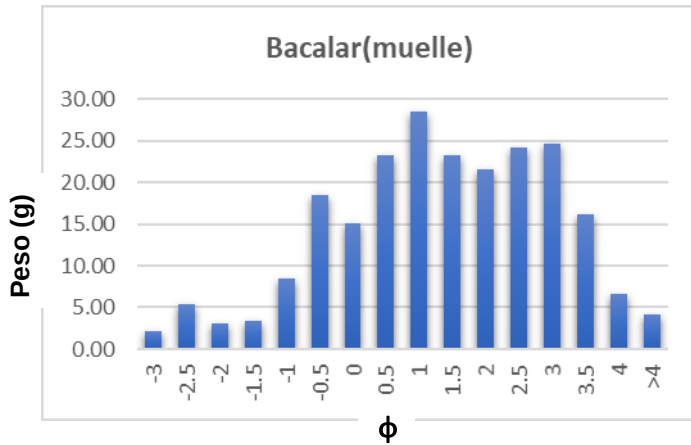


Fig.35 Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

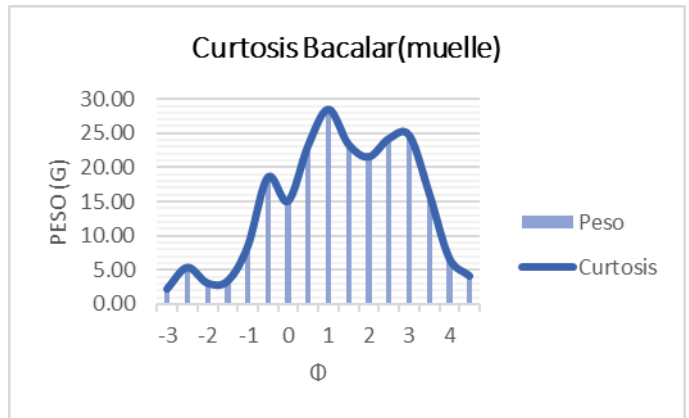


Fig 36 Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Chac Mool.

Tabla 14. Parámetros sedimentológicos de Bacalar Muelle.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	1.04	Arena media
σ	1.72	Mal Clasificada
Asimetría	-0.1	Asimétrica-gruesos
Curtosis	1.01	Mesocúrtica

Los sedimentos de Bacalar cerca del muelle presentan un tamaño gráfico promedio de arenas medias, mal clasificadas con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis mesocúrtica (Fig 35, 36 y Tabla 14).

3.7.12. Bacalar.

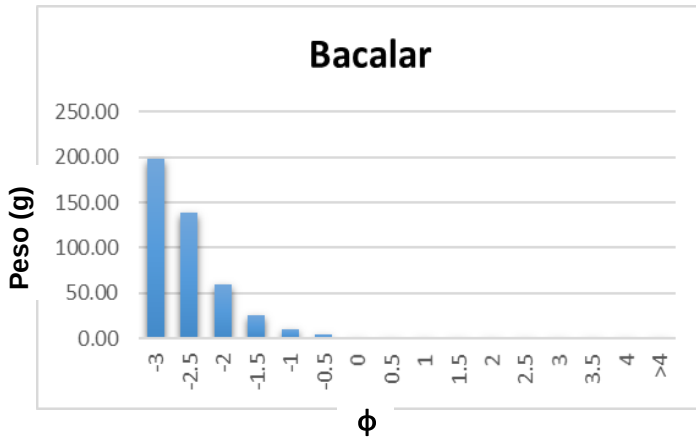


Fig.37.Representación gráfica donde se muestra el tamaño en el eje “x” vs el peso en el eje “y” de la muestra.

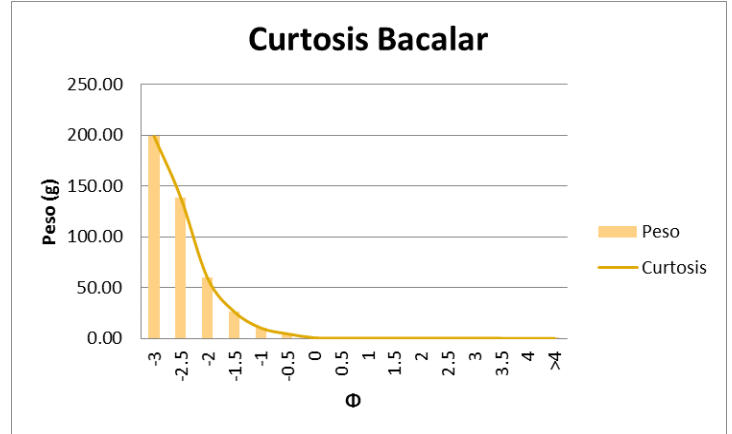


Fig. 38 Representación gráfica de la curtosis correspondiente a Chac Mool.

Tabla 15. Parámetros sedimentológicos de Bacalar

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz ϕ	-2	Arena muy gruesa
σ	-0.85	Muy bien Clasificada
Asimetría	-2.80	Muy Asimétrica-gruesos
Curtosis	0.28	Muy Platicúrtica

Los sedimentos de Bacalar a 100 m de distancia de la costa son arenas muy gruesas, muy bien clasificadas con una asimetría muy asimétrica hacia gruesos y una curtosis muy platicúrtica (Fig. 37.38 y Tabla 15).

Mecanismo de transporte

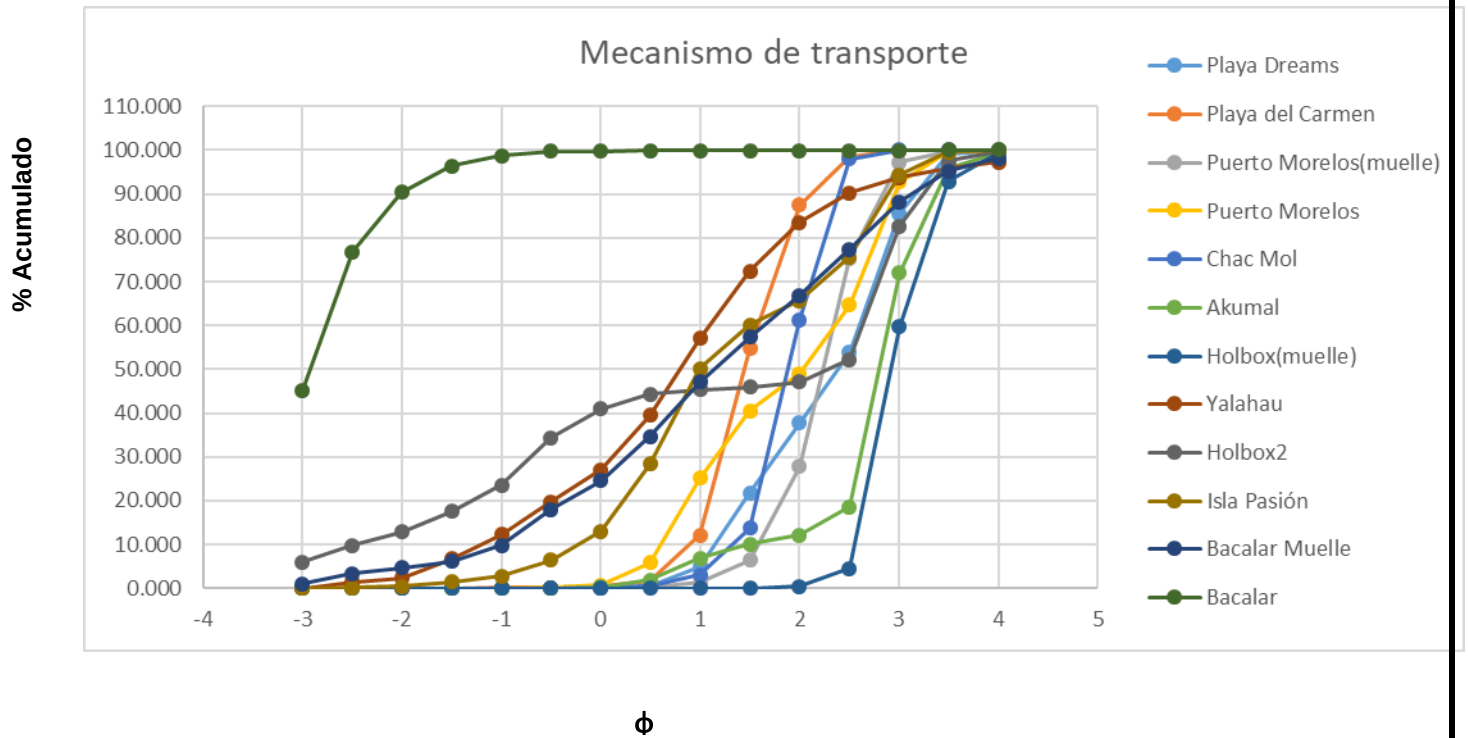


Figura 39. Resultados obtenidos del mecanismo de transporte.

En el mecanismo de transporte, se puede observar de acuerdo a la Fig.39, que las playas de Playa Dreams, Puerto Morelos (ICMyL), Puerto Morelos muelle, Chac Mool, Akumal, Holbox Muelle, Holbox 2, presentan principalmente un mecanismo de saltaci3n.

Playa del Carmen, Yalahau, Isla Pasi3n, Bacalar muelle y Bacalar el mecanismo de aporte de sedimento principal es el de rodamiento-deslizamiento.

En el caso del mecanismo de suspensi3n, s3lo se presenta de forma porcentual importante en Akumal, Holbox Muelle, Isla Pasi3n y Bacalar Muelle.

Observaciones del análisis textural.

-Las muestras analizadas muestran variaciones de arenas finas a gruesas, en el 50% de los casos, se trata de arenas de grano medio y el 30% arenas finas. El resto de las muestras son Arenas gruesas (Yalahau) y muy gruesas (Bacalar). A partir de los parámetros texturales obtenidos se puede realizar una correlación entre las zonas de mayor dinámica costera y el tamaño de grano a lo largo de la costa. Las zonas de mayor dinámica costera se encuentran asociadas a zonas con proporciones mayores de arenas medias y gruesas, mientras que las zonas de menor dinámica presentan proporciones mayores de arenas finas.

-Los resultados en la curtosis son similares en la mayoría de las playas, sólo el caso de Puerto Morelos muelle y Akumal se presenta una clasificación Leptocúrtica y Muy Leptocúrtica respectivamente, esto puede ser debido a que aún no se presentaban procesos de mezclas (relacionados con fenómenos naturales) y menos aportes antrópicos.

-Las playas localizadas en Holbox muelle y Puerto Morelos muelle están constituidas por arenas finas cuyo componente principal son las oolitas. Las Playa Dreams y Akumal que son arenas finas también con abundancia en oolitas, la presencia de fragmentos de moluscos y foraminíferos les dan una mala clasificación.

-Las arenas medias mal clasificadas las tenemos en Yalahau, Isla Pasión y Bacalar muelle, asociadas a condiciones de mayor energía y a la abundancia de organismos, por otro lado las playas con arenas medias bien clasificadas son Chac- Mool y Playa del Carmen donde la abundancia de oolitas permite obtener estos parámetros sedimentológicos.

4. Análisis Petrográfico

La petrografía es un campo de la petrología que se encarga de la descripción y clasificación de las rocas, mediante la observación de láminas delgadas correspondientes a un cierto tipo de roca o sedimento en un microscopio petrográfico. El tamaño del material de este trabajo (arenas) permitió su estudio mediante este análisis. Estas arenas pueden ser clasificadas de acuerdo a su textura y composición mineralógica, ayudando a determinar su posible procedencia y ambiente de depósito considerando que sus partículas constituyentes proceden de una roca madre y han sido depositadas y formadas en un ambiente característico (Sutter y Duta, 1986)

En nuestro caso de estudio, se realizó el análisis petrográfico de sedimentos carbonatados, los cuales, se constituyen en su mayoría por precipitados químicos y bioquímicos.

Los componentes principales encontrados dentro de los sedimentos pueden dividirse en:

Partículas no biogénicas.

Pellets, son partículas micríticas redondeadas o de forma elíptica de tamaño medio comprendido entre 0.1 - 0.5 mm y de origen diverso.

Ooides, son partículas generalmente esféricas o elípticas, con estructura concéntrica radial o tangencial. Se forma en aguas someras, de alta energía producto de la acción de las olas o corrientes de marea, en aguas marinas normales o hipersalinas. Se pueden asociar a la presencia de algas, bacterias o sustancias orgánicas.

Intraclastos: Fragmentos re TRABAJADOS de sedimento débilmente consolidado dentro de una cuenca de sedimentación por la acción de corrientes, oleaje, deslizamientos, bioturbación, etc. Se relaciona con ambientes de formación de cualquier zona de plataforma, talud o llanura abisal, con aumentos bruscos de energía que re TRABAJA sedimentos previamente depositados.

Partículas Biogénicas

Foraminíferos: Son organismos unicelulares que secretan una concha o testa que presentan cámaras múltiples arregladas de manera uniserial, biserial o triserial; o bien, son enrolladas (espiral, cónica y planispiral). El tamaño que pueden alcanzar es de 5 cm de diámetro, sin embargo la mayoría es de tamaños inferiores a 1 mm. Pueden ser bentónicos o planctónicos.

Algas calcáreas, son plantas acuáticas marinas y no marinas que poseen una calcificación interna y/o externa..

