



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Universidad Nacional Autónoma de México



**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE PLAYAS UBICADAS FRENTE AL  
SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO, GOLFO DE MÉXICO.**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de**

**INGENIERA GEÓLOGA**

**Presenta**

**MARLENE OLIVARES CRUZ**

**Director de tesis: Dr. Arturo Carranza Edwards**

**Enero 2010**

## **DEDICATORIAS**

Dios te doy gracias por la perseverancia y fortaleza que me han permitido concluir satisfactoriamente una de las metas más importantes de mi vida.

A mis padres Juan Manuel y Reyna por ayudarme a hacer posible un logro más, porque gracias a su apoyo y paciencia he alcanzado una meta más en mi vida. Gracias mamá por tu gran ejemplo y por tu fe en mí. Los quiero mucho.

A mis hermanos Magali, Juan Manuel, Gabriel y Jesús, por brindarme su amor y apoyo. Y porque a pesar de ser menores he aprendido mucho de ustedes. Los quiero mucho y espero que sigamos tan unidos como siempre.

A Ulises por su fe en mí, por su amor y apoyo incondicional, gracias por formar parte de mi nueva vida, te amo.

A mis amigos y amigas de toda la vida, así como a los nuevos amigos que han compartido su tiempo conmigo y me han ayudado y escuchado siempre que lo necesite.

Gracias a Anita, Germán y Alonso mis compañeros de laboratorio, quienes me han brindado su apoyo y han compartido sus conocimientos conmigo, lo cual fue de gran ayuda en la realización de este trabajo. Los quiero mucho amigos.

A todas las personas que formaron o forman parte de mi vida y que me apoyaron y me impulsaron a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por su excelente formación académica y por la oportunidad de formar parte de esta gran institución.

Le agradezco al Dr. Arturo Carranza Edwards por la oportunidad para realizar esta tesis. Gracias por integrarme a su laboratorio, por su apoyo, confianza y por compartirme sus conocimientos pero sobre todo gracias por su amistad. Lo aprecio mucho.

A la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez y al M.I. Alberto Herrera Palomo, agradezco los conocimientos que me transmitieron en las clases que me impartieron. Gracias por su tiempo y apoyo en la revisión de este trabajo.

Gracias al M.C. Eduardo Morales de la Garza, por su apoyo y aportaciones para la realización de esta tesis, por sus explicaciones y por brindarme su amistad.

Al Ing. Miguel I. Vera Ocampo, porque aunque nunca tuve oportunidad de tomar clases con él, siempre conté con su amistad y guía durante la carrera. Gracias por su apoyo y gracias por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A todos y cada uno de los profesores que ayudaron en mi formación y me compartieron sus anécdotas y conocimientos. Muchas gracias.

Gracias al Proyecto (PAPIIT) No. INI08808, titulado "Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales", al ICMYL y en especial a la Dra. Leticia Rosales Hoz, porque gracias a ellos fue posible realizar este trabajo de tesis.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-1-397

**SRITA. MARLENE OLIVARES CRUZ**  
**Presente**

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Arturo Carranza Edwards y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO DE PLAYAS UBICADAS FRENTE AL SISTEMA ARRECIFAL  
VERACRUZANO, GOLFO DE MÉXICO**

**RESUMEN**

- I INTRODUCCIÓN**
- II ÁREA DE ESTUDIO**
- III MATERIALES Y METODOLOGÍA**
- IV PERFILES DE PLAYA**
- V ANÁLISIS TEXTURAL**
- VI ANÁLISIS PETROLÓGICO**
- VII CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar del informe el título de éste

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
CD. Universitaria, D. F., a 23 de Marzo de 2009  
EL DIRECTOR

**MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA**

JGGZ\***RJPYS**\*srs

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	1
<b>I. Introducción</b>	2
I.1. Antecedentes	4
I.2. Objetivos	8
<b>II. Área de estudio</b>	9
II.1. Geología	10
II.2. Cuenca del río La Antigua	13
II.3. Cuenca del río Jamapa	13
II.4. Cuenca del río Papaloapan	14
<b>III. Metodología</b>	16
III.1. Trabajo de campo	16
III.2. Laboratorio	16
III.3. Trabajo de gabinete	19
<b>IV. Perfiles de playa</b>	21
<b>V. Análisis textural</b>	27
V.1. Tamaño gráfico promedio	27
V.2. Desviación estándar gráfica inclusiva	30
V.3. Grado de asimetría	30
V.4. Curtosis gráfica	31
V.5. Correlación de Pearson	36
V.6. Poblaciones en tracción saltación y suspensión	38
<b>VI. Análisis petrológico</b>	41
<b>VII. Conclusiones</b>	50
VII.1. Variaciones morfológicas de los perfiles de playas	50
VII.2. Análisis textural de arenas en las subzonas de los perfiles de playa	50
VII.3. Importancia de la litología de las cuencas en la composición de las arenas	51
<b>Bibliografía</b>	52
<b>Anexos</b>	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura II.1. Mapa de área de estudio y localización de playas muestreadas	10
Figura II.2. Mapa geológico simplificado	12
Figura II.3. Mapa de ubicación de las cuencas	15
Figura IV.1. Perfiles de playa	25
Figura V.1. Histogramas para el tamaño gráfico promedio ( $Mz(\phi)$ )	29
Figura V.2. Histogramas para la desviación estándar gráfica inclusiva ( $\sigma_1(\phi)$ )	30
Figura V.3. Histogramas para la asimetría ( $Ski$ )	31
Figura V.4. Histogramas para la curtosis gráfica ( $kg$ )	32
Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas	32
Figura V.6. Gráfica de tamaño gráfico promedio vs curtosis gráfica	37
Figura V.7. Gráfica de tamaño gráfico promedio vs desviación estándar gráfica inclusiva	37
Figura V.8. Gráfica de tamaño gráfico promedio vs grado de asimetría gráfica	38
Figura V.9. Curva de frecuencia acumulativa de acuerdo con Visher	39
Figura VI.1. Total de muestras	47
Figura VI.2. Muestras de infraplaya	47
Figura VI.3. Muestras de mesoplaya	48
Figura VI.4. Muestras de supraplaya	49

## ÍNDICE DE LÁMINAS

	<b>Página</b>
Lámina III.1. Levantamiento del perfil de playa	16
Lámina III.2. Muestras en el proceso de secado	17
Lámina III.3. Ro-Tap con serie de tamices	17
Lámina IV.1. Playa 2 (Mocambo)	21
Lámina IV.2. Playa la Trocha	22
Lámina IV.3. Trinchera en Playa Isla del Amor	23
Lámina IV.4. Trinchera en Playa Salinas	23
Lámina IV.5. Playa Agua Azul	24
Lámina IV.6. Trinchera en Playa Montepío	24
Lámina V.1. Perfil 5 (Residencial Lomas del Sol)	29
Lámina VI.1. Trinchera cavada en Playa Arbolillo	43
Lámina VI.2. Trinchera en Playa la Trocha	43
Lámina A.II.1. Fragmento de cuarzo monocristalino NX	59
Lámina A.II.2. Fragmento de cuarzo policristalino NX	59
Lámina A.II.3. Fragmento de feldespato potásico NX	59
Lámina A.II.4. Fragmentos de feldespatos NX	59
Lámina A.II.5. Fragmento de roca volcánica NX	59
Lámina A.II.6. Fragmento de roca volcánica LP	59
Lámina A.II.7. Fragmento de roca sedimentaria NX	60
Lámina A.II.8. Fragmento de roca sedimentaria LP	60
Lámina A.II.9. Fragmento de pedernal NX	60
Lámina A.II.10. Fragmento de pedernal LP	60
Lámina A.II.11. Fragmento de mineral pesado NX	60
Lámina A.II.12. Fragmento de mineral pesado LP	60
Lámina A.II.13. Fragmento de coral NX	61
Lámina A.II.14. Fragmento de coral LP	61
Lámina A.II.15. Fragmento de biógeno NX	61
Lámina A.II.16. Fragmento de biógeno LP	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla III.1. Escala de tamaño de Wenworth	18
Tabla V.1. Parámetros texturales	28
Tabla V.2. Matriz de correlación de los parámetros texturales	36
Tabla V.3. Porcentajes de distribuciones del tamaño de grano	40
Tabla VI.1. Composición mineralógica de las arenas muestreadas	45
Tabla VI.2. Porcentajes de cuarzo, feldespato y líticos de las arenas muestreadas	44
Tabla Anexo 1. Nomenclatura de las arenas de playa analizadas	55

## **RESUMEN**

Se analizaron la textura y la mineralogía de sedimentos arenosos de 39 muestras de arenas correspondientes a un total de 11 playas del Golfo de México. El muestreo se realizó en época de lluvias como parte del Proyecto PAPIIT No. INI08808, titulado "Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales", a cargo del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. El objetivo fue analizar las arenas para ver si estos sedimentos reflejan la influencia del SAV. La llanura costera, en la que se encuentran la mayoría de las muestras, tiene en su parte más amplia una longitud de más de 100 km, por lo que se encontraron en su mayoría arenas bien clasificadas y de tamaño de grano fino. Las playas muestreadas se localizan en tres diferentes cuencas en las cuales domina una litología de rocas sedimentarias e ígneas extrusivas, observándose principalmente abundantes líticos sedimentarios y en segundo lugar líticos volcánicos. Las mayores concentraciones de minerales pesados se encuentran en playas asociadas con la cuenca del río Papaloapan y en la playa Monte Pío, mientras que los mayores porcentajes de biógenos se encontraron en arenas de playas próximas a los ríos La Antigua y Jamapa. El aporte de restos de corales, procedentes del SAV, en las arenas de las playas estudiadas fue de hasta 7%, en las proximidades del río Jamapa, por lo que la influencia del SAV fue poco importante.

*Palabras claves: Golfo de México, arenas, playas, Sistema Arrecifal Veracruzano.*

## I. INTRODUCCIÓN

Las playas son elementos dinámicos de la costa y cambian la forma de su perfil a lo largo del tiempo. Estos cambios de forma conllevan un transporte de arena que origina, a su vez, variaciones en la distribución granulométrica del material que conforma la playa. La playa es una franja de acumulación de material no consolidado, y sus límites externos e internos están controlados por el oleaje, las corrientes y las mareas (Cartaya *et al.*, 2005).

El desarrollo de una playa varía de acuerdo con la energía del oleaje, las corrientes, las mareas y los sedimentos disponibles. Las playas son depósitos sedimentarios que permanecen en la costa a pesar de la acción de las olas; aun cuando los sedimentos no consolidados puedan parecer deleznable, su persistencia ante dichos factores, indican que existe algún balance dinámico con los procesos que la forman (Woodroffe, 2003).

Los sedimentos de la zona litoral pueden estar compuestos de cualquier material que se encuentre disponible en cantidades significantes (Komar, 1976). El concepto de zona costera puede tener muchas definiciones. No obstante, es aceptable considerar que el continente tiene influencia sobre el mar y *viceversa* (Carranza-Edwards *et al.*, 2004).

Los petrógrafos sedimentarios y los sedimentólogos tratan repetidamente de diferenciar los ambientes depositacionales con base en las características texturales de los sedimentos, basados en que el tamaño de grano de un sedimento clástico refleja en cierta medida los procesos físicos de sedimentación que operan en cada medio (Lecuanda-Camacho, 1993).

En los estudios ambientales y geoquímicos, el análisis granulométrico de los sedimentos, sirve para entender de forma integral las condiciones del área fuente y del sitio de depósito. Las diferencias en tamaños de partícula se relacionan con el tipo litológico de las rocas del área fuente y con la distancia entre el área fuente y el área de depósito. También los diferentes tipos de energía que existen en el área de depósito van a influir en las características granulométricas del sedimento (Carranza-Edwards, 1997).

Las principales fuentes de sedimentos de playas están representadas por: 1) ríos, que transportan grandes cantidades de arena hasta el océano; 2) acantilados marinos de material no consolidado, que son desgastados por las olas, y 3) restos de origen biológico, tales como las conchas de moluscos, los fragmentos de corales y otros esqueletos de pequeños organismos marinos (Cifuentes-Lemus *et al.*, 1986).

Las playas existentes en las márgenes tectónicamente activas presentan en su mayoría sedimentos litareníticos, mientras que en las playas ubicadas en márgenes tectónicamente pasivas se encuentran principalmente sedimentos cuarcíferos; sin embargo, si el área fuente de los sedimentos de la playa, procede de rocas antiguas que aun no se han erosionado, estas estarán aportando una gran cantidad de fragmentos de roca, a la playa dándoles una clasificación de litarenitas, a pesar de que se ubiquen en una margen pasiva.

Las playas varían de un lugar a otro, pero se puede decir que todas tienen en común la existencia de un perfil, el cual puede presentar diferentes características, según sean los procesos terrestres, acuáticos y atmosféricos que la afecten (Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994).

Carranza y Caso (1994), propusieron una terminología sencilla y práctica en español, para diferenciar las diferentes zonas en un perfil de playa, por lo que de acuerdo con estos autores se puede delimitar de la siguiente manera:

- a) Infraplaya: zona de la playa que siempre está cubierta por agua en condiciones normales. Su límite marino lo constituye la plataforma continental. En la infraplaya se pueden presentar rizaduras simétricas generadas por oleaje simétrico, el cual comienza a sentir fondo y por lo mismo se inicia un movimiento vertical del material suelto del piso; sin embargo no hay transporte de sedimentos hacia la costa.
  
- b) Mesoplaya: parte de la playa que continuamente está cubierta por el agua y expuesta al aire de una forma rítmica y alternada. El límite superior de la mesoplaya puede

estar dado por la cresta de la berma, o en su ausencia, por el límite de máximo lavado con marea alta, su límite inferior corresponde con la marca inferior del relavado en marea baja.