Esponjas, son organismos multicelulares primitivos Se distinguen por tener su cuerpo lleno de poros y canales, por donde circula una corriente continua de agua. Internamente están formados por conjuntos de células poco organizados que mantienen una actividad celular casi independiente y carecen de órganos especializados

Moluscos, organismos de cuerpo blando. Todos los moluscos que poseen esqueleto o concha, ésta consiste principalmente de carbonato de calcio, ya sea calcita o aragonita. Se dividen en tres grupos: pelecípodos o bivalvos, gasterópodos y cefalópodos.

En total, se analizaron 12 láminas delgadas correspondientes a playas de la Riviera Maya, se realizó el conteo de 300 puntos, tomando en cuenta los siguientes componentes principales: *pellets*, *moluscos*, *foraminíferos*, *ooides*, *fragmentos de roca*, *algas calcáreas*, *fragmentos de coral* y *equinodermos*, *otros*.

4.1.1. Playa Dreams

Tabla 16. Componentes principales de Playa Dreams

Componentes	No.	%
Pellets	42	14
Moluscos	50	16.7
Foraminíferos	27	9
Ooides	93	31
Fragmentos de roca	2	0.7
Algas Calcáreas	60	20
Frag. De coral y equinodermo	8	2.6
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	18	6
Total	300	100

Arena de grano fino con gran porcentaje de fragmentos de algas calcáreas, pellets y ooides. (Tabla 16)

El 90% de los ooides se encuentran en forma de agregados micritizados o *grapestones*.

El porcentaje de conservación de los organismos es inferior al 50%, y su estructura principal se encuentra reemplazado por micrita y algunas presentan un grado de oxidación.

Entre los organismos dentro de la clasificación de "otros", se distinguen fragmentos de coral y esponjas, ambas con un porcentaje de conservación $\leq 40\%$. (Fig 40).

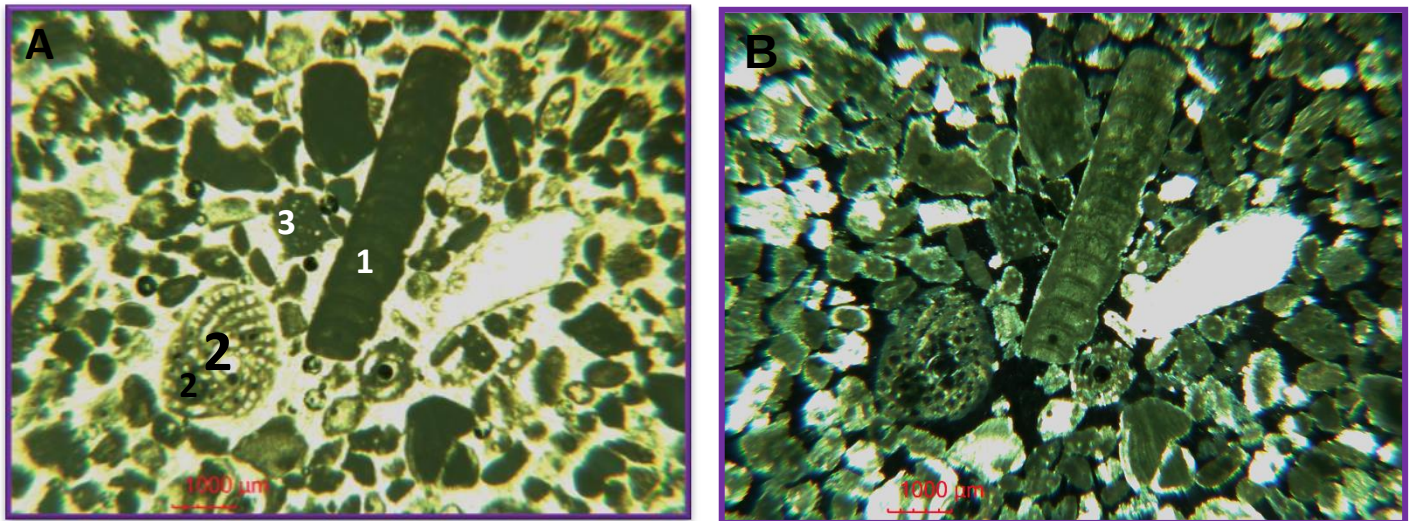


Fig. 40 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, se muestra un fragmento de alga calcárea (1), de foraminífero (2) y ooides en agregados *grapestones* y gran cantidad de pellets elípticos y angulares (3). B. Sección tomada con Nx.

4.1.2. Playa del Carmen

Tabla 17. Componentes principales de Playa del Carmen.

Componentes	No.	%
Pellets	21	7
Moluscos	51	17
Foraminíferos	44	14.7
Ooides	101	33.7
Fragmentos de roca	2	0.7
Algas Calcáreas	62	20.8
Frag. De coral y equinodermo	10	3.3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	9	3
Total	300	100

Arena de grano medio, se compone principalmente por agregados micritizados o *grapestones*. (Tabla 17)

Los fragmentos de foraminíferos son los que se encuentran en mejor conservación, con un porcentaje superior al 50%.

En el caso de las algas calcáreas y moluscos el porcentaje de conservación es inferior al 30%. (Fig 41).

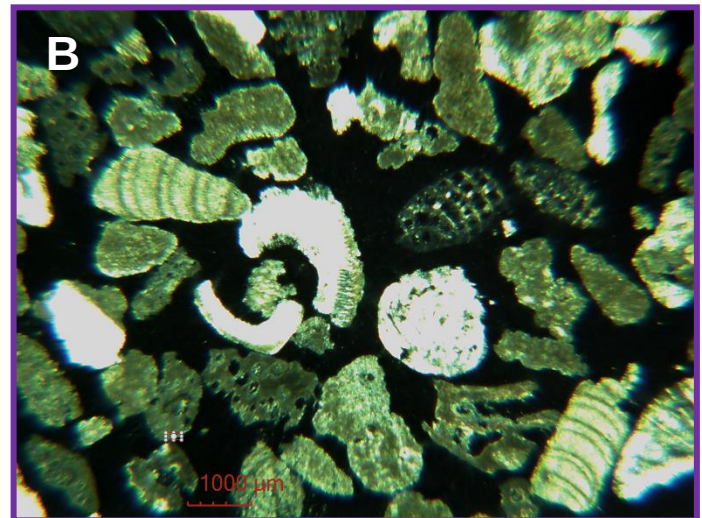
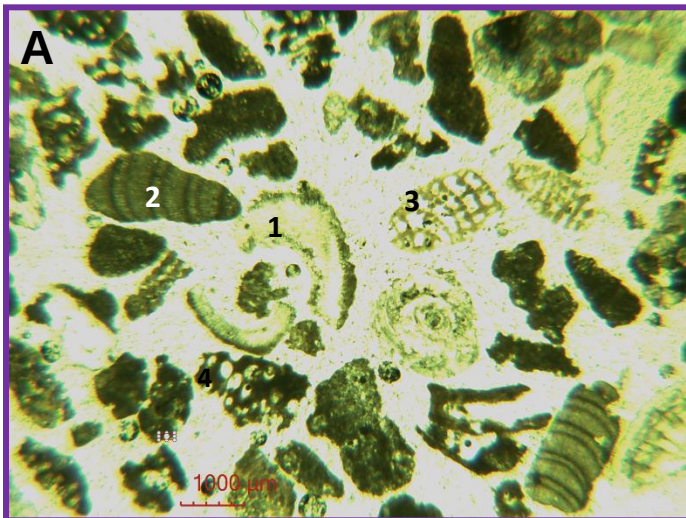


Fig. 41 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, muestra fragmento de molusco (1), alga calcárea (2), foraminífero (3) y oolitas en agregados micritizados *grapestones*. B. Sección tomada con Nx.

4.1.3. Puerto Morelos(muelle)

Tabla 18 .Componentes principales de Puerto Morelos

Componentes	No.	%
Pellets	57	19
Moluscos	43	14.4
Foraminíferos	31	10.4
Ooides	86	28.7
Fragmentos de roca	0	0
Algas Calcáreas	59	19.6
Frag. De coral y equinodermo	13	4.3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	11	3.6
Total	300	100

Arena de grano fino, su composición principal son ooides y pellets(Tabla 18)

Está conformado por agregados micritizados o *grapestones*.

En el caso de los foraminíferos y moluscos el porcentaje de conservación es inferior al 50%(Fig. 42)

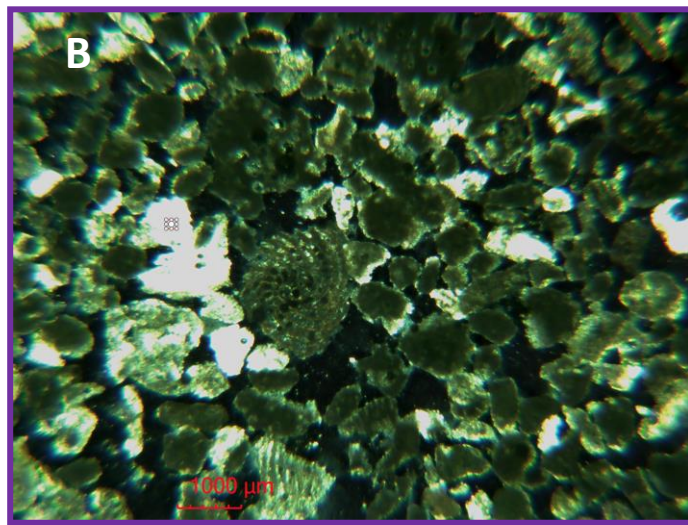
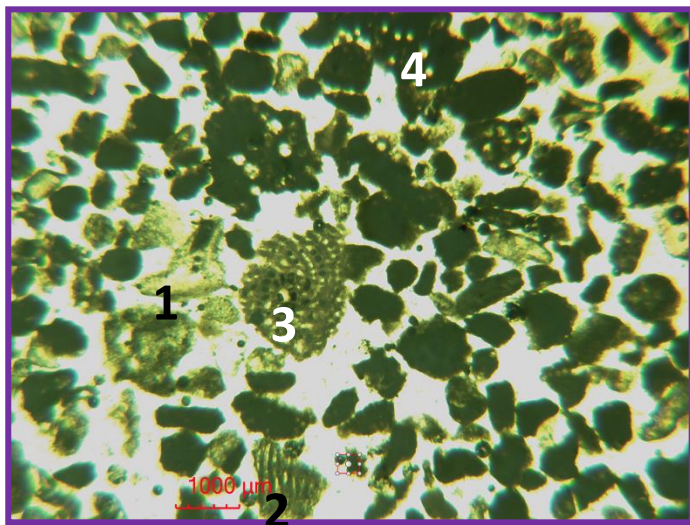


Fig. 42 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, muestra fragmento de molusco (1), fragmento de coral (2), foraminífero (3) y ooides en agregados micritizados *grapestones* (4). B. Sección tomada con Nx.

4.1.4. Puerto Morelos (ICMyL)

Tabla 19 .Componentes principales de Puerto Morelos (ICMyL)

Componentes	No.	%
Pellets	27	9
Moluscos	56	18.7
Foraminíferos	52	17.3
Ooides	92	30.7
Fragmentos de roca	2	0.7
Algas Calcáreas	40	13.3
Frag. De coral y equinodermo	23	7.7
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	8	2.6
Total	300	100

Arena de grano medio, el mayor porcentaje en su composición está conformado por agregados micritizados o *grapestones*.(Tabla 19)

En el caso de los moluscos, el porcentaje de conservación es menor al 30 %; por su parte los foraminíferos observados, tienen un porcentaje de conservación entre el 40%-60%.(Fig 43).

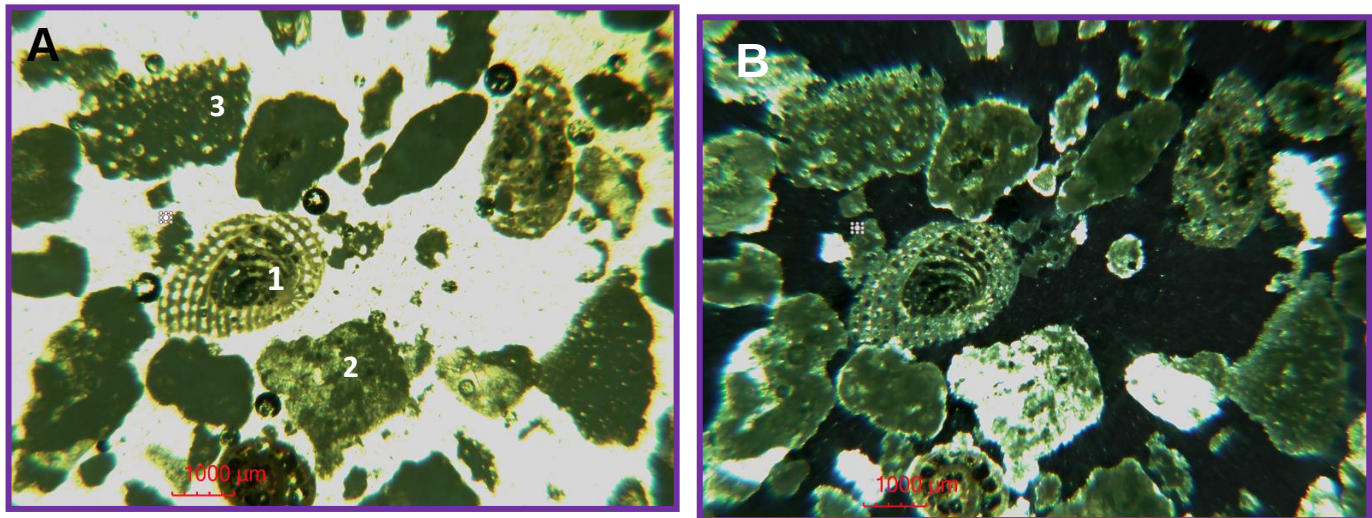


Fig. 43 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, fragmento de foraminífero (1), fragmento de caliza micritizada (2), oolitas en agregados micritizados *grapestones* (3). B. Sección tomada con Nx.

4.1.5. Playa Chac Mool

Tabla 20. Componentes principales de Chac Mool

Componentes	No.	%
Pellets	45	15
Moluscos	41	13.7
Foraminíferos	31	10.3
Ooides	101	33.7
Fragmentos de roca	2	0.7
Algas Calcáreas	55	18.3
Frag. De coral y equinodermo	22	7.3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	3	1
Total	300	100

Arena de grano medio. Se encuentra conformada principalmente por ooides de estructura radial. (Tabla 20)

Los fragmentos de moluscos y foraminíferos tienen un porcentaje de conservación inferior al 30%.

En el caso de los pellets se encuentran redondeados, además en esta muestra se pudieron observar *bioclastos*. (Fig 44).

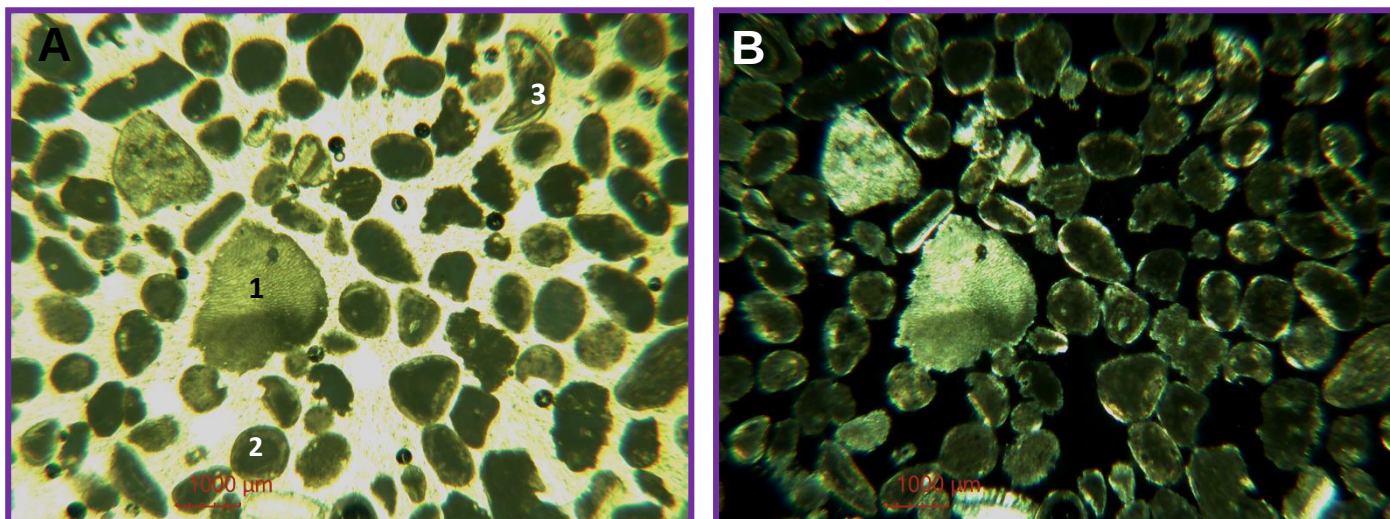


Fig. 44 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, fragmento de coral (1), ooides con estructura radial (2), fragmento de molusco (3). . B. Sección tomada con Nx.

4.1.6. Akumal

Tabla 21. Componentes principales de Akumal.

Componentes	No.	%
Pellets	47	15.7
Moluscos	67	22.3
Foraminíferos	58	19.3
Ooides	33	11
Fragmentos de roca	2	0.7
Algas Calcáreas	61	20.3
Frag. De coral y equinodermo	22	7.3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	10	3.3
Total	300	100

Arena fina, el porcentaje entre pellets, moluscos, foraminíferos y algas calcáreas es más homogéneo. (Tabla 21)

Todos los fragmentos de organismos presentan un porcentaje de conservación menor al 25%. (Fig. 45)

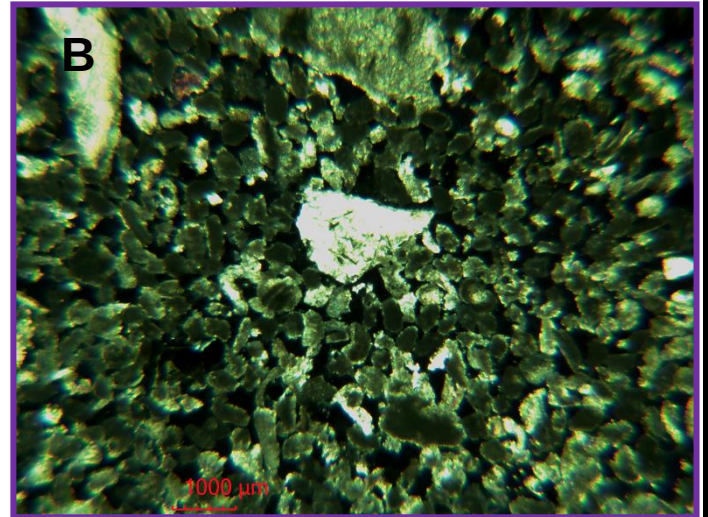
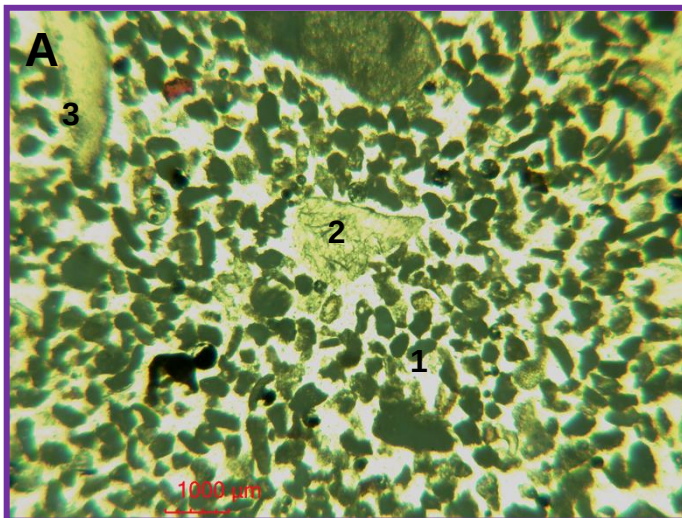


Fig. 45 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, pellet de forma elíptica (1), fragmento de molusco (2 y 3). B. Sección tomada con Nx.

4.1.7. Holbox (muelle)

Tabla 22. Componentes principales Holbox Muelle.

Componentes	No.	%
Pellets	102	34
Moluscos	39	13
Foraminíferos	56	18.7
Ooides	49	16.3
Fragmentos de roca	3	1
Algas Calcáreas	34	11.3
Frag. De coral y equinodermo	9	3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	8	2.7
Total	300	100

Arena de grano fino, su composición principal son pellets en forma circular y elíptica. (Tabla 22)

En general, los organismos se encuentran bastante fragmentado con un porcentaje de conservación inferior al 20%. (Fig 46).

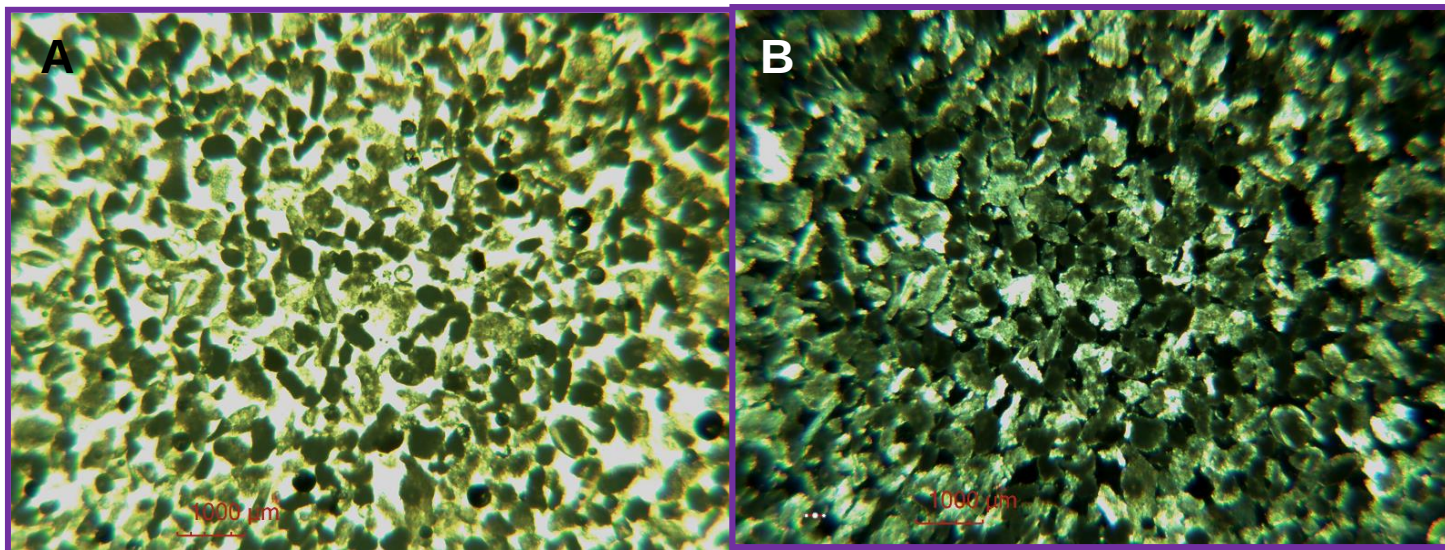


Fig.46 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela. B. Sección tomada con Nx. Debido a lo fragmentado de los organismos, no se pudo señalar a detalle.

4.1.8. Yalahau

Tabla 23. Componentes principales Yalahau

Componentes	No.	%
Pellets	12	4
Moluscos	95	31.6
Foraminíferos	36	12
Ooides	102	34
Fragmentos de roca	52	17.4
Algas Calcáreas	2	0.7
Frag. De coral y equinodermo	1	0.3
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	0	0
Total	300	100

Arena gruesa, su composición principal son ooides y fragmentos de moluscos(Tabla 23)

En general, los organismos mejor conservados son los moluscos,. En la mayoría de la lámina se puede observar que los organismos presentan micritización (.Fig 47).

Se observan oxidación y algunos minerales opacos.

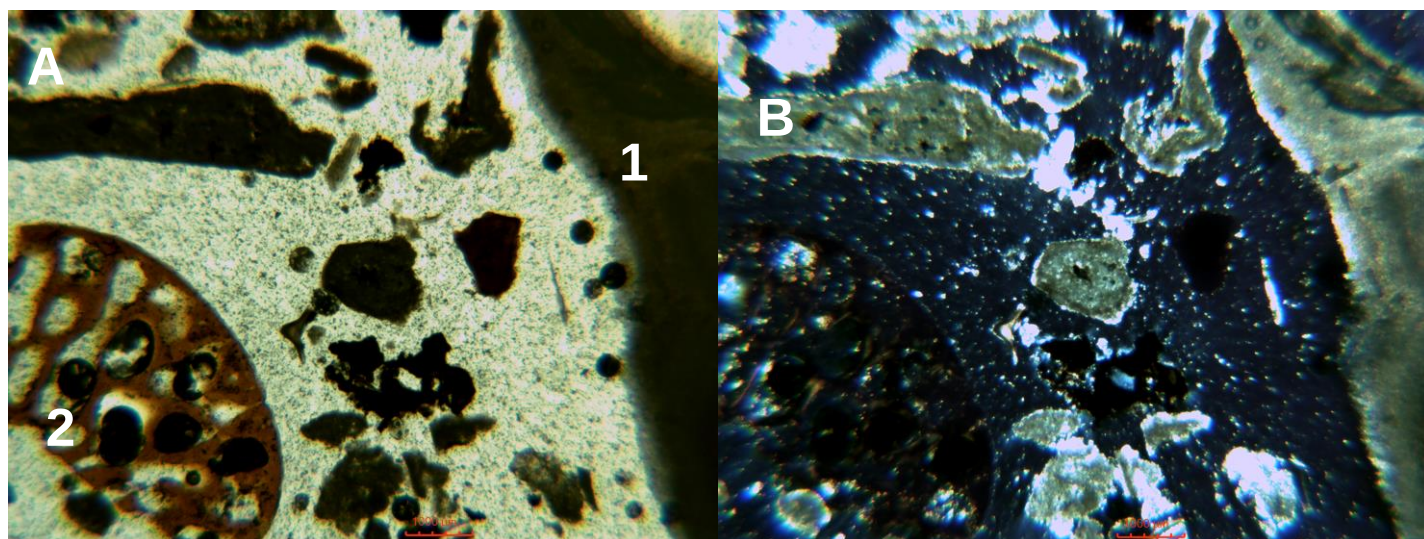


Fig.47 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, muestra fragmento de molusco (1), foraminífero (2). B. Sección tomada con Nx.