- c) Supraplaya, zona de la playa que en condiciones normales se encuentra seca; en ella predominan los agentes eólicos sobre los acuosos, ya que el agua sólo ocasionalmente llega a invadir esta zona, puede o no presentar cresta de berma; el dominio terrestre es la zona que delimita a la supraplaya. Su límite hacia tierra puede estar constituido por dunas estabilizadas, que son apilamientos de arena localizados por encima del nivel del mar y expuestos a la actividad del viento. Se desarrollan donde hay suficiente aporte de arena y donde se presenta un fuerte viento dominante en dirección a tierra.

El perfil de la playa representa el equilibrio dinámico entre el transporte de sedimentos hacia el mar (erosión), hacia la tierra (sedimentación) y a lo largo de las costas (corrientes de deriva). La topografía de la duna representa el equilibrio entre el movimiento de la arena por el viento (erosión o depositación) y la cobertura de vegetación (Moreno-Casasola, 2004).

De acuerdo con Moreno-Casasola *op.cit.*, las playas y dunas son los ambientes de sedimentación más importantes del mundo, es decir, son los lugares donde hay mayor acumulación de sedimentos (granos de arena de distintos tamaños) que han sido transportados por corrientes marinas y vientos. Las playas son formaciones dominadas por procesos asociados con oleaje, con ambientes de alta energía capaces de movilizar el sedimento; en cambio las dunas están asociadas con la energía producida por el viento.

### **I.1. Antecedentes**

Los trabajos de investigación en la rama de la sedimentología de zonas litorales en la República Mexicana aun son escasos. Sin embargo, los estudios existentes a lo largo de los aproximadamente 11 592 km del litoral mexicano dan un panorama muy general de su morfología costera, así como de las características inherentes de cada región (Fabían y Villalba, 1991).

El análisis de ambientes sedimentarios del Reciente ha recibido especial atención en los últimos años, debido a la necesidad de interpretar con mayor eficacia sus análogos antiguos. Gracias a ello se han establecido o revaluado criterios sobre procesos erosionales, de transporte y de depósito, así como los de litificación, lo cual repercute, no sólo en la investigación básica, sino también en las implicaciones económicas que éstos tienen, particularmente para la industria petrolera (Aguayo *et al.*, 1980), así como para el eventual aprovechamiento de los minerales presentes en las arenas de playa, sobre todo cuando se trata de arenas ricas en metales de importancia económica (Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 1988); además se pueden usar como materiales para la industria de la construcción.

Particularmente, en la región costera del Golfo de México que es en donde se encuentra ubicada el área de estudio, se han realizado diversos trabajos referentes al estudio de los sedimentos de acuerdo con su textura, composición y tamaño de grano, así como otros enfocados en disciplinas tales como química y biología que han aportando información acerca de metales pesados en sedimentos, agua y en organismos bentónicos.

Para este trabajo se mencionan los antecedentes que sirven para la metodología seguida en el presente y como sustento teórico.

Entre los primeros trabajos regionales y locales consultados, se destaca, el análisis geomorfológico costero de la costa veracruzana comprendida entre Alvarado y Puntilla, (Coll-Hurtado, 1969), en donde se presentan rasgos morfotectónicos, fundamentalmente marinos, fluviales y eólicos del relieve de algunas localidades costeras.

Regionalmente Carranza-Edwards *et al.* (1975), diferenciaron las costas mexicanas en nueve unidades morfo-tectónicas continentales, aplicaron la clasificación tectónica de Inman y Nordstrom realizada en 1971 y la clasificación de Shepard de 1973; y aunque algunas unidades resultaron similares tectónicamente, se pudieron diferenciar genética y geomorfológicamente, por lo que se consideran amplias distinciones entre las unidades.

Álvarez-Rivera *et al.* (1986), realizaron estudios de materia orgánica, carbonatos y metales pesados en muestras de sedimentos del río Blanco, Veracruz, con lo cual pudieron

determinar que las concentraciones de metales pesados estaban en función del tamaño de grano y del contenido de materia orgánica de los sedimentos. La granulometría es de gran importancia en la sedimentología y también resulta relevante para otras disciplinas, tales como la biología y química por lo que en 1986, Méndez-Ubach *et al.*, insistieron en la importancia de la distribución de organismos bentónicos en las playas, los cuales pueden tener efectos importantes sobre el sustrato, tales como la mezcla y transporte de los sedimentos debido al traslado de éstos. En 1997, Carranza-Edwards considera a la granulometría muy importante en los estudios geoquímicos y ambientales, ya que las diferencias de tamaño de grano se relacionan con la fuente litológica de las rocas y la distancia entre ésta y el área de depósito. Argumenta mediante estudios previos que generalmente las fracciones más finas se relacionan con contenidos más altos de metales pesados, por lo que la construcción de isolíneas de lodos y arenas, permiten conocer los sitios potenciales como receptores de contaminantes.

En 1991, Ortíz-Pérez y Espinosa-Rodríguez, realizaron una clasificación geomorfológica de las costas de México, tomando en cuenta los diversos enfoques y criterios con los que se define el paisaje costero, así como la geodinámica costera la cual varía de acuerdo con el avance o retroceso de la línea de costa y su estabilidad. De esta forma se llevó a cabo un ordenamiento para designar a los tipos y subtipos de costas por la dinámica y la génesis.

El estuario del río Coatzacoalcos en el estado de Veracruz, es ahora considerado como una de las zonas costeras más contaminadas de México, por lo que Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998), realizaron un análisis de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Coatzacoalcos en temporada de lluvias, con lo que obtuvieron el grado de contaminación por metales pesados en los sedimentos.

En 1999 Geissert-Kientz realizó un trabajo de regionalización geomorfológica del estado de Veracruz, en donde se actualizó la clasificación del relieve mexicano efectuada por Lugo y Córdova (1990), en esta nueva clasificación se tomaron en cuenta criterios morfológicos, morfométricos, litológicos y geoestructurales, así como los procesos exógenos dominantes como erosión fluvial y sedimentación.

Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards (2002), realizaron un estudio del potencial económico que representan los depósitos de minerales de placer, que se encuentran en los sedimentos de algunas playas de México, tanto de elementos nativos como minerales resistentes a la erosión, intemperismo y transporte. Por lo que se tomaron en cuenta las características texturales, factores terrígenos y las características litológicas de las áreas fuente de los sedimentos.

En el diagnóstico ambiental del Golfo de México (2004), un compendio editado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), Carranza-Edwards *et al.*, analizaron la geología ambiental de la zona litoral, en donde destacaron la importancia de la zona litoral del Golfo de México, tomando en cuenta las relaciones de las playas con los ambientes terrestres y marinos que las rodean, y advirtieron sobre la necesidad de una mayor atención de las zonas litorales debido a que los fenómenos naturales y la actividad humana amenazan el equilibrio de estos ecosistemas. En la misma publicación Moreno-Casasola, analizó la situación actual sobre las playas y dunas del Golfo de México y explicó como es que las playas y dunas están entre los ecosistemas más amenazados debido al impacto ambiental a que son sujetas, ya que quitan la protección que estas ofrecen contra las olas de tormenta.

Los fenómenos atmosféricos sobre el estado de Veracruz durante el 2005, tales como ondas tropicales, tormentas tropicales y huracanes fueron tema de estudio para que Pereyra-Díaz y Pérez-Sesma, realizaran una investigación sobre la hidrología de superficie y las precipitaciones intensas en dicho año, en el estado de Veracruz, en donde el huracán Stan fue la principal causa de daños en la entidad. Este tipo de trabajos es de suma importancia debido a que el estado de Veracruz, está constantemente expuesto a tales fenómenos atmosféricos.

En el 2006, Castillo-Escalante, realizó un estudio sobre los cambios de las líneas costeras observables a largo plazo, debido a la construcción de obras civiles en la costa, lo que produce cambios de pérdida de transporte litoral y generan modificaciones en la línea costera, y causan por lo general, daños irreparables. Por lo que propuso un análisis

cuidadoso de los posibles daños que se pueden ocasionar a la playa antes de proceder a construir obras civiles, ya que dichas estructuras no deben estar localizadas en la zona móvil de la playa.

Kasper-Zubillaga *et al.*, (1999), realizaron un análisis mineralógico y geoquímico de sedimentos fluviales, de dunas y de playas en el Golfo de México, para mostrar la utilidad de estos tres ambientes en la determinación del ambiente tectónico de la fuente y en el 2003, Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, analizaron las arenas del Golfo de México, para diferenciar su distribución geográfica de acuerdo con su origen (ígneo o sedimentario).

En el 2008, Rosales-Hoz *et al.*, estudiaron muestras de sedimento superficial tomadas alrededor de la isla de Sacrificios, ubicada en Veracruz, para determinar la composición geoquímica de éstos durante tres estaciones del año, con lo que dedujeron una fuente terrígena para los compuestos geoquímicos encontrados.

## **1.2. Objetivos**

### Objetivo General

Analizar arenas recientes de playas ubicadas en la región del sistema arrecifal veracruzano (SAV), para comprobar la cercanía de los sedimentos litorales al SAV.

### Objetivos Específicos

- 1) Determinar los perfiles de las playas muestreadas, para establecer las diferencias entre los mismos.
- 2) Determinar la granulometría de los sedimentos litorales con la finalidad de conocer las posibles influencias de las descargas fluviales.
- 3) Determinar la composición mineralógica de las arenas de playa y así analizar la importancia de la procedencia de los sedimentos que las constituyen.

## II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en las playas del estado de Veracruz entre las longitudes 96° 20'' y 95°00'' Oeste y las latitudes 19°40'' y 18°30'' Norte (Fig. II.1).

De acuerdo con el INEGI (2008), la zona de estudio, se localiza en la provincia fisiográfica denominada como Llanura Costera del Golfo de México, en la subprovincia de la llanura costera veracruzana, limitándose al norte por el macizo de Teziutlán, al sur con el de San Andrés Tuxtla, al oeste con la sierra Madre Oriental y al este por el Golfo de México. Esta zona cuenta con numerosos sistemas fluviales que descargan sus aguas en el Golfo de México.

Las costas existentes son clasificadas de acuerdo con su geomorfología por Ortiz-Pérez y Espinoza-Rodríguez (1991), como costas abrasivo-acumulativas (mixtas), costas acumulativas (de playas bajas arenosas) y costas erosivas (rocosas).

El clima corresponde al tipo AW"Z (w) (i) caliente sub-húmedo con lluvias en verano (García, 1973), con 2 épocas principales al año: la época de "Nortes", que abarca desde septiembre hasta abril, y está caracterizada por una escasa precipitación, temperaturas ambientales bajas y frecuentes invasiones de masas de aire frío del Norte, por cuya fuerza pueden ser desde vientos frescos hasta violentos y huracanados.

La época de "lluvias", de mayo hasta agosto que es un período cálido, caracterizado por temperaturas elevadas, alta precipitación entre junio y agosto y vientos débiles del Este que soplan más o menos permanentemente. Presenta una precipitación anual de 800 a 2,000 mm; las temperaturas máximas oscilan entre los 35° y 40° C, y las mínimas entre 15° y 20° C; la humedad media anual es de 80%; la velocidad del viento, en promedio, es ligeramente mayor a los 21.6 km / hora.

Se muestrearon 11 playas dentro del área de estudio (Fig. II.1.) en donde se recolectaron muestras superficiales de las zonas de infraplaya, mesoplaya, supraplaya y pie de las dunas, obteniéndose un total de 39 muestras.



Figura II.1. Área de estudio y localización de playas muestreadas: 1) Playa Chalchihuecan, 2) Playa Mocambo, 3) Playa Santa Ana, 4) Playa Isla del Amor, 5) Playa Residencial Lomas del Sol, 6) Playa de Antón Lizardo, 7) Playa Salinas, 8) Playa Arbolillo, 9) Playa La Trocha, 10) Agua Azul (Playas de Lerdo), 11) Playa de Montepío.

## II.1. Geología

Carranza-Edwards *et al.* (1975), aplican la clasificación tectónica de Inman y Nordstrom, junto con la clasificación geomorfológica y genética de Shepard y diferencian en nueve unidades morfotectónicas las costas de México.

De acuerdo con Carranza Edwards *et al.* (1975), el área de estudio corresponde con la unidad morfotectónica II, la cual se extiende desde Punta Delgada Ver., hasta las inmediaciones de Coatzacoalcos, Ver., con una longitud de unos 300 km. Incluye al norte parte del extremo oriental de la Cordillera Neovolcánica y en sus porciones central y sur a la Planicie Costera de Sotavento.

Esta región incluye la parte central del estado de Veracruz, que comprende parte del eje Neovolcánico y los ríos Antigua, Jamapa, Blanco y Papaloapan con sus afluentes. Es una

superficie plana, con ligeras inclinaciones, formadas por levantamientos tectónicos del Cenozoico. Esta región es una típica llanura costera en la cual el área está cubierta por depósitos aluviales (Fig. II.2.).

En la carta geológica de la República Mexicana elaborada por Ortega *et al.* (1992), la zona de estudio se encuentra dentro de la provincia geológica denominada Cuenca Deltaica de Veracruz, de edad Cenozoica y de origen sedimentario continental.

La geología histórica de la zona, en términos generales, es la siguiente: en la porción occidental de la cuenca y hacia su parteaguas, existen rocas sedimentarias del Cretácico, las cuales fueron plegadas por los efectos de la Orogenia Laramídica y actualmente conforman la Sierra Madre Oriental.

Durante el Terciario y épocas siguientes ocurrieron manifestaciones de actividad ígnea; estas estructuras produjeron explosiones y derrames cuyos sedimentos cubrieron en gran parte las rocas cretácicas existentes.

Posterior al terciario, una elevación paulatina y continua de la región, con relación al mar, ocasionó la formación de la llanura costera actual, acumulándose en ella y en las estribaciones de la sierra, grandes espesores de materiales de acarreo aluvial representadas por arcillas rojizas y conglomerados bien cementados (Guzmán, 1995).