4.1.9. Holbox 2

Tabla 24. .Componentes principales Holbox2

Componentes	No.	%
Pellets	88	29.3
Moluscos	44	14.7
Foraminíferos	36	12
Ooides	67	22.3
Fragmentos de roca	1	0.3
Algas Calcáreas	48	16
Frag. De coral y equinodermo	5	1.7
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	11	3.7
Total	300	100

Arena de grano medio, la composición principal son pellets y ooides, en el segundo caso se encuentran en forma de agregados micritizados o *grapestones*, y con estructura redondeada.(Tabla 24)

El tamaño de los fragmentos de moluscos oscila entre 1-5 mm; por su parte, los demás organismos considerados se encuentran con un porcentaje de conservación menor al 30%.(Fig 48).

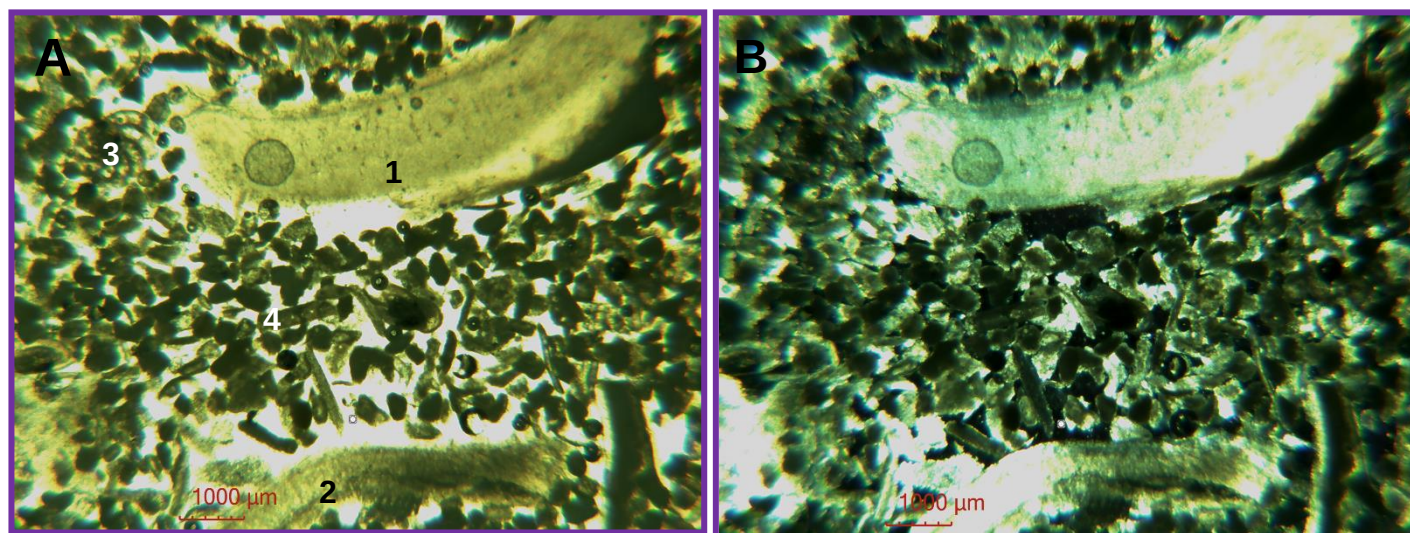


Fig.48 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, fragmento de molusco (1 y 2), fragmento de foraminífero (3), fragmento de alga calcárea (4). B. Sección tomada con Nx.

4.1.10. Isla Pasión

Tabla 25. Componentes principales Isla Pasión

Componentes	No.	%
Pellets	41	13.7
Moluscos	79	26.3
Foraminíferos	55	18.3
Ooides	44	14.7
Fragmentos de roca	12	4
Algas Calcáreas	20	6.7
Frag. De coral y equinodermo	39	11
Otros: Esponjas, fragmento de organismos que no se encuentran dentro de la clasificación.	16	5.3
Total	306	100

Arena de grano medio, la composición principal son fragmentos de molusco y foraminíferos.(Tabla 25)

Los ooides, se encuentran en forma de agregados micritizados o *grapestones*, y con estructura redondeada.

El tamaño de los fragmentos de moluscos oscila entre 1-5 m, en algunos casos el borde de la concha del organismo se encuentra bien conservado. El resto de los organismos considerados se encuentran con un porcentaje de conservación menor al 30%.(Fig 49).

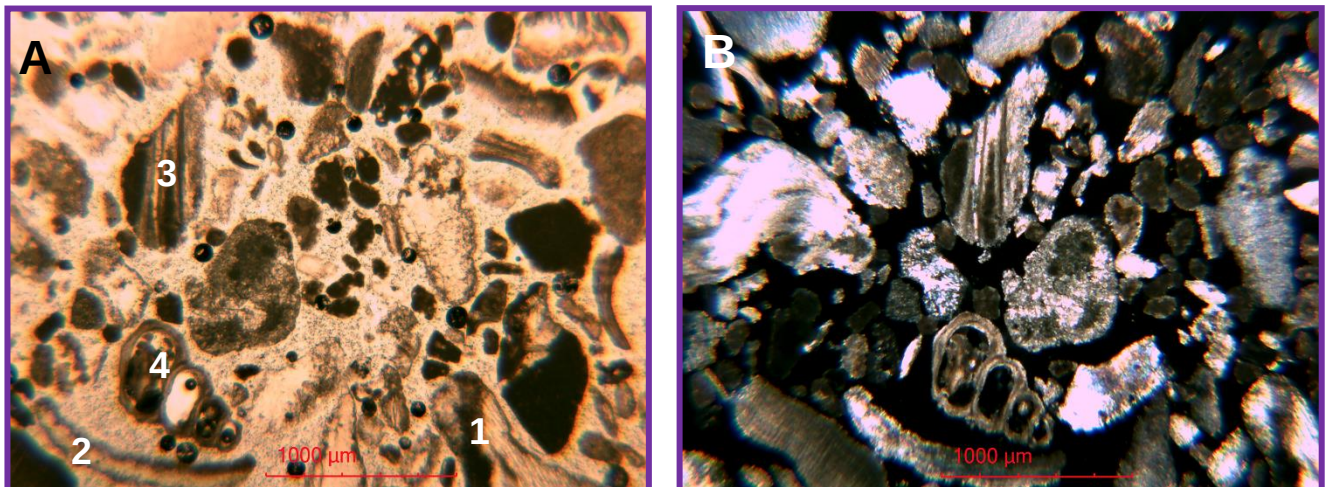


Fig. 49 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, fragmento de molusco (1 y 2), fragmento de coral (3), gasterópodo (4). B. Sección tomada con Nx.

4.1.11. Bacalar (muelle)

Tabla 26. Componentes principales Bacalar muelle

Componentes	%
Moluscos	25
Fragmentos de roca	75
Total	100

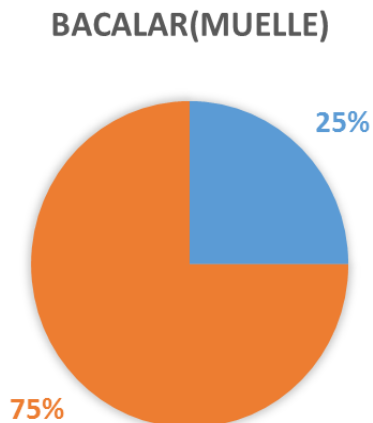


Fig. 50. Componentes de Bacalar Muelle

Arena de grano medio, se conforma de caliza micrítica (75%), y fragmentos de moluscos (25%). (Fig. 50 y Tabla 26). La conservación de los organismos es superior al 60%. (Fig. 51)

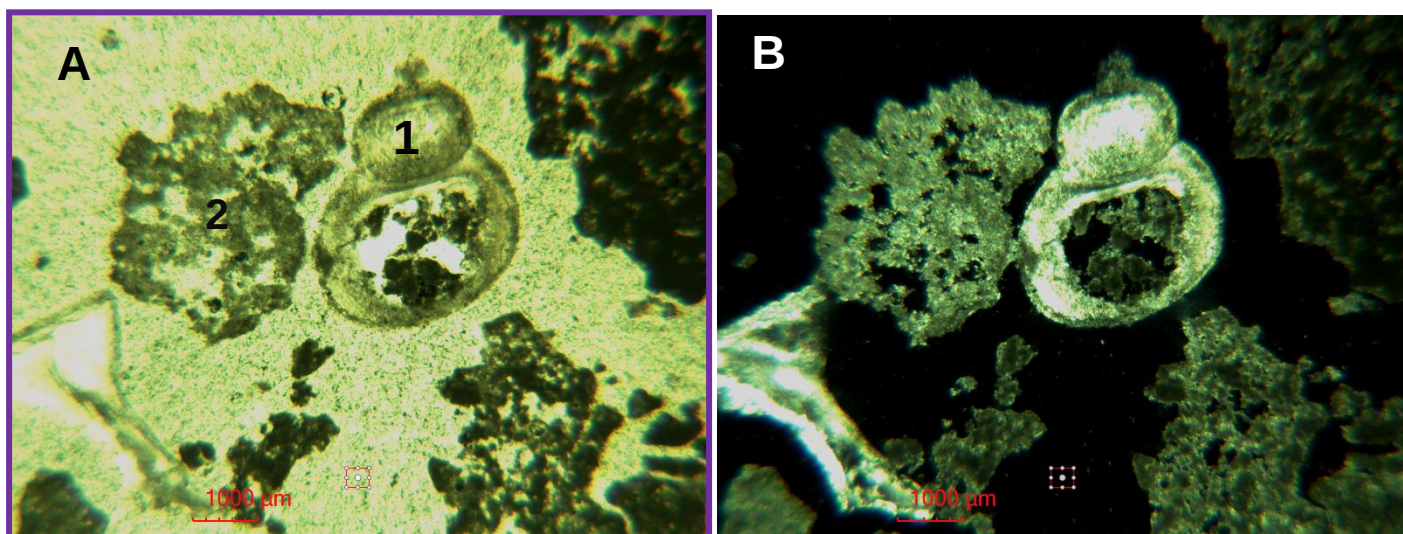


Fig. 51 Fotomicrografía, ambas tomadas con objetivo 2.5x. A. Tomada con luz paralela, fragmento de molusco (1), caliza micrítica (2). B. Sección tomada con Nx.

4.1.12. Bacalar

Tabla 27. Componentes principales Bacalar

Componentes	%
Moluscos	30
Fragmentos de roca	70
Total	100

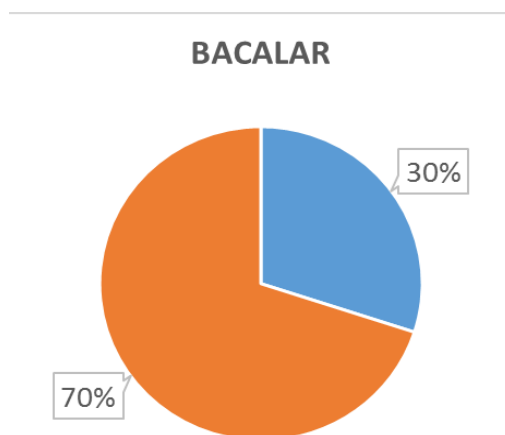


Fig. 52. Componentes de Bacalar

Arena de grano muy grueso, se conforma de caliza micrítica (70%), y fragmentos de moluscos (30%) (Fig. 52 y Tabla 27). La conservación de los organismos es superior al 60%. Se reporta presencia de glauconita. (Fig. 53).



Fig. 53. Lámina delgada perteneciente a la muestra de Bacalar.

PLAYA DREAMS

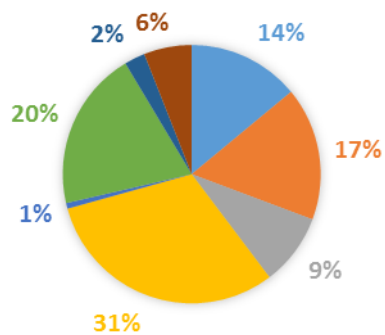


Fig. 54. Componentes de Playa Dreams

PUERTO MORELOS (MUELLE)

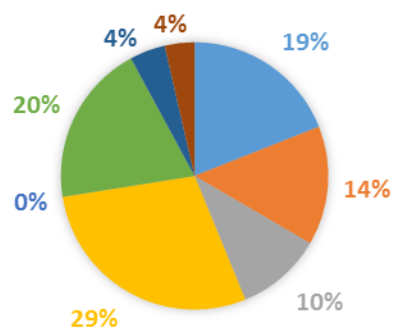


Fig. 55Componente de Puerto Morelos Muelle

PLAYA DEL CARMEN

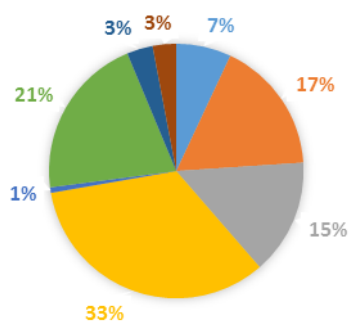


Fig. 56.Componente de Playa del Carmen.

PUERTO MORELOS(ICMYL)

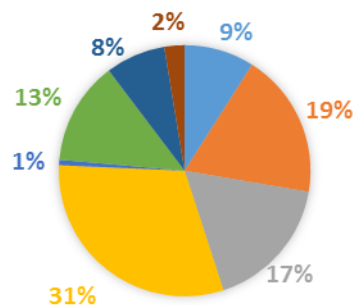


Fig. 57. Componente de Puerto Morelos (ICMYL).

CHAC MOOL

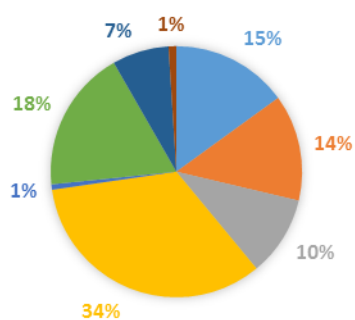


Fig. 58.Componente de Chac Mool.

AKUMAL

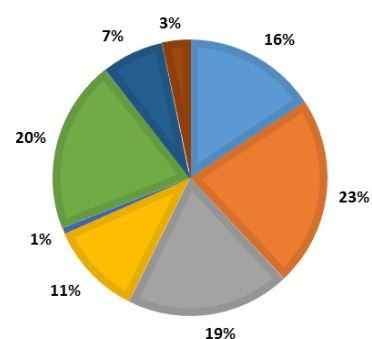


Fig. 59.Componente de Akumal.

HOLBOX(MUELLE)

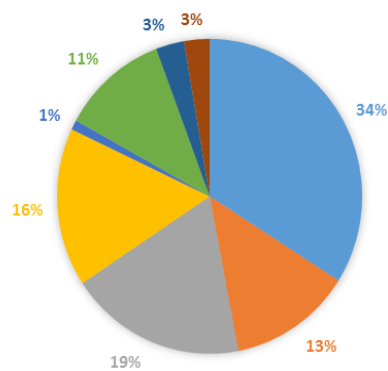


Fig. 60.Componentes de Holbox muelle.

HOLBOX 2

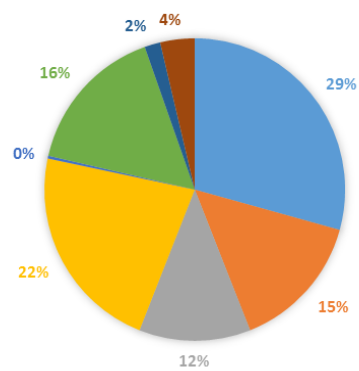


Fig. 61.Componentes de Holbox 2.

ISLA PASION

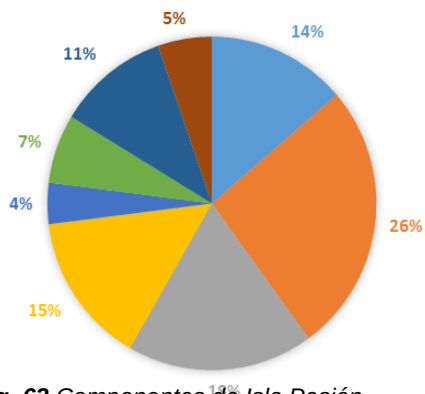


Fig. 62 Componentes de Isla Pasion

YALAHAU

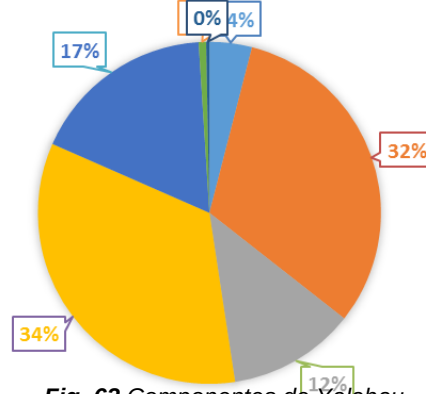


Fig. 63.Componentes de Yalahau



Observaciones del análisis petrográfico

-La composición de los sedimentos de playa están conformados por sedimentos calcáreos compuestos por restos de coral, equinodermos, moluscos, algas, que de acuerdo a la textura, solo cambiaron su tamaño.

- El contenido de pellets disminuye notablemente en Playa del Carmen, Puerto Morelos y Playa Dreams, ésta disminución puede estar relacionada con el aumento en la población urbana, misma que disminuye la cantidad de organismos (crustáceos, peces, etc) y aves litorales productores de pellets.

- El alto contenido de ooides en las muestras pueden estar relacionadas con las corrientes de alta energía que se forman en la zona Este de la Península de Yucatán.

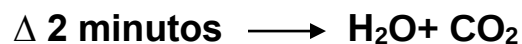
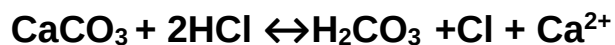
-En el caso de la muestra de Bacalar, la presencia de glauconita puede ser indicativo de una tasa de sedimentación lenta y se puede relacionar con un cambio en el nivel del mar.

5. Geoquímica

5.1. Análisis de carbonatos

La técnica para la determinación de carbonato de calcio en sedimentos marinos, se basa en una titulación por retroceso, donde la muestra de sedimento se le agrega un cierto volumen en exceso de ácido clorhídrico; la porción de ácido que no reacciona con los carbonatos se titula posteriormente con una solución de hidróxido de sodio (Hesse, 1971, Bruce, 1974; Shapiro, 1975; Rosales, 1980).

Las reacciones que se llevan a cabo en el proceso son:



Al restar la cantidad de ácido que no reaccionó de la cantidad que adicionamos, obtendremos la cantidad de ácido que fue consumido por el total de los carbonatos existentes en la muestra de sedimento (Hesse, 1971; Bruce, 1974; Shapiro, 1975; Rosales, 1980)

Procedimiento:

1. Se pesó por duplicado 0.1 de sedimento seco y molido. (Fig. 64).
2. Posteriormente se agregó 50 ml. de ácido clorhídrico HCl 0.1 N (previamente valorado contra hidróxido de sodio NaOH 0.3 N patrón primario) (Fig. 65). Se calentó a ebullición durante aproximadamente 2 minutos. (Fig. 66).
3. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, eliminando de esta manera el dióxido de carbono.

4. Se tituló con una solución de hidróxido de sodio NaOH 0.3N (previamente valorado contra Biftalato de potasio $C_8H_5KO_4$ como patrón primario), usando indicador azul de bromotimol $C_{27}H_{28}Br_2O_5S$ hasta llegar a pH=7.4 y/o color azul (Fig. 67).

En la determinación se están cuantificando todos los carbonatos, pero como los de calcio son los que se encuentran en mayor concentración, se reportan y se calculan como si fuesen carbonato de calcio:

$$\%CO_3 = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}}) \times N_{\text{NaOH}} \times \text{meq}CO_3^{2+}}{W_{\text{muestra}}} \times 100$$

V_{blanco} = volumen de hidróxido de sodio (NaOH) gastado al punto de equivalencia de la determinación en el blanco (ml).

V_{muestra} = volumen de hidróxido de sodio (NaOH) gastado al punto de equivalencia de la muestra (ml).

N=normalidad de la solución de hidróxido de sodio (NaOH).

Meq= miliequivalencia de carbonato de sodio ($CaCO_3$)=0.05

W=peso de la muestra de sedimento.

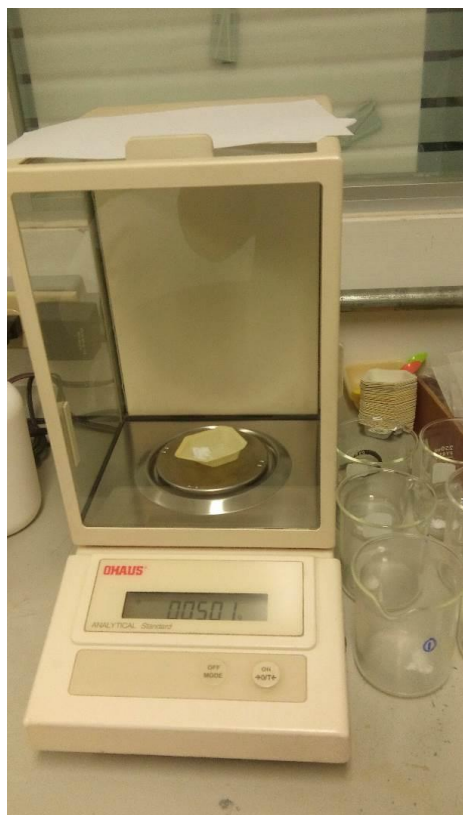


Fig. 64. Ejemplo de pesado de muestra

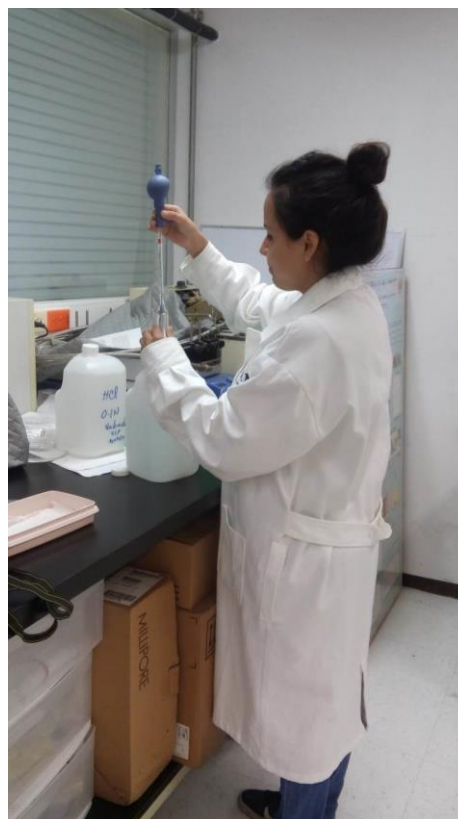


Fig. 65. Muestras con HCl.



Fig. 66. Muestras calentadas a ebullición

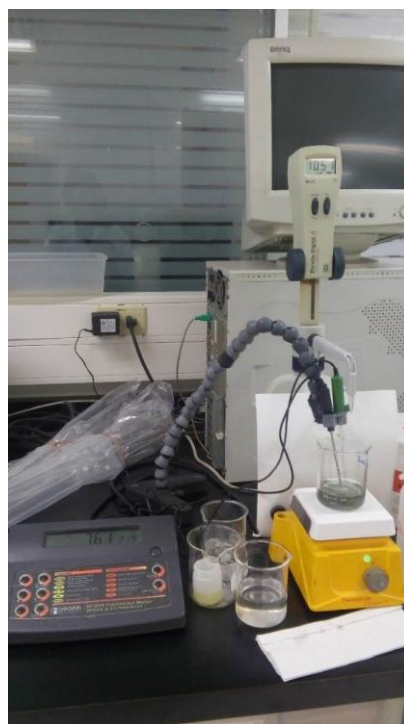


Fig. 67. Titulación de muestras con NaOH

5.1.2 Resultados de la estandarización del método de prueba de carbonatos.

Tabla 28.Resultados obtenidos de la estandarización del método de carbonatos.

Estandarización del método de Prueba de Carbonatos.				
		Vml	Ph	% de recobro
1	0.0501	5.07	7.57	96.7946108
2	0.05	4.99	7.45	99.361
3	0.0504	4.86	7.4	102.397619
4	0.05	4.7	7.36	107.9624
5	0.05	5.07	7.46	96.9882
6	0.0503	4.87	7.68	102.306362
7	0.0502	4.88	7.79	102.214741
8	0.0502	5.09	7.26	96.0109562
9	0.0502	4.87	7.83	102.510159
10	0.05	4.93	7.55	101.1406
11	0.0502	4.51	10.18	113.145219
12	0.0502	4.89	7.49	101.919323
13	0.0503	4.97	8.72	99.3580517
14	0.0501	5.21	7.78	92.650499
15	0.0501	4.91	7.56	101.530739
Blanco1	8.62	7.82		
Blanco2	8.06	7.52		
Promedio blancos	8.34			
NNaOH	0.2966			
meqCO3	0.05			
Promedio %recobro	101.086032			

El material de referencia utilizado para la estandarización del método fue Carbonato de Calcio 100.0896 g/mol

Tabla 29.Parámetros de Evaluación

Parámetros de Evaluación	
Valor teórico esperado	100
Desviación estándar	1.826718176
Intervalo de confianza t(95% y n=10)(Incertidumbre de la medición)	101.086031951752±1.114

Promedio	101.086032
Coefficiente de Variación(%) (Precisión)	1.807092573
Recobro(%) (Exactitud)	101.086032

Muestra	1	2	Vml1	pH1	Vml2	pH2	%recobro1	%recobro2	%RECOBRO
Playa Dreams	0.1004	0.1004	10.72	7.49	10.06	8.1	79.9106574	89.6594622	84.7850598
Bacalar	0.1002	0.1001	9.8	7.41	9.62	7.83	93.6865269	96.4468531	95.06669
Isla Pasión	0.1003	0.1004	9.9	7.55	9.97	7.4	92.1145563	90.9888446	91.5517005
Akumal	0.1004	0.1001	9.88	7.45	9.97	7.42	92.3182271	91.2615385	91.7898828
P.Morelos muelle	0.1	0.1001	10.1	7.45	10.28	7.44	89.4249	86.6688312	88.0468656
P.del Carmen	0.1	0.1005	10.05	7.47	10.12	7.51	90.1664	88.6848756	89.4256378
P.Morelos	0.1005	0.1004	9.75	7.84	9.78	7.45	94.1446766	93.7953187	93.9699977
Holbox muelle	0.1001	0.1002	9.94	7.4	9.85	7.78	91.705994	92.946507	92.3262505
Chac Mool	0.1004	0.1005	9.87	7.87	9.84	7.53	92.4659363	92.8166169	92.6412766
Holbox2	0.1001	0.1004	9.84	7.54	9.66	7.49	93.1875125	95.5678287	94.3776706
Bacalar muelle	0.1001	0.1002	9.91	7.78	10.16	7.6	92.1504496	88.3583832	90.2544164
Yalahau	0.1001	0.1001	10.89	7.4	10.51	7.6	77.6315684	83.2613387	80.4464535
Blanco1			16.1	7.57					
Blanco2			16.16	7.45					
Promedio blanco	16.13								
NNaOH	0.2966								
meqCO3	0.05								

Tabla 30. Resultados obtenidos para el porcentaje de carbonatos.