#### Estratigrafía.

El área se encuentra en la provincia geológica de la cuenca Terciaria de Veracruz, caracterizada por estar constituida por lutitas y areniscas del Paleoceno al Oligoceno, además de material volcánico, los que en su conjunto forman una amplia planicie.

Así, se tienen cartografiadas tres unidades geológicas, cuya descripción es la siguiente:

#### Grava arcillosa.

Está constituida por fragmentos de roca del tamaño de las gravas, de origen volcánico y de composición cuarcífera, contenidas en arcillas y ocasionalmente hay espesores delgados de arenas arcillosas. Su origen es continental de edad Pleistoceno con un espesor no mayor que 100 m. Se encuentran cubriendo sedimentos arcillosos y presentan intemperismo en su porción superior.

#### Materiales volcánicos.

En forma de aglomerados y tobas, predominando esta última., se presentan como lomeríos de baja altura, ya que conforme se encuentran al este, su espesor se reduce hasta estar

cubierta por la unidad de aluvi3n. Su edad es del Pleistoceno y pueden dar origen a un acuífero recargado principalmente por arroyos y r3os. La característica geomorfol3gica de esta unidad es ser parte de la llanura.

Aluvi3n.

Se trata de sedimentos continentales de composici3n y granulometr3a variada que le dan un aspecto heterog3neo y forman la cobertura superficial de la zona. As3, se constituye por capas de limo arcillas y de arenas con intercalaciones de arcilla, con un espesor no mayor a los 100 m.

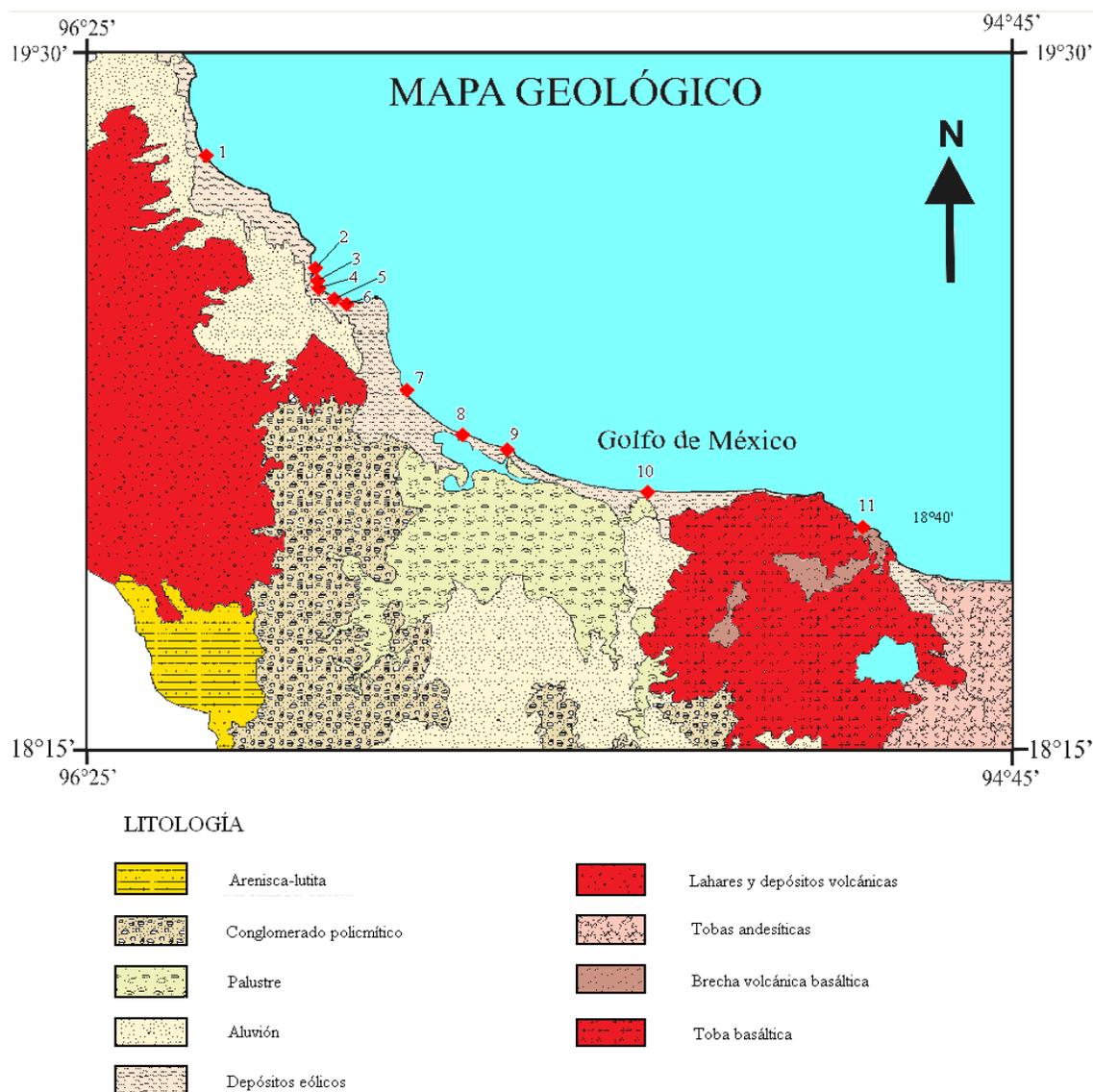


Figura II.2. Mapa geol3gico simplificado del 3rea de estudio (modificado de la Carta Geol3gico-Minera del Estado de Veracruz, SGM, 2005).

## **II.2. Cuenca del río La Antigua**

Al norte de la zona de estudio se encuentra la cuenca del río La Antigua (Fig. II.3.), la cual se localiza geográficamente entre los 19°05' y 19°34' latitud norte, y entre 96°06' y 97°16' longitud oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 2 827 km<sup>2</sup>, distribuida una pequeña porción en el estado de Puebla y la mayor parte dentro del estado de Veracruz. El río La Antigua nace en las montañas cercanas a la ciudad de Córdoba, Veracruz, de la Sierra Madre Oriental y adquiere una forma amplia gracias al aporte que llega del río de Los Pescados, el cual se forma por los ríos Gavilanes Limón y Chico los que nacen en el volcán Cofre de Perote. El río La Antigua también recibe los aportes de los ríos Barranca Grande, Cozolapa y Zacoapan.

La litología de la cuenca del río La Antigua está representada principalmente por rocas sedimentarias de la Sierra Madre Oriental del Mesozoico y rocas ígneas extrusivas del eje Neovolcánico (principalmente del volcán Cofre de Perote) del Cenozoico.

## **II.3. Cuenca del río Jamapa**

En la parte centro superior de la zona de estudio se localiza la cuenca del río Jamapa (Fig. II.3.), la cual se encuentra ubicada entre los 18°45' y 19°14' latitud norte, y entre 95°56' y 97°17' longitud oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 3 912km<sup>2</sup>, distribuida totalmente dentro del estado de Veracruz.

El río Jamapa nace en las vertientes del Pico de Orizaba y se une a los ríos Cotaxtla, Huatusco y Totolapan, alimenta a la laguna de Mandinga y desemboca en Golfo de México, en la población de Boca del Río, Veracruz.

La litología principal se encuentra representada por rocas ígneas intermedias y félsicas como lahares, depósitos volcánicos y tobas andesíticas, existen también rocas sedimentarias como calizas, calizas-lutita, arenisca-lutita, aluvión constituido de arenas limos y gravas

La cuenca se encuentra frente a una área marina que comprende 23 arrecifes de diferentes tamaños, formas y profundidad, distribuidos en 2 grandes grupos separados por la desembocadura del río Jamapa.

La cercanía de los arrecifes a la costa, le confiere una gran importancia ecológica al área; ya que la zona arrecifal sirve como barrera de la protección contra huracanes y Nortes a la ciudad, puerto de Veracruz y localidades adjuntas debido a que la presencia de arrecifes de coral como los que se encuentran en el Sistema Arrecifal Veracruzano disminuyen tanto el oleaje, como la

velocidad de la corriente, generando zonas de calma (lagunas arrecifales) y disminuyendo la resuspensión de sedimentos, ofreciendo refugio tanto a especies marinas de aguas abiertas como a las especies propias del arrecife.

#### **II.4. Cuenca del río Papaloapan**

Al sur de la zona de estudio se encuentra la cuenca del río Papaloapan (Fig. II.3.), la cual se ubica geográficamente entre los 16°55' y 19°03' latitud norte, y los 94°40' y 97°48' longitud oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 46 517 km<sup>2</sup>, distribuida porcentualmente en los estados de Oaxaca (51%), Veracruz (37%) y Puebla (12%).

El sistema hidrográfico del Papaloapan es el segundo del país por su caudal, vierte 47,000 millones de metros cúbicos anuales a la Laguna de Alvarado y sus más importantes afluentes son los ríos Blanco, Tonto (controlado por la presa Miguel Alemán), Santo Domingo (controlado por la presa Miguel de la Madrid Hurtado), Usila, Valle Nacional, San Juan, Tesechoacán y Obispo (López-Cortés, 1992). Otros ríos que forman parte de la cuenca que provienen del sistema hidrológico de los Tuxtlas son el río Hueyapan, que desemboca al San Juan, mismo que recoge las aguas del volcán de San Martín Tuxtla, para después desembocar en la laguna de Alvarado.

La litología en el área es principalmente aluvión y suelos cuaternarios, rocas volcánicas del Cenozoico de composición máfica-intermedia, rocas clásticas sedimentarias calcáreas del Cenozoico y Mesozoico y rocas metamórficas comprimidas como esquistos y Gneises de edad Paleozoica y Precámbrica.

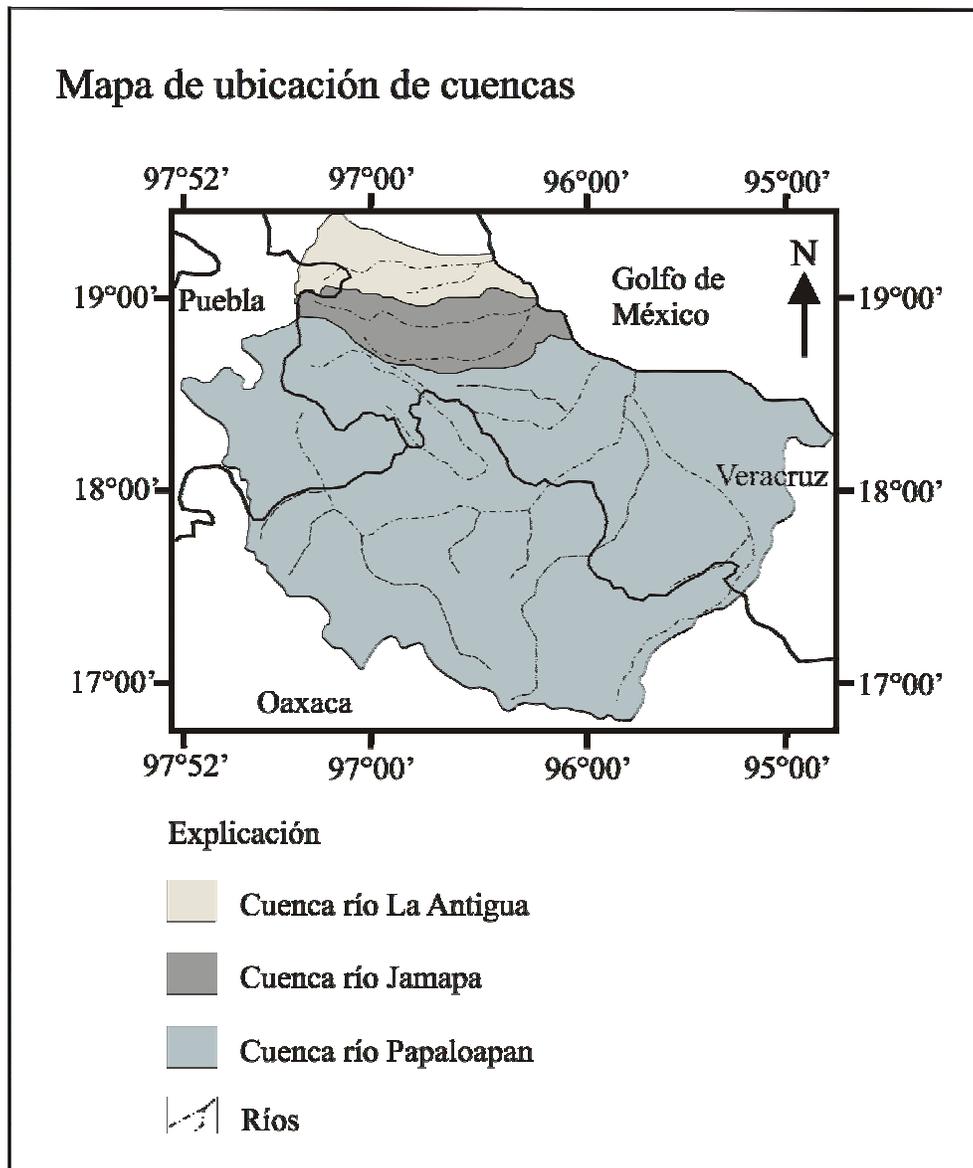


Figura II.3. Mapa de ubicación de las cuencas (modificado de Pereyra-Díaz y Pérez-Sesma, 2005).

### **III. METODOLOGÍA**

El material utilizado para el presente trabajo, se obtuvo como parte de la Campaña Oceanográfica SAV-II Tierra (Sistema Arrecifal Veracruzano II), realizada del 11 al 19 de agosto del 2008, dentro del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), No. INI08808, titulado "Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales", del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología a cargo de la Dra. Leticia Rosales Hoz.