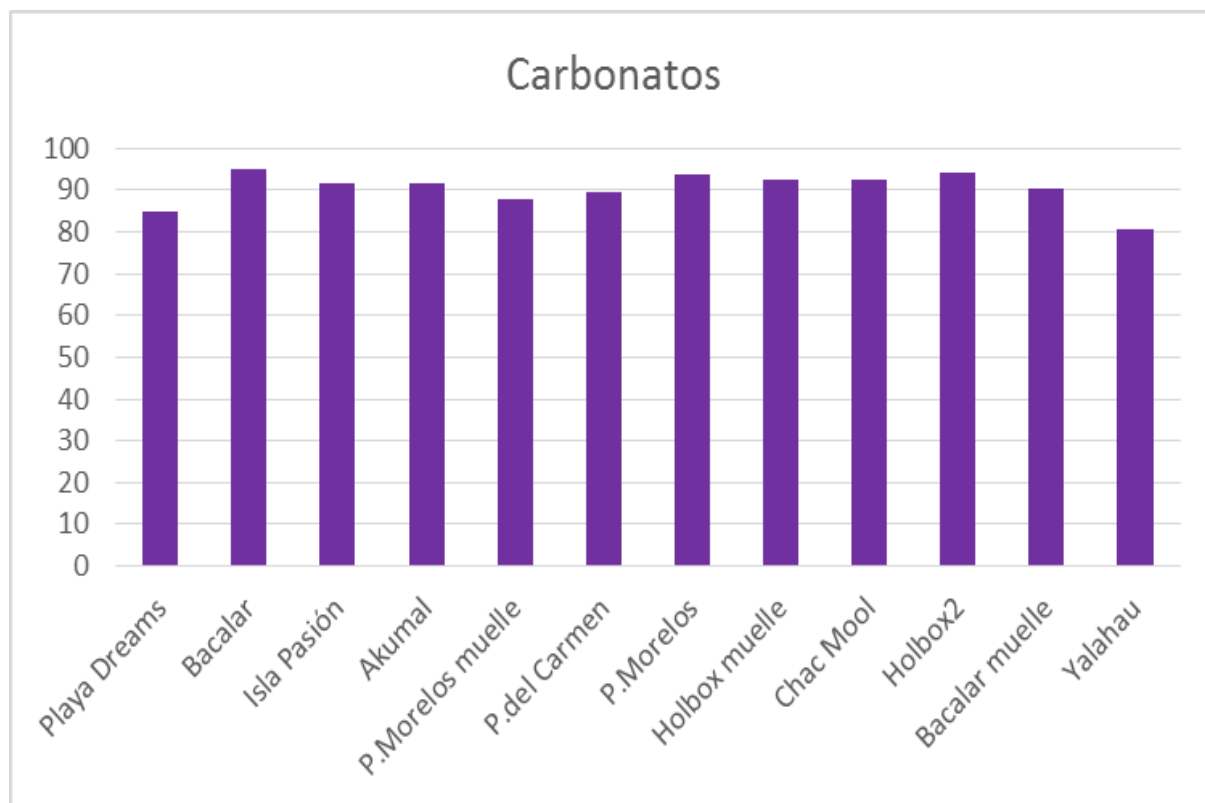


Fig. 68. Porcentaje total de carbonatos

El porcentaje total de carbonatos de las 12 muestras oscila entre el 80 y el 90%, resultado que coincide con el gran porcentaje de fragmentos de organismos ricos en CaCO_3 que contiene las muestras. Este resultado varía en muestras de una misma zona. (tabla 30 y Fig. 68).

5.2. Fluorescencia de Rayos X.

Fundamento.

El método de Fluorescencia de rayos-X radica en la existencia de un sistema atómico con distintos niveles de energía y las posibles transiciones electrónicas entre ellos.

La base de la técnica analítica de la Fluorescencia de rayos-X por dispersión en longitud de onda (WDFRX) es la medida de la energía de la radiación emitida en estas transiciones energéticas y es conocida como fluorescencia de rayos-X.

El fenómeno de fluorescencia de rayos-X se puede describir en dos etapas:

a) Excitación

Si se considera un sistema en su estado fundamental, es decir de menor energía, al aplicarse una energía de una magnitud suficiente, ésta puede ser absorbida por el sistema, pasando éste a un estado de mayor energía o estado excitado debido a la salida de electrones del átomo.

A la excitación producida por rayos X que provienen del tubo de rayos-X, se le llama radiación primaria o fotones de rayos-X primarios.

b) Emisión

Los estados excitados son inestables, y el átomo tiende a volver a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones desde los niveles más externos hacia los niveles más internos, para ocupar los huecos producidos. Este proceso produce desprendimiento de energía en forma de radiación de rayos-X secundaria llamada fluorescencia de rayos-X.

El análisis de las 12 muestras, se efectuó en el LFRX del Instituto de Geología, donde se dispone de un espectrómetro secuencial de rayos X (Siemens SRS 3000) equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 micras. Ésta técnica se realizó para la

determinación de elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P) y elementos traza (Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Th y Pb).

Los errores estimados en las determinaciones son menores a 1% en elementos mayores y menores a 4% en elementos traza.

Preparación de las muestras.

Para poder realizar el análisis mediante fluorescencia de Rx, la muestra fue molida utilizando un molino de viales de carburo de tungsteno. (Fig. 69 y 70) Posteriormente se realizó el secado de las muestras a 110° durante una hora con la finalidad de eliminar la humedad presente. (Fig. 72).

Las muestras se prepararon en base seca y se fundieron con BoratoTetraborato de Litio (8 g. de fundente y 0.4 g de muestra) y se coloca en una prensa hidráulica durante 25 s a una compresión de 20 t. Las tabletas obtenidas se introducen en el espectrómetro secuencial de Fluorescencia de Rayos X(Fig 71).

La Pérdida por Calcinación ($P \times C$) se determina calcinando la muestra a 950°C durante 1 hora



Fig. 69 Molino de viales de Tungsteno

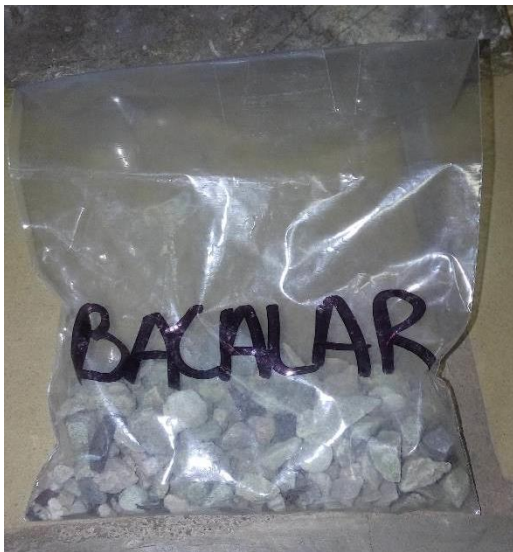


Fig. 70. Ejemplo de muestra Bacalar antes de introducirla al molino (izquierda), la misma muestra después del proceso de molienda. (derecha)



Fig.71. Espectrómetro de Fluorescencia Marca: Rigaku Primus II

Elementos traza.

Para poder realizar el análisis de elementos traza, después de moler las muestras, se mezclan 8 g de Borato y Tetraborato de Níquel con 0.4 g de la muestra. Se coloca esta mezcla en crisoles de platino y oro para poder fundir a una temperatura de 1100°C en un sistema automático de fusión operado con microprocesador y tres quemadores, durante 15 minutos.

5.2.1 Elementos mayores

Tabla 31.Resultados obtenidos para elementos mayores.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3t}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P x C	Suma
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CHAC-MOOL	0.456	0.018	0.001	<0.006	0.01	0.909	53.877	0.398	<0.05	0.062	44.34	100.071
ISLA PASION	0.78	0.014	0.362	0.019	0.012	3.212	50.714	0.443	0.012	0.059	44.44	100.067
PTO.MORELOS												
MUELLE	0.526	0.012	0.001	0.025	0.01	1.723	52.88	0.363	<0.05	0.052	44.41	100.002
YALAHAU	0.635	0.01	0.001	0.086	0.013	0.751	47.61	0.255	<0.05	0.119	50.56	100.043
HOLBOX												
MUELLE	0.577	0.014	0.023	0.042	0.01	0.727	54.002	0.082	<0.05	0.016	44.59	100.083
BACALAR												
MUELLE	0.51	0.016	<0.018	<0.006	0.008	1.577	53.468	0.55	<0.05	0.075	43.86	100.066
BACALAR	0.664	0.012	0.414	0.055	0.012	18.007	33.934	0.058	<0.05	0.019	46.92	100.095
HOLBOX-2	0.824	0.022	0.036	0.019	0.01	3.031	51.11	0.5	<0.05	0.055	44.46	100.076
P DEL CARM	0.497	0.015	0.299	<0.006	0.011	1.967	52.33	0.436	<0.05	0.041	44.48	100.076
PTO.												
MORELOS	0.519	0.006	0.201	<0.006	0.011	2.125	51.846	0.511	<0.05	0.045	44.75	100.015
AKOMAL	0.552	0.01	0.22	<0.006	0.011	2.601	51.696	0.452	<0.05	0.052	44.46	100.06
PLAYA												
DREAMS	0.287	0.026	0.019	0.179	0.011	1.29	53.22	0.374	<0.05	0.042	44.5	99.949

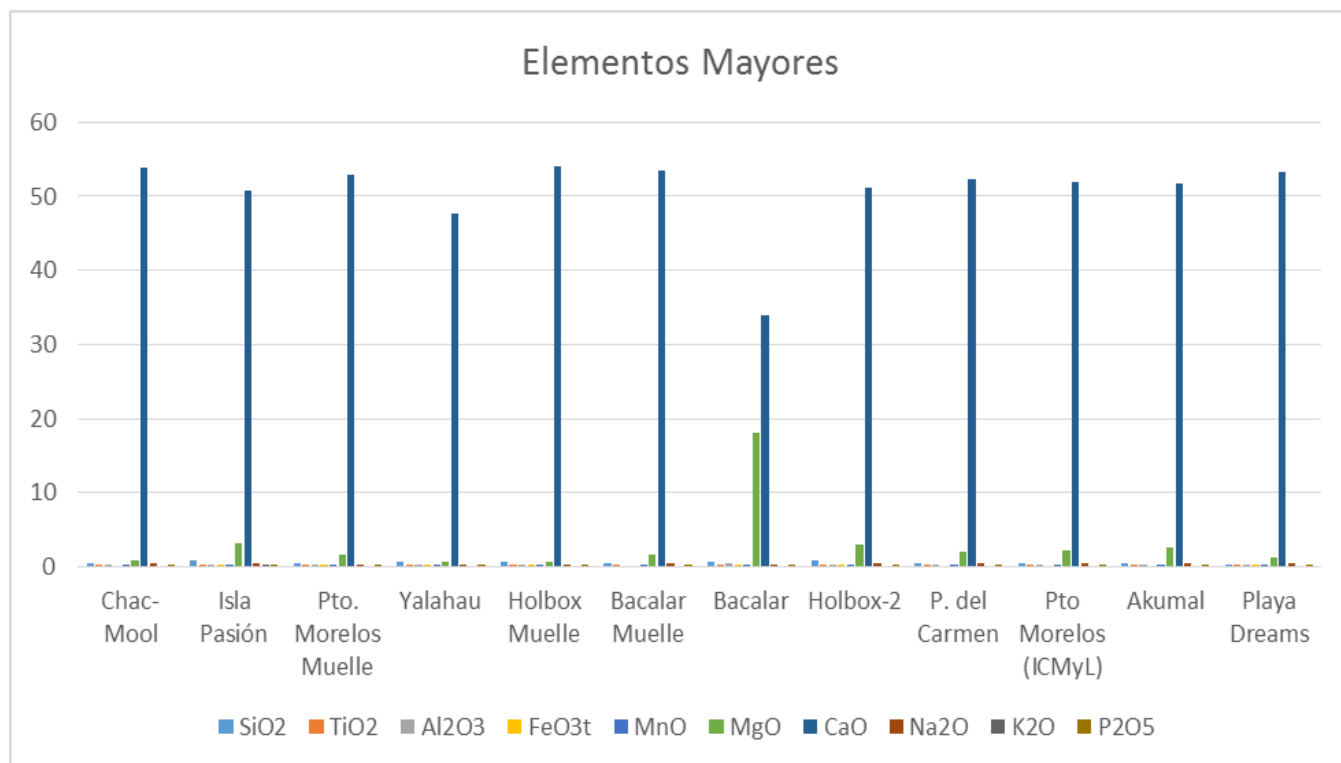


Fig. 72 Porcentaje total de elementos mayores

5.2.2. Elementos traza.

Tabla 32.Resultados obtenidos para elementos traza

	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
CHAC-MOOL	<2	11183	440	<2	316	<1	<5	<3	<4	<2	<4	<4	3	5
ISLA PASION	<2	2985	230	3	73	<1	<5	<3	<4	3	21	<4	3	8
PTO.MORELOS MUELLE	<2	8940	392	<2	248	<1	<5	<3	7	<2	6	<4	<2	10
YALAHAU	3	1174	181	4	19	<1	57	<3	12	50	74	<4	<2	13
HOLBOX MUELLE	<2	6300	323	<2	168	<1	<5	<3	<4	<2	<4	<4	<2	5
BACALAR MUELLE	<2	3624	260	<2	88	<1	<5	<3	5	3	21	<4	3	10
BACALAR	<2	303	163	3	<0.5	3	<5	<3	8	10	12	<4	3	4
HOLBOX-2	<2	3341	245	<2	82	<1	<5	<3	5	4	19	<4	3	5
P DEL CARM	<2	7950	346	<2	219	<1	<5	<3	<4	<2	<4	<4	<2	3
PTO. MORELOS	<2	7921	362	<2	219	<1	<5	<3	6	<2	<4	<4	5	6
AKOMAL	<2	7395	341	<2	201	<1	<5	<3	5	<2	9	<4	4	11
PLAYA DREAMS	<2	9075	404	<2	252	<1	<5	<3	9	<2	6	<4	<2	6