#### **III.1. Trabajo de campo**

Se recolectaron muestras de arena de playas correspondientes a 11 localidades, ubicadas frente al Sistema Arrecifal Veracruzano, en el Golfo de México (Fig. II.1.), en donde se tomaron muestras superficiales de las zonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya cuando se presentaba un cambio en el perfil de cada subzona; también se muestreó al pie de las dunas. Se colectaron muestras superficiales, obteniéndose un total de 39 muestras.

Se realizó un perfil topográfico (Lám. III.1.) de playa con nivel y estadal en cada punto muestreado y se registró posición, hora y fecha.



Lámina III.1. Playa 2 (Mocambo). Levantamiento del perfil de playa.

#### **III.2. Trabajo de laboratorio**

Las muestras se analizaron en el laboratorio de sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Se tomó parte de las muestras en cápsulas de porcelana y se secaron con el calor de lámparas (Lám. III.2.). Se determinó el color en húmedo de las muestras y el color después de su secado de acuerdo con las tablas de color de Münsell (Münsell Color Chart Company, 1975).

El tamizado de las muestras se llevó a cabo, siguiendo el procedimiento sugerido por Folk (2002).

El análisis granulométrico tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas clásticas tal como se depositaron. Dicho análisis del material de las arenas de playa se procesó utilizando una serie de tamices estándar U.S., con un intervalo de  $1/4\phi$  de acuerdo con el procedimiento sugerido por Folk (2002).

Se pesó la muestra y se ordenaron los tamices por orden de malla utilizando una serie de  $-1\phi$  hasta  $4\phi$ . La serie se colocó en el Ro-tap (Lám. III.3.), se vertió la muestra en el primer tamiz, y se dejó durante 15 minutos. Se pesó la muestra de cada tamiz con balanza analítica de 0.001 g, para obtener el peso acumulativo de cada fracción en porcentaje. Posteriormente, las muestras se almacenaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas.



Lámina. III.2. Se observan las muestras en el proceso de secado.



Lám. III.3. Ro-tap con serie de tamices.

Los parámetros texturales calculados fueron: tamaño gráfico promedio ( $Mz\phi$ ), la desviación estándar gráfica inclusiva ( $\sigma\phi$ ), grado de asimetría gráfica  $S_{ki}$  y curtosis  $K_G$ , siguiendo el

procedimiento y las formulas para obtener los parámetros texturales se realizaron utilizando la metodología de Folk (2002).

Para calcular el promedio del tamaño de grano se utilizó la fórmula

$Mz\phi = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$ , esta medida se aproxima mucho al promedio y está basada en tres puntos de la curva acumulativa.

La clasificación de las arenas estudiadas se realizó de acuerdo con su tamaño y utilizando la escala de Wentworth (Tabla III.1.).

Tabla III.1. Escala de tamaño de Wentworth.

Escala Wentworth	Phi ( $\phi$ )
Arena gruesa	0-1 $\phi$
Arena media	1-2 $\phi$
Arena fina	2-3 $\phi$

La desviación estándar gráfica inclusiva ( $\sigma_1\phi$ ) (Folk, 1974), depende en gran medida de la fuente de origen y el tiempo de transporte que ha sufrido el sedimento así como su extensión, la cual se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

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

Y cuyos parámetros de acuerdo con Folk (2002) son los siguientes:

< 0.35 $\phi$	muy bien clasificado
0.35 a 0.50 $\phi$	bien clasificado
0.50 a 0.71 $\phi$	moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.0 $\phi$	moderadamente clasificado
1.0 a 2.0 $\phi$	mal clasificado
2.0 a 4.0 $\phi$	muy mal clasificado
> 4.0 $\phi$	extremadamente mal clasificado

Con el grado de asimetría gráfica  $Sk_1$ , se observa como se comporta gráficamente una muestra dependiendo del tamaño de grano predominante; se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Sk_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Las muestras de acuerdo con Folk (2002) pueden ser:

1.00 a 0.30	muy asimétrico hacia los finos
0.30 a 1.10	asimétrico hacia los finos
0.10 a -0.10	Simétrico
-0.10 a -0.30	asimétrico hacia los gruesos
-0.30 a -1.00	muy asimétrico hacia los gruesos

La curtosis es una comparación entre la dispersión de la parte central y la dispersión de los extremos de la curva de frecuencia, y se calcula mediante la fórmula:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Y el resultado de acuerdo con Folk (2002), indica como se distribuye la muestra:

< 0.67	muy platicúrtico
0.67 a 0.90	platicúrtico
0.90 a 1.11	mesocúrtico
1.11 a 1.50	leptocúrtico
1.50 a 3.00	muy leptocúrtico
> 3.00	extremadamente leptocúrtico

Para la determinación de los porcentajes de terrígenos, fragmentos de roca y biógenos se obtuvo una muestra representativa, para lo cual se pasó la misma a través de un cuarteador, se embolsó y se etiquetó debidamente.

Una vez obtenidas las láminas éstas se observaron en un microscopio petrográfico, se identificaron los sedimentos y se contaron 200 granos de diferentes campos de la lámina. En este caso se identificaron cuarzo total = cuarzo monocristalino + cuarzo policristalino, feldespato total = feldespato potásico + plagioclasas, fragmentos de rocas volcánicas, fragmentos de rocas sedimentarias, pedernal, minerales pesados, fragmentos de coral y otros biógenos.

### III.3. Trabajo de gabinete

Se recabó la información obtenida en campo y laboratorio, y se ordenó en computadora. Se realizó el análisis granulométrico una vez obtenidos los parámetros estadísticos, se comenzó, a graficar el número de tamiz ( $\phi$ ) y las frecuencias acumulativas (% peso

acumulado), en papel de probabilidades (semilogarítmico de 90 ciclos), para trazado de las curvas granulométricas de sedimentos. La curva resultante sirvió para identificar los porcentajes de la población generados por procesos de tracción, saltación y suspensión, con base en la metodología de Visher (1969). Se realizó la correlación de Pearson de los parámetros texturales con un nivel de confianza del 95%.

Se ordenó mediante gráficas de Excel, la información obtenida en las curvas granulométricas, parámetros estadísticos, histogramas, resultados de los conteos de las láminas, así como ubicación y nombre de las localidades muestreadas. Se realizaron los mapas de localización del área de estudio, puntos de muestreo, litología sintetizada y localización de cuencas. Asimismo, se llevó a cabo la interpretación de los datos obtenidos en el laboratorio.

#### IV. PERFILES DE PLAYA

La ubicación de los perfiles de playa aparece en la figura II.1. Se puede observar que presentan una pendiente suave y entre 4 y 5 olas de barrido (Fig. IV.1.) El perfil 2 es el más largo (118m y pendiente aproximada de  $21^\circ$ ) y corresponde con la playa Mocambo (Lám. IV.1.). Es el más largo ya que la playa se encuentra en medio de dos espigones separados entre sí unos 150 m, esto protege a la playa de la erosión y hace que la corriente litoral sea casi paralela a la línea de costa.

Por otro lado, el perfil 9 es el más corto (32m, pendiente de aproximadamente  $5^\circ$ ) y corresponde con la playa La Trocha (Lám. IV.2.), la cual se ubica en el lado oeste de la desembocadura del río Papaloapan, tiene dunas estabilizadas y está directamente expuesta a los vientos y oleajes del norte.

Dentro de los perfiles de playa se diferencian 3 zonas: infraplaya (inshore), mesoplaya (foreshore) y supraplaya (backshore), de acuerdo con la terminología propuesta por Carranza y Caso (1994).



Lámina IV.1. Playa 2 Mocambo. Nótese el amplio perfil de playa.



Lámina IV.2. Playa La Trocha. De las playas estudiadas es la más corta.

El perfil 1 (Playa Chalchihuecan) se ubica en la parte norte del área de estudio, su longitud es de 86 m. Esta playa presenta una pendiente de aproximadamente  $21^\circ$  y dunas estabilizadas de aproximadamente 15 m de altura, se trata de una playa expuesta directamente al efecto del oleaje y los vientos.

La playa de Santa Ana (Perfil 3), también tiene una pendiente muy suave (con aproximadamente  $11^\circ$ ) con 5 olas de rompiente y una longitud horizontal de 67 m. Esta playa está resguardada por las escolleras que protegen el canal de navegación del río Jamapa, las cuales retienen el sedimento transportado por corrientes litorales del norte, mientras que el perfil 4 (Isla del Amor) no recibe sedimentos y presenta una longitud menor (45m). De acuerdo con Marín y Carranza (en prensa), el transporte litoral dominante, se puede inferir a través de las interrupciones generadas por obras de ingeniería costera.

El perfil 4, fue realizado en la playa denominada Isla del Amor, la cual presenta pendiente de aproximadamente  $14^\circ$  y una longitud de 45 m, se trata de una playa protegida. La trinchera realizada en esta playa presenta laminaciones claras intercaladas con laminaciones un poco más oscuras (Lám. IV.3.), debido a que se encuentra cerca del río Jamapa y por tanto a sus aportaciones de sedimento.



Lámina IV.3. Trinchera en playa Isla del Amor.

En la construcción de un nuevo fraccionamiento llamado Residencia Lomas del Sol, se ubica el perfil 5 con 47 m de longitud y una pendiente de  $16^\circ$ ; una de las playas de Antón Lizardo es donde se encuentra ubicado el perfil 6. Esta playa presenta dunas cubiertas de vegetación, por lo que ya no fueron consideradas en el perfil, y 85 m de longitud. Las playas 5 y 6 están orientadas Este Oeste (Fig II.1.), lo cual las hace mas expuestas a los fuertes vientos conocidos como Nortes, erosionándose continuamente por el oleaje.

La playa salinas corresponde con el perfil 7 con 40 m de longitud y una pendiente aproximada de  $12^\circ$ , se encontró una duna endurecida (médano) la cual no se tomó en cuenta en la realización del perfil. La trinchera realizada en el perfil presentó laminaciones entre material claro y otro más oscuro (Lám. IV.4.).



Lámina IV.4. Trinchera en Playa Salinas.

El perfil número 8 fue realizado en la playa Arbolillo, tiene una longitud de 50 m y presenta dunas estabilizadoras. Se trata de una playa expuesta con 5 olas de rompiente y pendiente de  $16^\circ$  aproximadamente.

La playa de Agua Azul, es una de las playas de Lerdo de Tejada, en donde se realizó el perfil 10, el cual presenta un escalón de playa de 20 cm (Lámina IV.5.), frente de playa, dunas estabilizadoras y 54 m de longitud con pendiente de  $21^\circ$ .



Lámina IV.5. Playa Agua Azul.

El perfil número 11 se localiza en una de las playas de Montepío, el cual cuenta con 45 m de longitud, cinco olas de rompiente y pendiente de aproximadamente  $21^\circ$ , se trata de una playa expuesta. La trinchera en este perfil presenta laminaciones entre un material claro y otro más oscuro, así como diferencias de tamaño, debido a diferentes periodos de depósito (Lám. IV.6.).



Lámina IV.6. Trinchera en Playa Montepío.

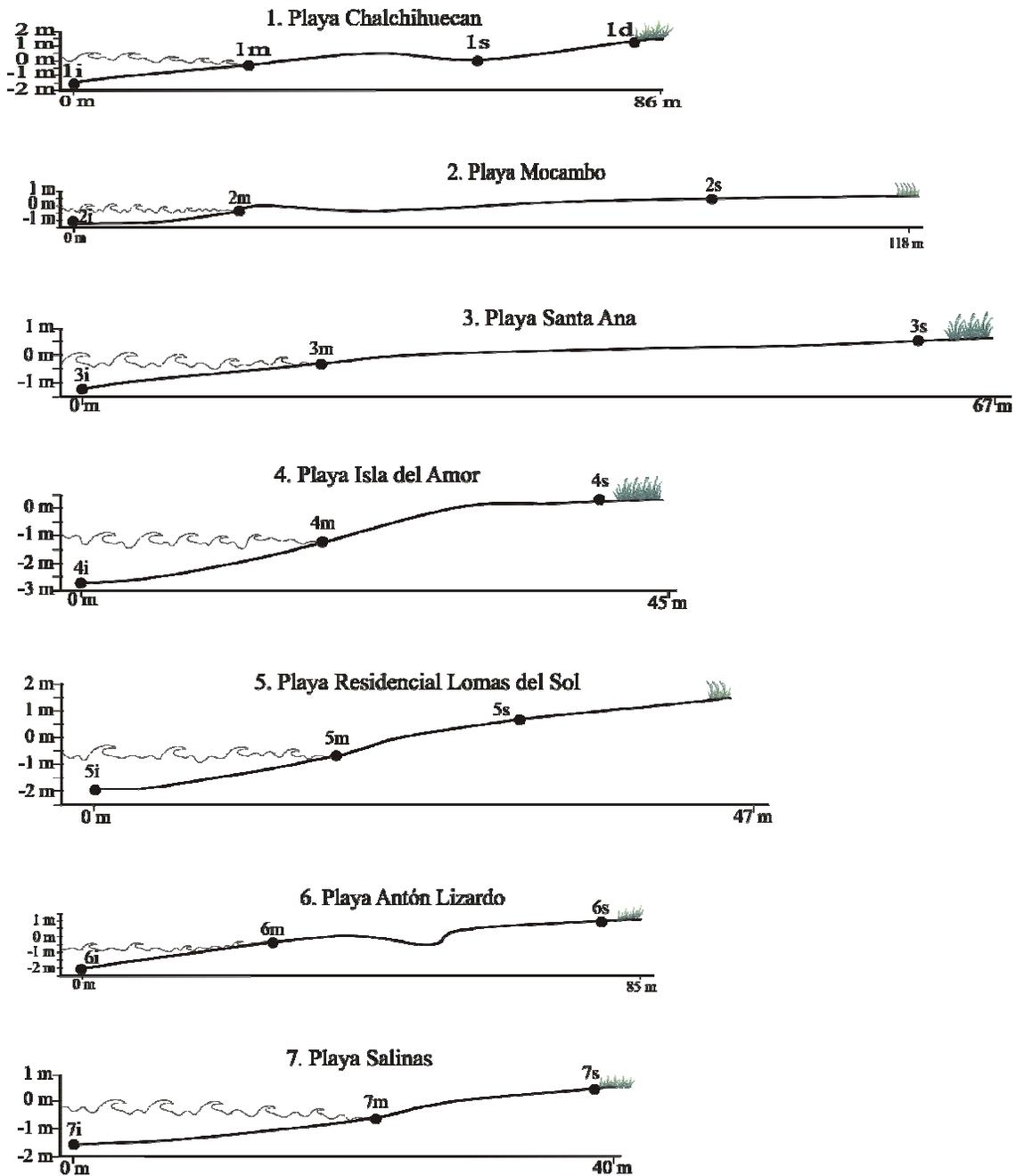


Figura IV.1. Perfiles de playa. Las escalas gráficas de los perfiles de playa se adecuaron según su extensión, conservándose siempre una escala vertical exagerada 2X. Los perfiles más largos fueron los de las playas 1, 2 y 6. Las muestras colectadas están representadas por el número del perfil y la letra corresponde con las zonas de playa (i = infraplaya, m = mesoplaya, s = supraplaya, d = duna, ed = escalón de duna y pd = pie de duna).

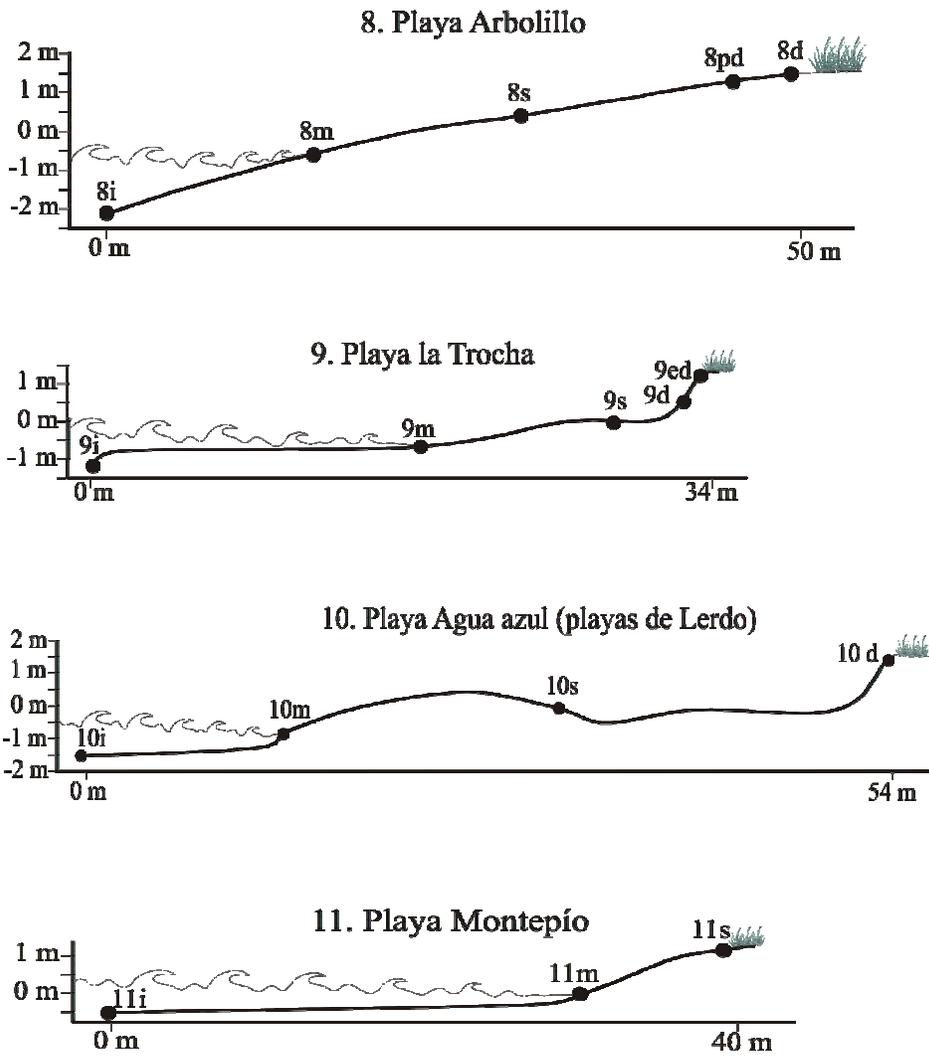


Figura IV.1. Perfiles de playa (continuación).

## **V. ANÁLISIS TEXTURAL**

### **V.1. Tamaño gráfico promedio**

El valor promedio general del  $Mz\phi$  (tamaño gráfico promedio) resultó ser de  $2.15\phi$ . No obstante, se puede decir que los tamaños dominantes de los sedimentos de playa estudiados, corresponden con arenas finas y medias (Tabla V.1., Fig. V.1.). Solamente se encontró arena gruesa en la muestra de infraplaya de Lomas del Sol (Lám.V.1.), en la muestra 5i, la cual se clasifica como arena gruesa. Como el muestreo se hizo en la época de lluvias, la mayoría de las muestras de infraplaya estuvieron afectadas directamente por las descargas de sedimentos lodosos de los ríos, produciendo una disminución en el tamaño de partícula. Esto no fue así para las muestras de infraplaya de Lomas del Sol y La Trocha, en las cuales las descargas fluviales de lodos no se aproximaban a la línea de costa. Por ello, el tamaño de partículas es mayor en la zona de infraplaya que en la de supraplaya (Tabla V.1.).

El hecho de que la mayoría de las muestras estén ubicadas en el tamaño de grano de arenas finas a medias, se debe posiblemente a que casi todas las playas muestreadas se encuentran expuestas a la energía de las olas y al transporte por corrientes litorales a lo largo de la línea de costa. Tanto el oleaje como las corrientes litorales, son responsables de la disminución del tamaño de partículas por el choque que se produce entre ellas, durante la saltación de las mismas. Esto también se asocia con que la mayoría de las muestras se encuentran ubicadas en una amplia llanura costera que de acuerdo con Carranza-Edwards (2001), favorece la presencia de partículas de grano más fino y una mejor clasificación, ya que los clásticos tienen periodos más largos de abrasión. Debido a una disminución de la llanura costera, donde se encuentran ubicadas las playas P9 y P10, próximas a la influencia de los Tuxtles, se observó que las muestras son más gruesas (arenas medias), como se ve en la Tabla V.1.

Tabla V.1. Parámetros texturales de las arenas de playas estudiadas.

Muestra	$Mz_{I(\phi)}$	$\sigma_{I(\phi)}$	$Sk_I$	$K_G$
1i	2.478	0.531	-0.346	1.183
1m	2.579	0.356	-0.156	1.059
1s	1.462	0.583	0.111	0.939
1d	2.471	0.387	-0.130	1.063
2i	2.672	0.547	-0.441	1.366
2m	2.166	0.744	-0.174	0.767
2s	2.922	0.325	0.033	1.629
3i	2.778	0.551	-0.397	1.698
3m	2.622	0.564	-0.452	1.194
3s	2.889	0.318	-0.047	1.684
4i	2.803	0.477	-0.321	1.381
4m	1.739	1.100	-0.011	0.688
4s	1.239	0.597	-0.007	0.977
5i	0.875	0.901	-0.019	0.829
5m	1.544	0.556	-0.141	1.193
5s	2.009	0.567	-0.099	1.123
6i	2.183	0.771	-0.373	1.135
6m	2.565	0.483	-0.355	1.187
6s	2.523	0.461	-0.206	1.062
7i	2.215	0.580	-0.245	1.039
7m	2.330	0.448	-0.109	1.002
7s	2.138	0.473	-0.118	1.035
8i	2.275	0.581	-0.020	1.080
8m	2.031	0.359	-0.066	1.062
8s	2.594	0.411	0.059	1.092
8ed	2.834	0.351	0.015	0.963
8d	2.716	0.414	0.007	1.017
9i	2.023	0.510	-0.233	1.007
9m	2.128	0.496	-0.288	1.341
9s	2.360	0.385	-0.048	1.110
9ed	2.768	0.414	0.016	1.169
9d	2.357	0.329	0.055	1.051
10i	1.429	0.411	-0.163	1.134
10m	1.288	0.392	-0.200	1.066
10s	1.597	0.366	0.015	1.150
10d	1.684	0.436	0.084	1.149
11i	1.507	0.359	0.016	0.833
11m	1.547	0.326	0.028	1.134
11s	1.503	0.373	-0.102	1.297
Promedio	2.150	0.493	-0.124	1.125
Des.Est.	0.542	0.164	0.156	0.216

Nota: La nomenclatura se presenta en el Anexo 1

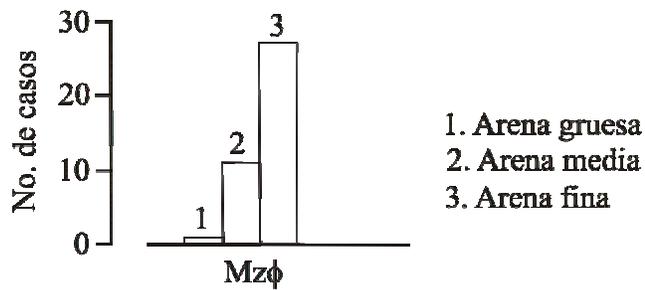


Figura V.1. Histogramas para el tamaño gráfico promedio ( $Mz(\phi)$ ).



Lámina V.1. Perfil 5 (Residencial Lomas del Sol).  
Nótese la fuerte pendiente del frente de playa.

Las muestras 2m y 3m son ligeramente de tamaño más grueso respecto a las demás zonas muestreadas en las respectivas playas, esto es debido a que se encontró un mayor porcentaje de biógeno en la zona de mesoplaya lo que incrementa el tamaño de grano.

La playa 4, se encuentra cerca de la desembocadura del río Jamapa, éste no tiene influencia suficiente sobre los sedimentos de mesoplaya y supraplaya ya que la granulometría de estas zonas es de arena media, mientras que en la zona de infraplaya hay arena fina debido a la mezcla de sedimentos lodosos del río Jamapa.

Las playas 6, 7, 8 y 9 presentan ligeras variaciones en su tamaño gráfico promedio, pero conservan un tamaño de grano de arena fina, para todas las zonas muestreadas.

## V.2. Desviación estándar gráfica inclusiva

Con excepción de la muestra 4m que es mal clasificada, ya que su  $\sigma_1(\phi)$  es la más alta de todas las muestras con un valor de 1.100 (Tabla V.1., Fig. V.2.) lo que la asocia con una gran variabilidad de tamaños. Los valores de  $\sigma_1(\phi)$  de las demás muestras son menores que  $1.00 \phi$ , por lo que se encuentran en los intervalos de muy bien clasificadas, bien clasificadas y moderadamente bien clasificadas. Por otra parte, si se toma en cuenta el promedio de  $\sigma_1 \phi = 0.493$  se tiene una tendencia general de bien clasificadas, que indica poca variación entre el tamaño de grano.

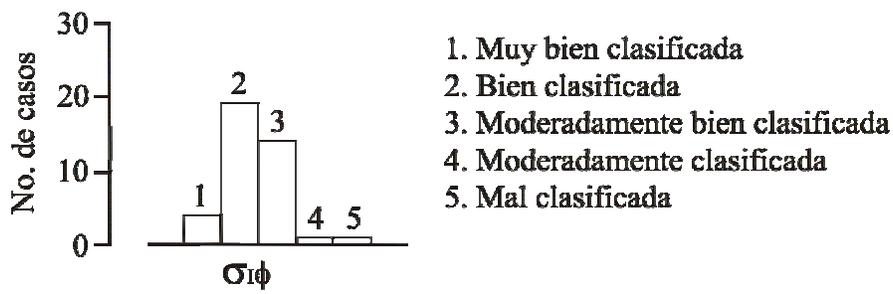


Figura V.2. Histogramas para la desviación estándar gráfica inclusiva ( $\sigma_1\phi$ ).

La tendencia hacia una buena clasificación, se puede relacionar con el tamaño de grano fino que tienen la mayoría de las muestras, ya que de acuerdo con Folk (2002), los sedimentos tienden a presentar una mejor clasificación, cuando su tamaño promedio está entre  $2 \phi$  y  $3 \phi$  (arenas finas), por lo que la clasificación de los sedimentos puede depender del tamaño de las partículas. Hecho que también se relaciona con la ubicación de casi todas las muestras estudiadas en una amplia llanura costera, que favorece las partículas de tamaño de grano fino y se asocian con una mejor clasificación de los sedimentos (Carranza-Edwards, 2001).

## V.3. Grado de asimetría

Respecto al  $Sk_1$  las muestras se distribuyen desde -0.452 hasta 0.156, correspondientes con asimétricas hacia los tamaños finos, simétricas, asimétricas hacia los tamaños gruesos y muy asimétricas hacia los tamaños gruesos. Tienen en general una tendencia de asimétricas hacia los tamaños gruesos, de acuerdo con el promedio de  $Sk_1 = -0.124$  (Tabla V.I.),

aunque en el histograma se observa un mayor número de casos que se distribuyen de forma simétrica (Fig. V.3.).