Fig. 73a Porcentaje total de Sr en las muestras

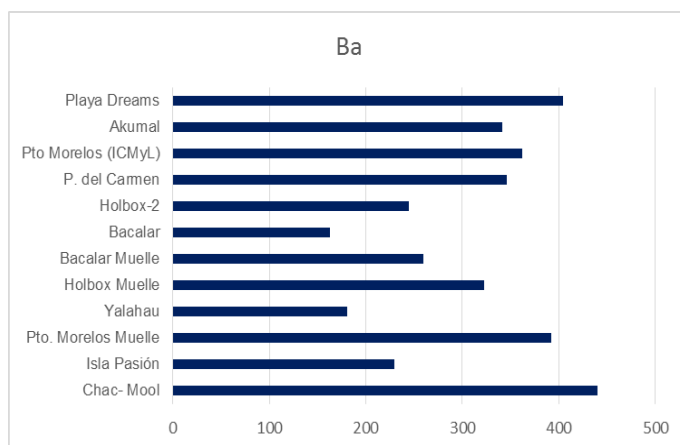


Fig. 73b Porcentaje total de Ba en las muestras

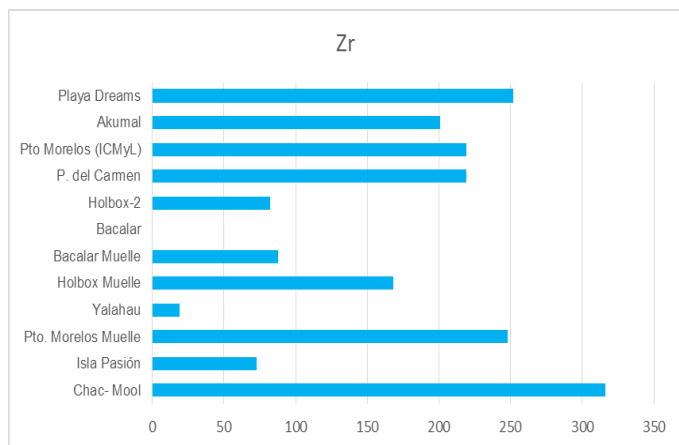


Fig. 73c Porcentaje total de Zr en las muestras

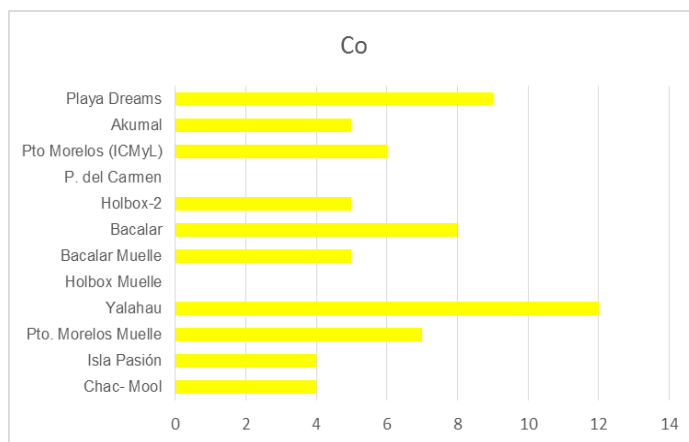


Fig. 73d Porcentaje total de Co en las

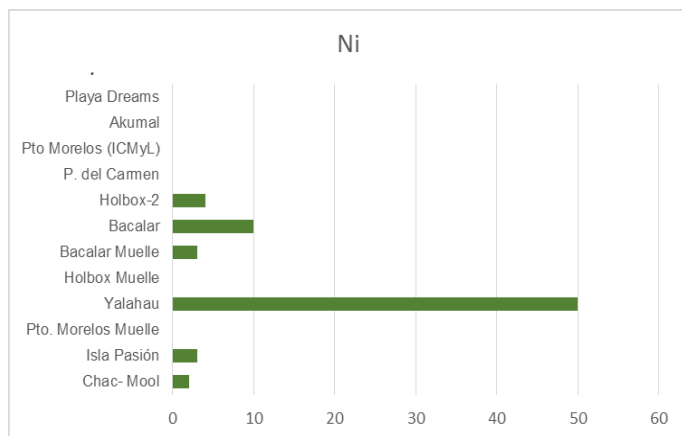


Fig. 73e Porcentaje total de Ni en las muestras

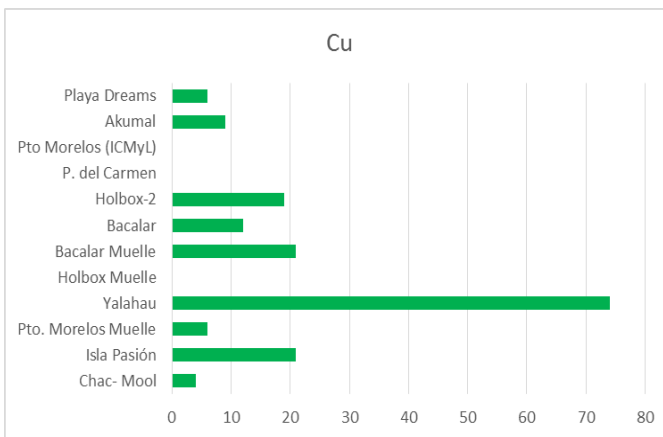


Fig. 73f Porcentaje total de Cu en las muestras

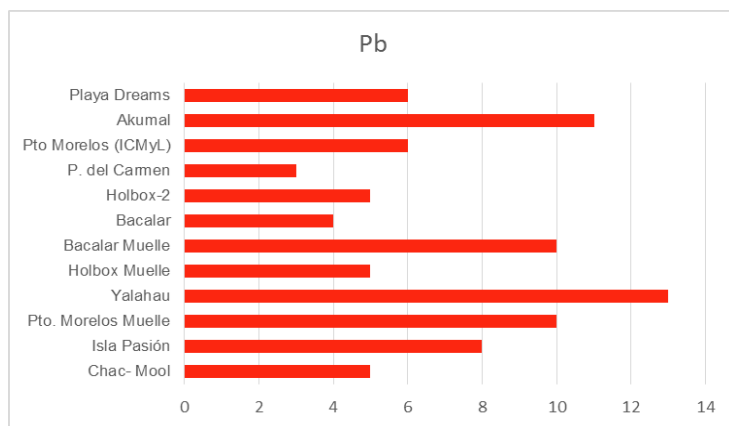


Fig. 73g Porcentaje total de Pb en las muestras

Fig. 73 Porcentaje total de algunos elementos traza en las muestras

Tabla 33. Valores ecotoxicológico de referencia (USEPA, 2001), (Long et al., 1995), (NOM-001-ECOL-1996.1997) (NOM-147-SERMANAT/SSA1-2004,2007)

Elementos	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
LEL(ppm) ³	26	16	16	31	120
SEL(ppm) ⁴	110	110	75	250	820
ERL(ppm) ⁵	81	34	20.9	46.7	150
ERM(ppm) ⁶	370	270	51.6	218	410
Beach Sediments ¹	----	-----	1600	400	-----
Beach Water ²	1.00	4.00	2.00	0.5	10

¹Valores límite en México

²Valores límite en México.

³LEL. Lowest effect level (USEPA, 2001)

⁴SEL. Several effect level (USEPA, 2001)

⁵ERL. Effects range low. (Long et al. 1995)

⁶ERM. Effects range médium (Long et al.1995)

Observaciones del análisis geoquímico.

El porcentaje total de carbonatos en las muestras oscila entre el 80% para el caso de la muestra recolectada en el cenote de Yalahau y la de mayor concentración (95%) para la muestra de Bacalar. Éste porcentaje está estrechamente relacionado con la cantidad de fragmentos de organismos y líticos ricos en calcio.

En general, los resultados para elementos mayores y traza de las muestras son coherentes con los que se espera encontrar en sedimentos ricos en carbonatos. Además presentan rangos en elementos traza que no resultan ser dañinos para los organismos de acuerdo a la tabla de referencia.

Los valores de Sr se encuentran entre 303 ppm para Bacalar y 11 183 para playa Chac-Mool estos valores de las muestras analizadas son característicos de sedimentos carbonatados ricos en material fosilífero; además, un factor que determina el contenido de este elemento se debe a *la facilidad del estroncio para sustituir al calcio en la estructura del mineral carbonatado (debido a su radio iónico parecido y valencia similar).*

Esto sugiere además un proceso diagenético temprano en las conchas llamado *neomorfismo*, derivadas de la interacción entre el agua de mar y los sedimentos donde precipita Aragonita, ésta al tener contacto con el agua continental y exposición subaérea se diluye y cambia a calcita espática.

El neomorfismo es la transformación entre un mineral y el mismo o su polimorfo. Siempre se produce sobre un mineral pre-existente que sin variar su composición química cambia su mineralogía o tamaño. El caso más simple es la recristalización de la matriz micrítica (< 4µm) ha sido parcial o totalmente sustituida por microespatita (4-10 µm) o pseudoespatita (10-50 µm).

El enriquecimiento de Zr en las muestras de Chac Mool, Puerto Morelos muelle, Holbox Muelle, Playa del Carmen, Puerto Morelos, Akumal, y Playa Dreams, puede estar relacionado con el impacto de las descargas de agua subterránea en los litorales, y a su vez con el aporte de nutrientes en los sedimentos.

La muestra del cenote de Yalahau es la que presenta un aumento en los valores de V, Co, Ni y Cu, tal vez relacionado a la composición química propia del agua que enriquece a los sedimentos y/o al aporte antropogénico resultado de las descargas urbanas, agrícolas y actividades relacionadas con el turismo.

Tabla 34. Tabla general de los datos obtenidos para las muestras.

<u>Playa</u>	<u>Clasificación Sedimentológica</u>	<u>Ambiente</u>	<u>Composición</u>	<u>Elementos Abundantes</u>
Playa Dreams	Arena fina, bien clasificadas con una curva asimétrica hacia finos, platicúrtica.	Playa	Ooides>Algas calcáreas>Moluscos>Pellets	Elementos mayores:CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr.
Playa del Carmen	Arena media, bien clasificada con una curva simétrica y mesocúrtica	Playa	Ooides>Algas Calcáreas>Moluscos>Foraminíferos	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr
Puerto Morelos(muelle)	Arena fina, bien clasificadas con una curva simétrica y leptocúrtica.	Playa	Ooides>Algas calcáreas>Pellets>Moluscos>Foraminíferos	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr>Pb
Puerto Morelos(ICMyL)	Arenas medias, moderadamente clasificada con curva asimétrica hacia gruesos y muy platicúrtica.	Playa	Ooides>Moluscos>Foraminíferos>Algas calcáreas>Pellets	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr.
Chac MOOL	Arena media, bien clasificadas con una asimetría simétrica y una curtosis mesocúrtica.	Playa	Ooides>Algas calcáreas>Pellets>Moluscos>Pellets	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr
Akumal	Arena finas moderadamente bien clasificadas, con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis muy leptocúrtica.	Playa	Moluscos>Algas calcáreas>Foraminíferos>Pellets	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr>Pb.
Holbox(muelle)	Arena fina, muy bien clasificadas con una curva asimétrica hacia finos y platicúrtica	Playa	Pellets>Foraminíferos>Ooides>Algas calcáreas.	Elementos mayores: CaO Elementos Traza: Sr>Ba>Zr

Yalahau	Arena gruesa, mal clasificadas, con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis platicúrtica.	Playa		Elementos mayores: CaO Elementos Trazas: Sr>Ba>Cu>V>Zr>Pb>Co
HOLBOX 2	Arena media, mal clasificadas con una curtosis muy platicúrtica y una asimetría muy asimétrica hacia gruesos.	Playa	Pellets>Ooides> Algas calcáreas>Moluscos> Foraminíferos	Elementos mayores: CaO Elementos Trazas: Sr>Ba>Zr>Cu
Isla Pasión	Arena media, mal clasificados con una curva asimétrica hacia finos y platicúrtica.	Playa	Moluscos>Foraminíferos> Ooides>Pellets>Frag de coral	Elementos mayores: CaO Elementos Trazas: Sr>Ba>Zr
Bacalar(MUELLE)	Arena medias, mal clasificadas con una asimetría asimétrica hacia gruesos y una curtosis mesocúrtica.	Playa	Frag de roca>Moluscos	Elementos mayores: CaO Elementos Trazas: Sr>Ba>Zr>Cu>Pb
Bacalar	Arenas muy gruesas, muy bien clasificadas con una asimetría muy asimétrica hacia gruesos y una curtosis muy platicúrtica.	Playa	Frag de roca >Moluscos	Elementos mayores: CaO Elementos Trazas: Sr>Ba

6. Conclusiones y recomendaciones

Análisis textural.