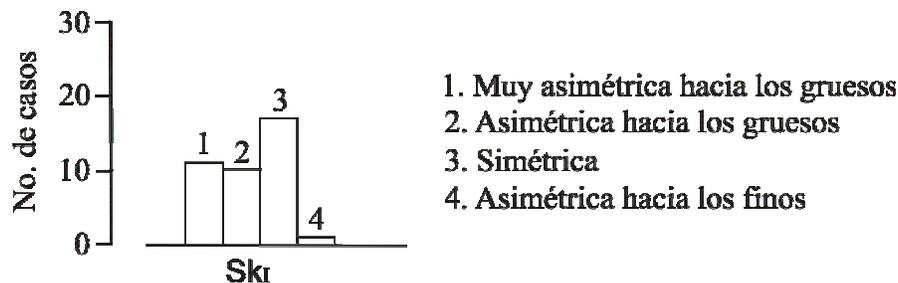


Figura V.3. Histogramas para la asimetría ( $Sk_I$ ).

Las muestras de arena de dunas en general presentaron valores de asimetría positivos, los cuales indican una distribución simétrica que de acuerdo con Folk (2002) es debido a un exceso de material fino que el viento transporta más fácilmente. Las muestras de duna también presentaron una buena clasificación y un tamaño de grano fino. Una excepción de la muestra 1d, que aunque es bien clasificada y con un tamaño de grano fino como las anteriores, ésta es asimétrica hacia tamaños gruesos (debido a su valor de  $Sk_I$  negativo) posiblemente, debido a la influencia del viento de supraplaya (1s) la cual es de tamaño de grano más grande (arena media) hacia las dunas.

Por el contrario, las muestras de arena de playas, principalmente las correspondientes con las zonas de infraplaya y mesoplaya, presentan una asimetría negativa y se distribuyen principalmente desde muy asimétricas hacia los tamaños gruesos y asimétricas hacia los tamaños gruesos; esto es debido a que el oleaje deja en la playa la porción gruesa de sedimentos y arrastra preferentemente el material mas fino, por lo que hay un exceso de material grueso.

#### V.4. Curtosis gráfica

Las muestras se distribuyen principalmente en curvas mesocúrticas y leptocúrticas, lo que indica una mayor distribución de las curvas hacia el centro. Por otra parte, también hay una menor proporción de muestras platicúrticas con un mayor intervalo de tamaños que producen curvas de frecuencia aplanadas y muy leptocúrticas (Fig. V.4.).

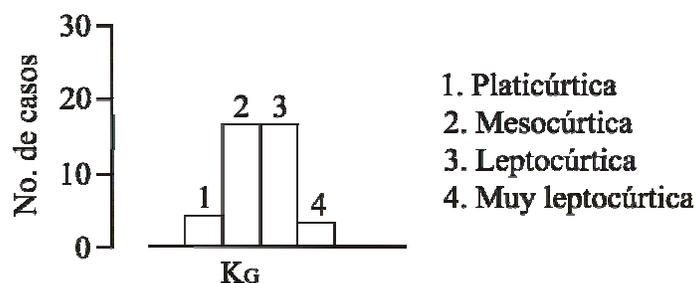


Figura V.4. Histogramas para la curtosis gráfica ( $K_G$ ).

La distribución principal de las muestras en curvas mesocúrticas y leptocúrticas, indica sedimentos poco dispersos es decir, con poca diferencia de tamaños de grano (bien clasificados), lo reitera nuevamente la tendencia a una buena clasificación en los sedimentos estudiados. Por otra parte, una distribución platicúrtica significa que los sedimentos están muy dispersos o existe gran diferencia en los tamaños de grano (mal seleccionados), por lo que la curtosis también es una medida de clasificación que depende del tamaño de grano. Esto último se puede observar en la muestra 4m, la cual resultó ser la única muestra mal clasificada y platicúrtica, o en la muestra 5i que es la única moderadamente clasificada, además de ser la única con tamaño de grano grueso por lo que presenta una distribución platicúrtica (Fig. V.5).

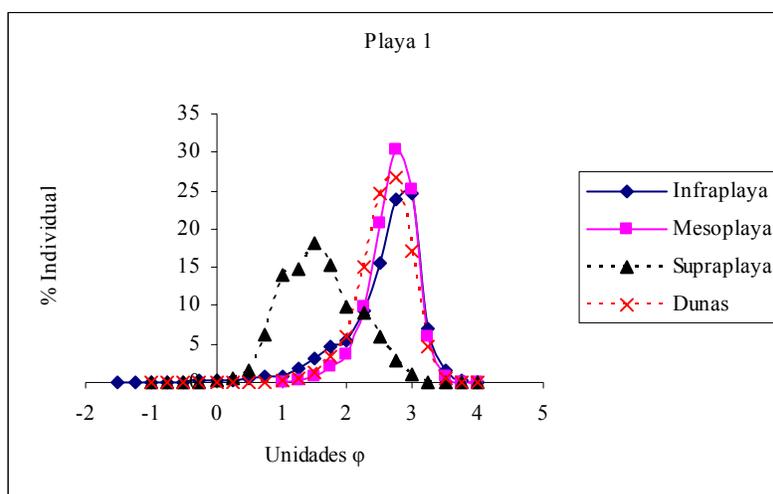


Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas en las playas estudiadas.

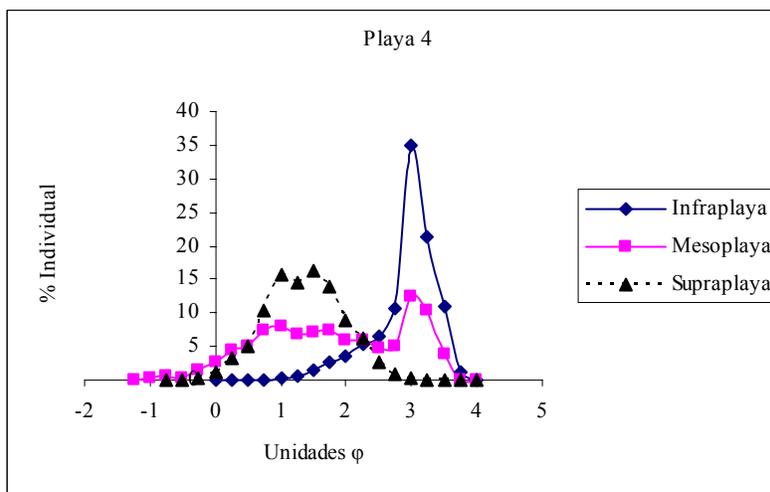
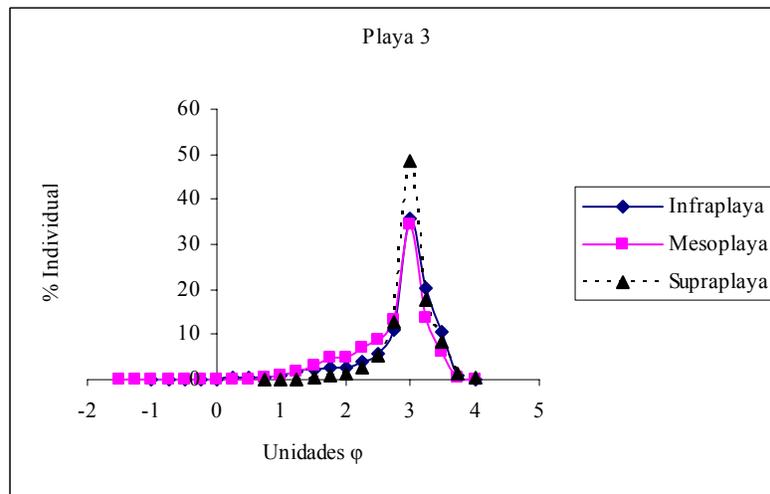
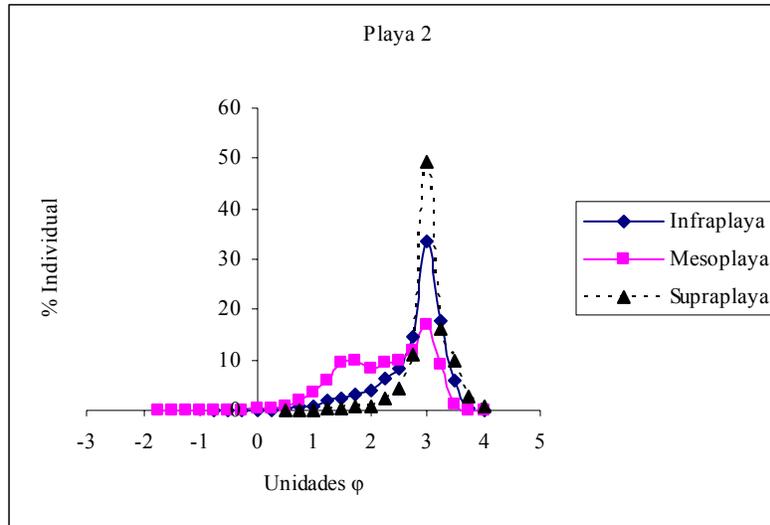


Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas en las playas estudiadas (continuación).

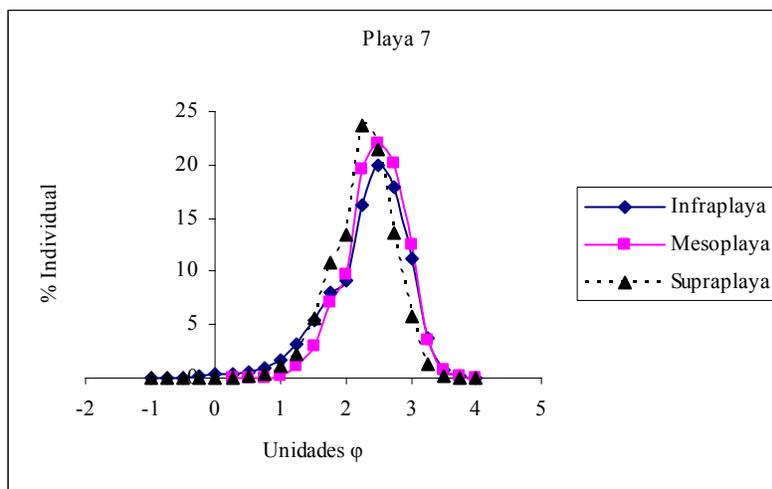
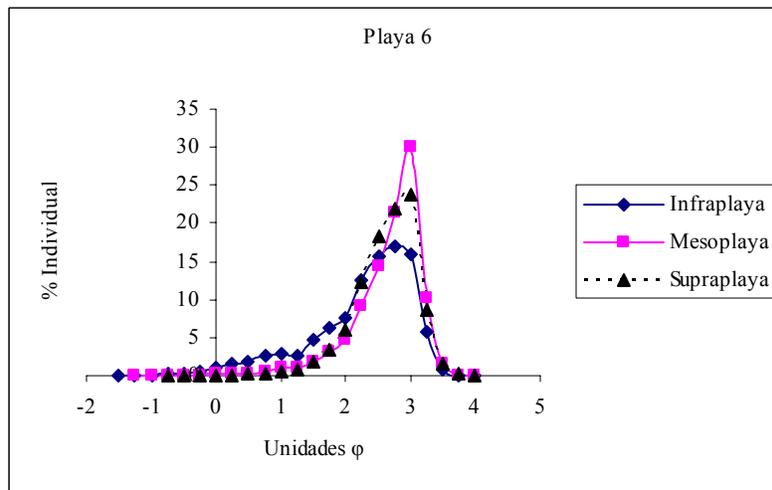
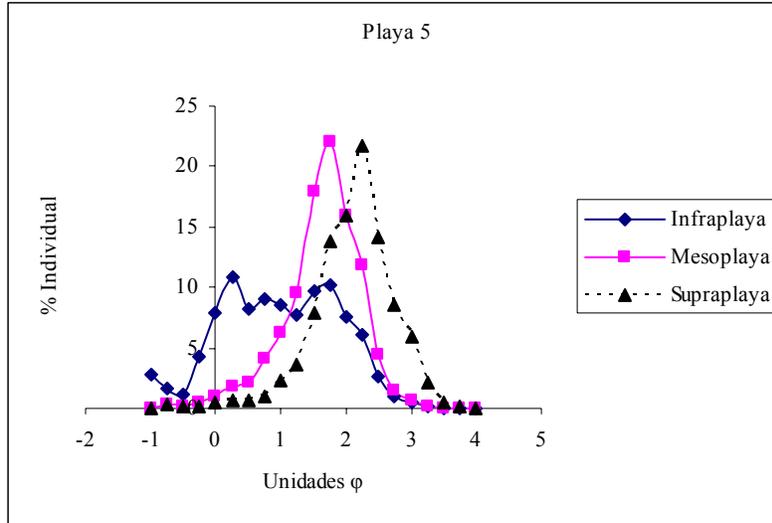


Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas en las playas estudiadas (continuación).

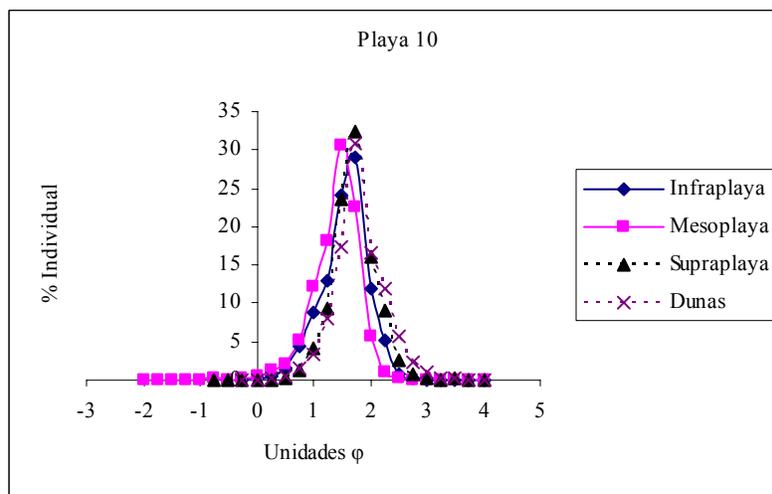
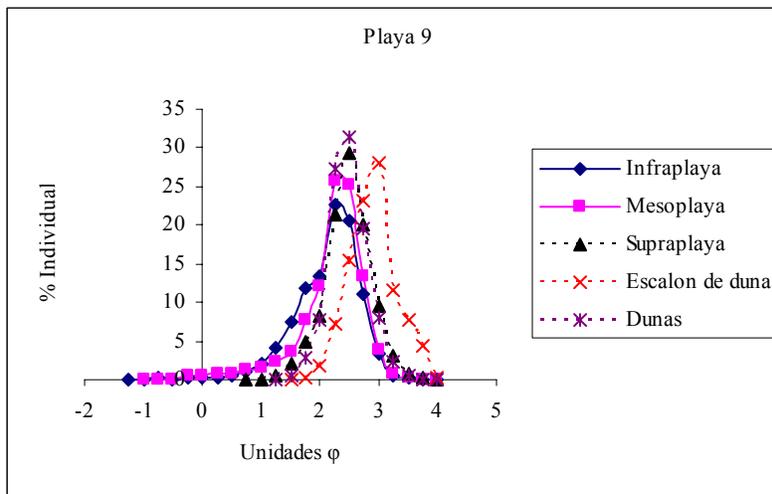
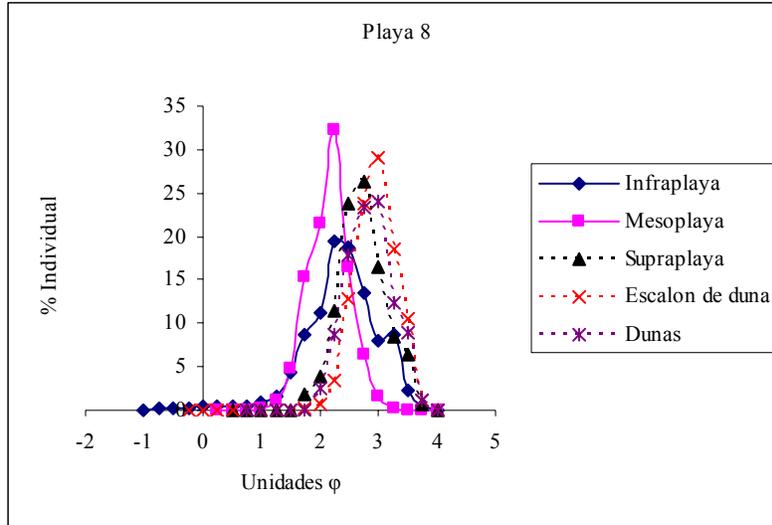


Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas en las playas estudiadas (continuación).

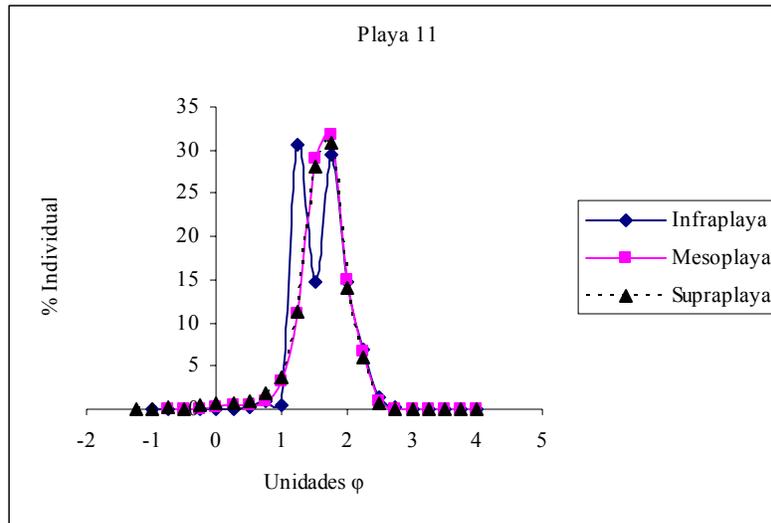


Figura V.5. Gráficas de las zonas muestreadas en las playas estudiadas (continuación).

### V.5. Correlación de Pearson

En la correlación de Pearson, de los parámetros texturales (Tabla V.3.) con un nivel de confianza del 95%, muestra una buena correlación sólo para la curtosis gráfica ( $K_G$ ), contra los demás parámetros. Por lo que las gráficas se realizaron de acuerdo a la correlación.

Tabla V.2. Matriz de correlación de los parámetros texturales;  $n=37$ , Nivel de significancia del 95% en valores mayores que 0.325.

	$Mz_{I(\phi)}$	$\sigma_{I(\phi)}$	$Sk_I$	$K_G$
$Mz_{I(\phi)}$	1.00	-0.29	-0.30	0.48
$\sigma_{I(\phi)}$		1.00	-0.20	-0.41
$Sk_I$			1.00	-0.33
$K_G$				1.00

En la gráfica de tamaño gráfico promedio contra curtosis gráfica (Fig. V.5.) de acuerdo con la correlación de Pearson, se observa como a mayor valor de  $Mz_{I(\phi)}$  hay un mayor valor de  $K_G$ . Lo que implica que a menor tamaño de grano la dispersión de las muestras tiende más hacia el centro (platicúrticas).

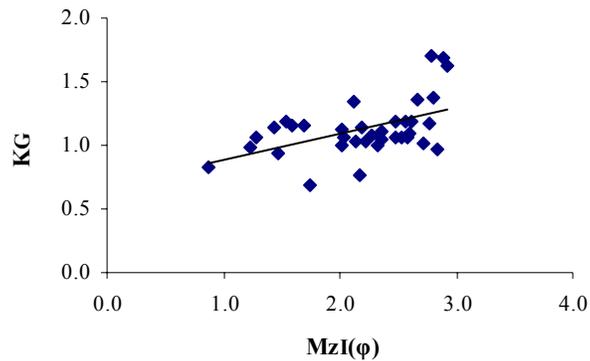


Figura V.6. Gráfica de tamaño gráfico promedio contra curtosis gráfica.

Para la gráfica de tamaño gráfico promedio contra desviación estándar gráfica inclusiva (Fig. V.6.), se tiene una correlación de Pearson negativa y una pendiente también negativa, por lo que entre menor es el valor de  $\sigma_{I(\phi)}$  mayor es el valor de  $K_G$ . Lo que indica que a mayor clasificación, mayor dispersión de la muestra hacia el centro o bien que entre mejor seleccionados, estén los sedimentos tenderán a estar poco dispersos.

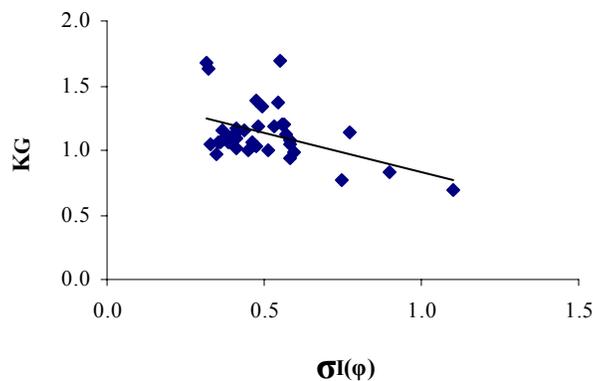


Figura V.7. Gráfica de tamaño gráfico promedio contra desviación estándar gráfica inclusiva.

En la gráfica de tamaño gráfico promedio contra grado de asimetría gráfica (Fig. V.7.), se puede ver como a mayor valor de  $Sk_I$  hay un menor valor de  $K_G$ . Por lo que entre más asimétrico hacia los tamaños finos, se tiene una tendencia a una dispersión hacia los lados.

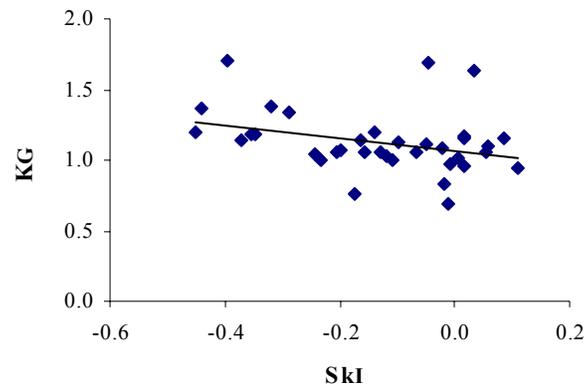


Figura V.8. Gráfica de tamaño gráfico promedio contra grado de asimetría gráfica.

#### **V.6. Poblaciones en tracción saltación y suspensión**

Un ejemplo de las curvas de frecuencias acumulativas trazadas en papel de probabilidades se observa en la Figura V.5. de acuerdo con Visher (1969), en las curvas de distribución granulométrica se pueden identificar subpoblaciones como segmentos rectos en las curvas de frecuencias acumulativas, generados por procesos de tracción, saltación y suspensión.

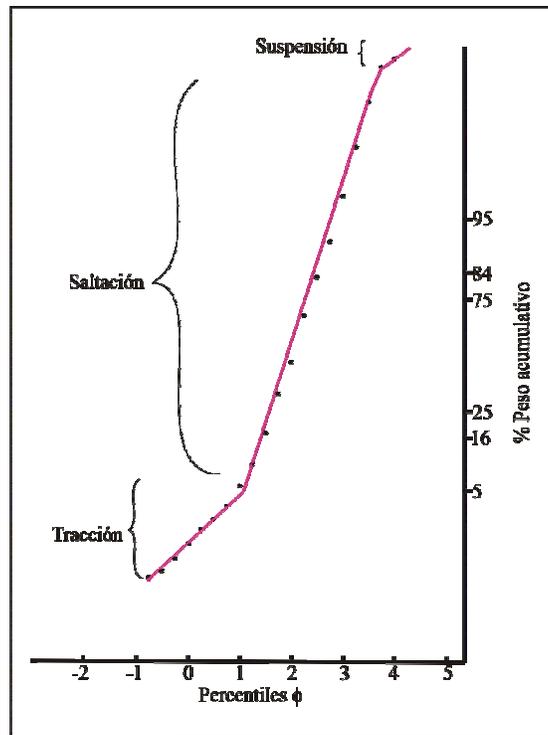


Figura V.9. Ejemplo de curva de frecuencia (muestra 5s) acumulativa, de acuerdo con Visher (1969).

En la tabla V.2. se observa que en promedio el 97% de las muestras de arena fueron transportadas por saltación, el 2.3% por tracción y sólo un 0.7% por suspensión. Por lo que cada subpoblación difiere de la otra en el tamaño gráfico promedio, desviación estándar gráfica inclusiva, grado de asimetría y curtosis gráfica. Esto se debe a los diferentes procesos dinámicos en su transporte, dominando generalmente la saltación en el ambiente de playa.

El hecho de que las muestras 2i y 3i, que presentan unos de los más altos porcentajes de tracción posiblemente se deba a que las playa 2 y 3, contienen una gran cantidad de biógenos, por otra parte, 1m y 1d aunque en una menor cantidad, también incluyen biógenos.

Tabla V.3. Porcentajes de distribuciones del tamaño de grano.

Muestra	% Tracción	% Saltación	% Suspensión
1i	2.7	95.4	1.9
1m	16.9	82.2	0.9
1s	2.5	96.4	1.1
1d	11.3	88	0.7
2i	9.7	84.1	6.2
2m	1.7	96.8	1.5
2s	0.5	95.7	3.8
3i	9.3	89.6	1.1
3m	0.4	99.1	0.5
3s	5.1	92.8	2.1
4i	0.4	98.3	1.3
4m	1.3	98.3	0.4
4s	1.7	97.8	0.5
5i	5.6	94.0	0.4
5m	0.4	99.5	0.1
5s	5.7	94.2	0.1
6i	0.3	99.6	0.1
6m	0.1	99.8	0.1
6s	3.9	94.1	2
7i	0.2	99.6	0.2
7m	0.1	99.7	0.2
7s	0.3	99.5	0.2
8i	1.0	98.9	0.1
8m	0.3	99.6	0.1
8s	0.5	99.4	0.1
8pd	0.1	99.8	0.1
8d	0.0	99.9	0.1
9i	2.6	97.3	0.1
9m	0.3	99.7	0.0
9s	0.0	99.8	0.2
9ed	0.0	99.7	0.3
9d	0.0	100.0	0.0
10i	0.2	99.7	0.05
10m	0.4	98.6	1.0
10s	0.1	99.8	0.1
10d	0.0	99.1	0.1
11i	1.5	98.0	0.5
11m	0.4	99.5	0.1
11s	1.7	98.1	0.2
Promedio	2.3	97.0	0.7
Des. Est.	3.7	4.3	1.2

## VI. ANÁLISIS PETROLÓGICO

El análisis petrológico, se enfocó únicamente a la parte mineralógica y a los fragmentos de roca. Se utilizaron 8 campos para el conteo de granos de arenas de playa: 1) cuarzo, 2) feldespatos, 3) fragmentos de rocas volcánicas (FRV), 4) fragmentos de rocas sedimentarias (FRS), 5) pedernal, 6) minerales pesados (M.P.), 7) fragmentos de coral (F.C.), 8) otros biógenos (O.B) (Tabla VI.1., Anexo II).

Las áreas de estudio se pueden caracterizar como “playas terrígenas” cuyos componentes (minerales terrígenos), son derivados de la erosión de áreas-fuente continentales. De acuerdo con Folk (2002), la abundancia de los minerales terrígenos depende de tres factores: (1) disponibilidad natural: El mineral debe estar presente con suficiente abundancia en el área fuente, (2) resistencia a la acción mecánica, por lo que los minerales con dureza mayor presentarán menor abrasión que los minerales suaves y (3) estabilidad química cuyo orden es aproximadamente al inverso de la serie de reacción de Bowen.