-Las variaciones texturales tienen una fuerte relación con factores antrópicos y fenómenos naturales (corrientes, oleaje, huracanes, tormentas tropicales, etc.), debido a que en todo fenómeno de erosión corresponde una sedimentación y un aumento en la vulnerabilidad ambiental.

Petrografía.

-El alto contenido de material biogénico puede estar relacionado con el aporte de material de la barrera arrecifal mesoamericana y lagunar. Estos organismos están constituidos principalmente por foraminíferos bentónicos y planctónicos, gasterópodos, moluscos, corales, espinas de equinodermos y de esponjas, tubos de anélidos, ostrácodos y algas.

Se recomienda realizar otras pruebas de laboratorio que permitan cuantificar el contenido total de glauconita. La presencia de glauconita puede ser útil para realizar métodos de datación y obtener una mejor correlación sedimentológica y estratigráfica.

Geoquímica.

-El alto contenido de carbonatos y la ausencia de terrígenos, es congruente con el suave relieve de la zona costera y lejanía de fuentes que puedan aportar terrígenos siliciclásticos.

- El enriquecimiento de Sr y Ba en las muestras corresponde a sedimentos carbonatados de ambiente marino.

-La presencia de algunos elementos traza en las muestras como es el caso de la laguna de Yalahau, puede deberse al incremento de la actividad antropogénica. Elementos como el Cu, V y Co están presentes en las descargas urbanas y agrícolas, en las gasolinas y pinturas que se ocupan en lanchas que navegan por la zona;

además, al tratarse de un cuerpo de agua cerrado el enriquecimiento en los sedimentos aumenta.

-Es importante realizar análisis más específicos a las muestras para poder determinar elementos que se encuentren en un porcentaje no detectable a los realizados en este estudio.

Condiciones ambientales.

La zona costera de la Riviera Maya es parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Como ecosistema, el SAM contribuye a la estabilización y protección de los paisajes costeros y sirve como hábitat para la alimentación y crianza de muchos organismos marinos, muchos de los cuales son de gran importancia comercial; también, tiene gran relevancia socioeconómica ya que da empleo y es fuente de ingresos para personas que viven en las áreas costeras cercanas (INE-SAM, 1997).

El análisis textural, petrográfico y geoquímico en muestras de arena, ayuda a plantear un programa de diagnóstico de la situación actual de la zona costera de la zona de Quintana Roo, principalmente las playas de mayor acceso y actividad, a través de la evaluación de los efectos que tienen las actividades playeras, las emisiones de contaminantes y depósito de los sedimentos.

Es importante mantener un monitoreo sobre los parámetros físico-químicos e indicadores biológicos que permitan diagnosticar de forma temprana cambios de la calidad ambiental en el entorno de los arrecifes coralinos.

-Además, nos encontramos en una zona de anidación, alimentación y llegada de aves, crustáceos y tortugas marinas, esta condición debería convertirse en factor de limitación para el establecimiento de una infraestructura costera. Sin embargo en la actualidad, se aprecia un aumento de instalaciones hoteleras y extrahoteleras, cuya localización y dimensiones, afectan física y ambientalmente a este vital ecosistema costero.

-Actualmente la urgencia para revertir la pérdida de playas en zonas turísticamente atractivas, ha llevado a implementar técnicas para la recuperación de playas que no tienen el éxito esperado, por lo que es necesario continuar con el estudio sistemático y monitoreo continuo del aporte de sedimentos, de variación del nivel mar, de las condiciones oceanográficas y actividades antropogénicas de la zona.

Los estudios sobre la dinámica costera, aportarán información fundamental para el desarrollo de proyectos adecuados y funcionales para lograr, preservar y/o mitigar los impactos y destrucción de la zona litoral para conservar su equilibrio ecológico.

Bibliografía

- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Trejo-Ramírez, E. (2017). Mineralogy and geochemistry of sands along the Manzanillo and El Carrizal beach areas, southern Mexico: implications for palaeoweathering, provenance, and tectonic setting. *Geological Journal*, vol. 52(4), 559-582 pp.
- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Garcia, D., Eby, N., Balaram, V. and Cruz-Ortiz, N.L. (2012). Geochemistry of beach sands from the western Gulf of Mexico, Mexico. *Chemie der Erde Geochemistry*, vol.72, 345-362 pp.
- Bathurst, F.G. C. 1975. Carbonate sediments and their diagenesis. *Developments In Sedimentology*, 47. Elsevier. Ámsterdam, 658 pp.
- Beddows, P., Blanchon, P., Escobar-Briones, E., & Torres-Talamante, O. (2007). Los cenotes de la península de Yucatán. *Arqueología mexicana*, 14(83), 32-35 pp.
- Bustillo, M. YFort, R. (1986). Evolución geoquímica del estroncio en los procesos de dolomitización: Aplicación a las dolomías del Cretácico Inferior de la zona oeste de Cantabria. *Bol. Geol. Min.*, 97, 662-671 pp.
- Butterlin, J.A., 1958, Reconocimiento geológico preliminar del Territorio de Quintana Roo: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 10(9 y 10), 531-570 pp.
- Bonet, F., Butterlin, J., 1959, Reconocimiento Geológico de la Península de Yucatán, *Enciclopedia Yucatanense*, Tomo X, Editada Del Gobierno del estado de Yucatán, Mérida, Yucatán,. 9-28 pp.
- Butterlin, J., Bonet, F., 1963, Las Formaciones Cenozoicas de la parte mexicana de la Península de Yucatán, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 43 pp .
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, & R. Lozano-Santa Cruz. 1988. Estudio sedimentológico de playas del Estado de Oaxaca, México. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol.*, 15: 23–38 pp.
- Carranza-Edwards, A., A. Márquez-García, C. Tapia-González, L. Rosales-Hoz, & M.Á. Alatorre-Mendieta. 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe Noroeste. *Bol. Soc. Geol. Mex.*, 67(1): 21–43.
- Carranza-Edwards, A.; Rosales-Hoz, L., and Santiago-Perez, S., 1996. A reconnaissance study of carbonates in Mexican beach sands. *Sediment. Geol.*, 101, 261-268 pp.

- Carranza-Edwards A. 2001. Grain size and sorting in modern sands. *J. Coast. Res.* 17: 38–52 pp.
- Carranza-Edwards, A., Caso Chávez, M., 1994, Zonificación del perfil de playa: *Geo-UNAM*, 2 (2), 26–32.
- Cetina P, Candela J, Shienbaum J, Ochoa J, Badan A, 2006. Circulation along the Mexican Caribbean Coast. *J. Geophys. Res.* 111, C08021, doi:10.1029/2005JC003056.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2009, Establecimiento de una red piezométrica de la zona cañera de Álvaro Obregón, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, Informe Final, 58 pp.
- Cuevas-Jiménez, A., & J. Euán-Ávila. 2009. Morfodinámica del perfil de playa con sedimentos carbonatados en la Península de Yucatán. *Cienc. Mar.*, 35(3): 307–320 pp.
- De La Lanza-Espino G., 2001. Características Físico-químicas de los Mares de México. Instituto de Geografía -Plaza y Valdés, México. 1 -149 pp.
- Folk, R.L., 1974. *Sedimentary petrology*, 3 ed . Hemphill publ. 220 p.
- Folk, R.L., 1967. Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and vicinity. in *Yucatan Field Trip Guidebook Annual Meeting*, Geol. Soc. of America, 100-123 pp.
- Folk, R.L., M.O. Hayes and R. Shoji, 1962. Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and vicinity, in *Yucatan Field Trip Guidebook*, New Orleans Geol. Society, 85-100 pp.
- Folk, R.L., and R. Robles, 1964. Carbonate sands of Isla Perez Alacran reef complex, Yucatan. *Jour. Geology*, v. 72, no, 3, p. 255 --292.
- Hernández-Hinojosa, V., Montiel-García, P.C., Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Kasper-Zubillaga, J.J. (2018). Textural and geochemical characteristics of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 13(1), pp. 161-174.
- Hernández-Terrones L., Rebolledo-Vieyra M., Merino-Ibarra M., Soto M., Le Cossec A., Monroy-Ríos E. 2011. "Groundwater pollution in a karstic region (NE Yucatan): Baseline nutrient content and flux to coastal ecosystems discharges onto a coastal reef lagoon. *Water", Air and Soil Pollution*, 218 (1): 517-528, Berlin, Germany, Springer. DOI 10.1007/s11270-010-0664-x.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2002. Estudio Hidrológico del Estado de Quintana Roo. Edit. INEGI. México. 79p

- Islas-Tenorio, J.J., Sáenz-Pita, M.R., Beltrán-Castillo, D.H., Valdés-Vigil, J.E., 2005, Carta Geológico-Minera Tenosique E15-9, escala 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Servicio Geológico Mexicano, informe, 58 p.
- Jonathan, M.P., Roy, P.D., Thangadurai, N., Srinivasalu, S., Rodríguez-Espinosa, P.F., Sarkar, S.K., Lakshumanan, C., Navarrete-López, M., Muñoz-Sevilla, N.P., 2011. Metal concentrations in water and sediments from tourist beaches of Acapulco. Mexico Mar. Pollut. Bull. 62, 845–850.
- Johnson, E. V. y E. Brinton The Sea: Ideas and Observations and Progress in the Study of the Seas. Biological species, water masses and currents. Interscience Publ. Londres 1963 381-414 2
- Jordan, E., M. Merino, O. Moreno y E. Martín Proceedings of the IV International Coral Reef Symposium. Community structure of coral reefs in the Mexican Caribbean. Manila Filipinas 1980
- Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano-Torres, E., Armstrong-Altrin, J.S., Sial, A.N. (2017). A study of carbonate beach sands from the Yucatan Peninsula, Mexico: a case study. Carbonates and Evaporites, vol. 32(1), pp. 1-12.
- Krumbein, W.C. y Loss, L.C., 1963. Stratigraphy and Sedimentation, W.H. Freeman company, San Francisco, pp. 660.
- Logan BW, Harding JL, Aur WM, Williams JD, Sneat Rg. 1969. Carbonate sediments on reefs, Yucatan shelf, Mexico. Part I. Late Quaternary sediments. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol. 11: 1–128.
- Long, E.R., Mac Donald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19, 81–97.
- López-Ramos, 1979, Geología de México: México, D.F., Tomo II, pp.454 .
- Lugo-Hubp, H.J., Aceves-Quesada, J.F., Espinoza-Pereña, R., 1992, Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 10(2), pp.143-150
- Manzano, O. 1989. Estudio geomorfológico para la zonificación de las áreas de manejo de la reserva de la Biósfera los pantanos de Centla, Tabasco. Bsc thesis, Colegio de Geografía UNAM, México.
- Merino, M., E. Martín, O. Moreno y E. Jordan Quintana Roo, Problemática y Perspectivas. El Estudio del ambiente marino de Quintana Roo. Instituto de Geografía, UNAM y CIQRO. 1980

-Miall Andrew D. 1990. Principles of Sedimentary Basin Analysis. Springer, Second Edition, New York. QE471 M53 2000

-Morán-Zenteno, D.J., Cerca, M., Keppie, J.D., 2005, La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57 (3), pp.319—341

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

- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (2007) Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p70. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf

-Ortiz-Pérez, MA. 1992. Retroceso reciente de la línea de costa del frente deltáico del río San Pedro, Campeche, Tabasco. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, 25, 7 -24.

- Petróleos Mexicanos (PEMEX), 1988, Estratigrafía de la República Mexicana: Cenozoico, pp.140 .

-Scholle, P. A. y Ulmer-Scholle, D. S. 2006. A color guide to the petrography of carbonate rocks: grains, textures, porosity, diagenesis. American Association of Petroleum Geologists, AAPG memoir; 77, 474 pp.

-Servicio Geológico Mexicano, 2006a. Carta Geológico-Minera Cancún F16-8 escala 1:250 000, Secretaría de Economía. Pachuca, México.

-Servicio Geológico Mexicano, 2006b. Carta Geológico-Minera Cozumel F16-11 escala 1:250 000, Secretaria de Economía. Pachuca, México.

-Swart, P., 2015, The geochemistry of carbonate diagenesis: the past, present and future, Sedimentology, v. 62, p. 1233-1304.

-Tucker, M.E. y Wright, V.P. (1990). Carbonate sedimentology. Blackwell. 482 pp.

-Tucker, M.E. (1993). Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy. En: Wright, V.P. (ed). Blackwell. Oxford. 51-72.

- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2001. The role of screening-level risk assessments and refining contaminants of concern in

Baseline ecological risk assessments, Publication 9345 0-14, EPA 540/F-01/14, June, 2001.

-Ward, W.C., 1974a. Carbonate sand and gravel on the shallow shelf, northeastern Yucatan Peninsula. in Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 106-122.

-Ward, W.C., 1974b. Collector's guide to carbonate cement types, northeastern Yucatan Peninsula. in Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 175 -178.

-Ward, W.C., and J.L. Wilson, 1974. General aspects of the north-eastern coast of the Yucatan Peninsula. in Field Trip 2, Annual Meeting of the Geol. Soc. of America, p. 96-105.