De acuerdo con el orden de abundancia se observa, que en general para todas las playas estudiadas la abundancia del cuarzo en las muestras varía desde 1% hasta 53%, con un promedio de 24.1%. Los feldespatos se presentan con una abundancia que va desde 0.5% hasta 36.5%, con un promedio de 20.0%.

Los fragmentos de rocas sedimentarias varían desde 2% hasta 37.5%, con un promedio de 16.9%. La abundancia de los fragmentos de rocas volcánicas se encuentra desde 2.5% hasta 43%, con un promedio de 15.8%. Los minerales pesados se encuentran desde 2% hasta 57%, con un promedio de 13.9%. La abundancia de pedernal varía desde 0% hasta 16%, con un promedio de 4.4% el cual procede principalmente de las rocas sedimentarias. Los biógenos se presentan con una abundancia desde 0% hasta 24.5%, con promedio de 4.2%. Mientras que los más escasos son los fragmentos de coral los cuales van desde 0% hasta 7%, con un promedio de 0.7% (Tabla VI.1.).

La cuenca del río La Antigua tiene principalmente una litología compuesta por rocas ígneas (Cofre de Perote, Eje Neovolcánico Transmexicano) y rocas sedimentarias de la Sierra Madre Oriental además de materiales de acarreo aluvial (arcillas rojizas y conglomerados). La playa Chalchihuecan, se encuentra ubicada en esta cuenca (Fig. II.1.).

En la cuenca del río La Antigua se encuentra un porcentaje importante de fragmentos de rocas volcánicas y rocas sedimentarias 21.6% y 20.9% respectivamente, esto posiblemente a que es una cuenca de menor tamaño, con respecto a las demás cuencas estudiadas, por lo que las áreas fuentes de sedimentos se encuentran más cercanas. Por otra parte, presenta el menor porcentaje de minerales pesados 5.8%, lo que podría indicar poco transporte de los sedimentos por lo que estos no alcanzan a disgregarse en sus componentes minerales.

El porcentaje de 26.4% de cuarzo encontrado en las muestras posiblemente proceda principalmente de las dunas ya que cuenta con un amplio perfil (86m), aunque también presenta aportes de las rocas ígneas y sedimentarias. Por otra parte, se tiene un menor porcentaje de feldespatos 16.6%. Se observa además un porcentaje de fragmentos de coral de 0.4%, provenientes de los arrecifes cercanos y un 5.5% de otros biógenos.

La cuenca del río Jamapa presenta una litología dominada por rocas ígneas intermedias y félsicas (lahares, depósitos volcánicos y tobas andesíticas), también se encuentran rocas sedimentarias como calizas, calizas-lutita, arenisca-lutita, aluvión constituido de arenas limos y gravas. Las playas Mocambo, Santa Ana, Isla del amor, Lomas del Sol y Antón Lizardo, se encuentran en esta cuenca. En el área marina existen 23 arrecifes de diferentes tamaños, formas y profundidad, distribuidos en 2 grandes grupos separados por la desembocadura del río Jamapa.

En esta cuenca existe el mayor porcentaje de feldespatos (22.3%), con respecto a las demás cuencas de estudiadas. Estos proceden de las rocas ígneas intermedias y félsicas que entre sus principales minerales constituyentes se encuentran los feldespatos. Aunque se cuenta con un porcentaje importante de feldespatos éste no se encuentra excesivo. Por el contrario, el porcentaje de cuarzo de 18.6% encontrado en esta cuenca, es menor con respecto a las demás cuencas esto se debe posiblemente a la predominancia de material volcánico andesítico, el cual cuenta con un bajo contenido de cuarzo, por lo que este porcentaje debe ser principalmente de origen sedimentario (calizas o dunas litificadas).

El porcentaje de 16.5% de fragmentos de rocas volcánicas, es posiblemente transportado desde el Pico de Orizaba, lugar en donde nace el río Jamapa, mientras que el porcentaje mayor de fragmentos de rocas sedimentarias posiblemente proceda de los depósitos de

aluvión cercanos a la costa y en menor proporción de las rocas calcáreas debido a su baja resistencia a intemperizarse.

El mayor porcentaje de fragmentos de coral y biógenos se encontró en esta cuenca, 1.7% y 8.9% respectivamente, esto debido a cercanía de los arrecifes de coral separados por la desembocadura del río.

En la cuenca del río Papaloapan la litología principal en el área es de cuatro tipos, sobresalen: 1) aluvión y suelos, 2) rocas volcánicas con composiciones máficas e intermedias, 3) rocas clásticas sedimentarias calcáreas y 4) rocas metamórficas representadas por esquistos y gneises. En esta cuenca se ubican las playas Salinas, Arbolillo, La Trocha y Agua Azul.

La cuenca del río Papaloapan tiene un alto porcentaje de minerales pesados (22.3%), así como laminaciones de éstos de color oscuro en algunas trincheras (Lám. VI.1. y VI.2.), las laminaciones se presentan posiblemente debido a distintos periodos de depósito. Estos minerales proceden de los sedimentos transportados por los ríos Hueyapan y San Juan Evangelista, los cuales provienen del sistema hidrológico de los Tuxtlas y se incorporan al río Papaloapan (CONAGUA, 2005). Otra posible fuente de minerales pesados se encuentra en el nacimiento del río Papaloapan en el estado de Oaxaca, en donde se encuentran gneises y esquistos micáceos. Cabe mencionar que estos sedimentos sufren un gran transporte, por lo que se erosionan en su mayoría quedando sólo los componentes de mayor dureza como la magnetita y el cuarzo.



Lámina VI.1. Trincheras cavadas en Playa Arbolillo, en donde se observa la predominancia de minerales oscuros, con alternancia de claros.



Lámina VI.2. Trincheras en Playa la Trocha, en donde se observan laminaciones de minerales oscuros.

La cuenca del río Papaloapan presenta los porcentajes más bajos de fragmentos de rocas ígneas (10.2%) y sedimentarias (13.4%) respecto a las otras cuencas, esto debido a que esta cuenca es la segunda más grande del país, por lo que los sedimentos transportados por ésta sufren gran erosión, por el contrario presenta el porcentaje más alto de cuarzo (27.9%, debido a la dureza de éste), derivado de las rocas metamórficas, calizas y dunas. Por otra parte, se observa un porcentaje de 21.7% de feldespatos, los cuales proceden principalmente de la influencia del Macizo Volcánico de los Tuxtlas. Los fragmentos de coral están ausentes y se tiene el menor porcentaje de biógenos (0.4%) con respecto a las demás cuencas.

La playa Monte Pio, es la más cercana a los Tuxtlas, por lo que presenta el promedio más alto de fragmentos de rocas volcánicas (36.3%) y el más bajo promedio de feldespatos (4.0%), esto es debido a su cercanía con el área fuente de sedimentos. También existe un alto porcentaje de minerales pesados (22.5%) procedentes de la desintegración de las rocas volcánicas de los Tuxtlas. En esta playa no se localizaron fragmentos de coral, debido a que es la más alejada de los arrecifes de Veracruz, y presenta un escaso porcentaje de biógenos de tan solo 0.7%.

Tabla VI.1. Composición mineralógica de las arenas muestreadas (%).

Lámina	Ct	Ft	FRV	FRS	P	M.P.	F.C.	O.B.	TOTAL %
1i	31.0	20.0	16.0	19.0	7.5	2.5	0.0	4.0	100
1m	32.0	15.0	18.5	19.0	4.5	1.0	1.0	9.0	100
1s	9.0	14.0	36.0	26.0	6.0	2.5	0.5	6.0	100
1d	33.5	17.5	16.0	19.5	5.0	5.5	0.0	3.0	100
2i	28.5	21.0	9.0	10.0	10.5	1.0	3.5	16.5	100
2m	20.0	22.0	8.5	16.0	6.0	1.5	4.0	22.0	100
2s	29.0	24.5	7.5	20.5	5.5	8.5	0.0	4.5	100
3i	18.0	21.0	18.0	21.5	5.5	0.0	1.5	14.5	100
3m	15.5	12.0	15.5	19.5	10.0	1.0	2.0	24.5	100
3s	32.5	22.5	12.5	20.0	4.0	3.0	0.5	5.0	100
4i	26.5	27.0	8.5	24.0	4.0	4.5	2	3.5	100
4m	16.5	25.5	19.5	23.5	4.5	3	1.5	6.0	100
4s	3.0	14.0	43.0	15.5	4.0	20.5	0	0.0	100
5i	1.0	13.5	39.5	35.5	3.5	4.0	0.0	3.0	100
5m	11.0	36.0	23.5	17.0	2.0	8.5	0.0	2.0	100
5s	30.0	24.5	8.0	17.5	0.0	19.5	0.0	0.5	100
6i	17.0	25.0	12.0	20.5	2.0	3.5	2.0	18.0	100
6m	19.0	21.0	5.5	32.0	4.0	1.0	7.0	10.5	100
6s	11.0	24.5	16.5	37.5	3.0	3.0	2.0	2.5	100
7i	23.0	30.0	8.0	19.5	5.0	12.5	0.0	2.0	100
7m	28.0	27.0	10.5	26.0	2.5	5.0	0.0	1.0	100
7s	18.0	29.5	13.0	28.5	4.0	6.5	0.0	0.5	100
8i	27.5	21.0	15.0	5.5	3.5	27.5	0.0	0.0	100
8m	27.0	22.5	15.0	20.5	5.5	9.5	0.0	0.0	100
8s	13.0	8.5	3.5	8.0	1.5	65.5	0.0	0.0	100
8pd	5.0	4.0	2.5	2.0	0.0	86.5	0.0	0.0	100
8d	11.0	13.5	7.0	5.0	2.5	61.0	0.0	0.0	100
9i	30.5	27.5	6.0	27.5	3.0	4.5	0.0	1.0	100
9m	31.5	36.5	7.0	16.5	1.5	6.0	0.0	1.0	100
9s	29.5	32.0	18.0	4.0	16.0	0.0	0.0	0.5	100
9ed	16.5	16.0	4.5	5.5	0.5	57.0	0.0	0.0	100
9d	40.0	27.5	4.0	12.0	0.5	16.0	0.0	0.0	100
10i	37.5	21.0	15.0	8.5	14.0	3.5	0.0	0.5	100
10m	53.0	11.5	6.5	23.5	3.0	2.0	0.0	0.5	100
10s	41.0	17.0	21.5	5.5	3.0	12.0	0.0	0.0	100
10d	41.5	24.0	16.5	9.5	4.5	4.0	0.0	0.0	100
11i	36.0	0.5	38.5	11.5	3.0	10.0	0.0	0.5	100
11m	24.5	6.5	35.5	2.5	4.5	25.5	0.0	1.0	100
11s	22.5	5.0	35.0	3.5	1.5	32.0	0.0	0.5	100
Promedio	24.1	20.0	15.8	16.9	4.4	13.9	0.7	4.2	
Des.Est.	11.6	8.5	10.9	9.3	3.4	20.3	1.4	6.4	

Ct = cuarzo total, Ft = feldspatos totales, FRV = fragmentos de rocas volcánicas, FRS = fragmentos de rocas sedimentarias, P = pedernal, M.P. = minerales pesados, F.C. = fragmentos de coral y O.B. = otros biógenos.

Cuatro de los componentes del conteo de granos (cuarzos totales, feldespatos totales y líticos totales = FRV+FRS), se normalizaron de acuerdo a la metodología usada por Folk (2002) (Tabla VI.2.) para ser utilizados en el diagrama Ct-Fr-Lt , el cual es un diagrama ternario que indica la composición mineral principal.

Tabla VI.2. Porcentajes de cuarzo, feldespato y líticos de las arenas muestreadas

Lámina	%C	%Ft	%Lt	TOTAL %	Lámina	%Ct	%Ft	%Lt	TOTAL %
1i	36.0	23.3	40.7	100	7s	20.2	33.1	46.6	100
1m	37.9	17.8	44.4	100	8i	39.9	30.4	29.7	100
1s	10.6	16.5	72.9	100	8m	31.8	26.5	41.8	100
1d	38.7	20.2	41.0	100	8s	39.4	25.8	34.8	100
2i	41.6	30.7	27.7	100	8pd	37.0	29.6	33.3	100
2m	30.1	33.1	36.8	100	8d	30.1	37.0	32.9	100
2s	35.6	30.1	34.4	100	9i	33.3	30.1	36.6	100
3i	22.9	26.8	50.3	100	9m	34.4	39.9	25.7	100
3m	24.8	19.2	56.0	100	9s	35.3	38.3	26.3	100
3s	37.1	25.7	37.1	100	9ed	38.8	37.6	23.5	100
4i	30.8	31.4	37.8	100	9d	47.9	32.9	19.2	100
4m	19.4	30.0	50.6	100	10i	45.7	25.6	28.7	100
4s	4.0	18.5	77.5	100	10m	56.1	12.2	31.7	100
5i	1.1	15.1	83.8	100	10s	48.2	20.0	31.8	100
5m	12.6	41.1	46.3	100	10d	45.4	26.2	28.4	100
5s	37.5	30.6	31.9	100	11i	41.6	0.6	57.8	100
6i	22.8	33.6	43.6	100	11m	35.5	9.4	55.1	100
6m	24.5	27.1	48.4	100	11s	34.1	7.6	58.3	100
6s	12.3	27.4	60.3	100	Prom.	31.7	26.3	42.0	
7i	28.6	37.3	34.2	100	Des.Est.	12.1	9.2	14.7	
7m	30.6	29.5	39.9	100					

En el diagrama Ct-Fr-Lt de muestras totales (Fig. VI.1.) se observa que la composición de la mayoría de las muestras que corresponden con litarenitas feldespáticas, con excepción de la muestra 9 (felsarenita lítica) por su alto porcentaje de feldespatos y la muestra 11 (litarenita) debido a su gran porcentaje de fragmentos de rocas derivados principalmente de rocas volcánicas.

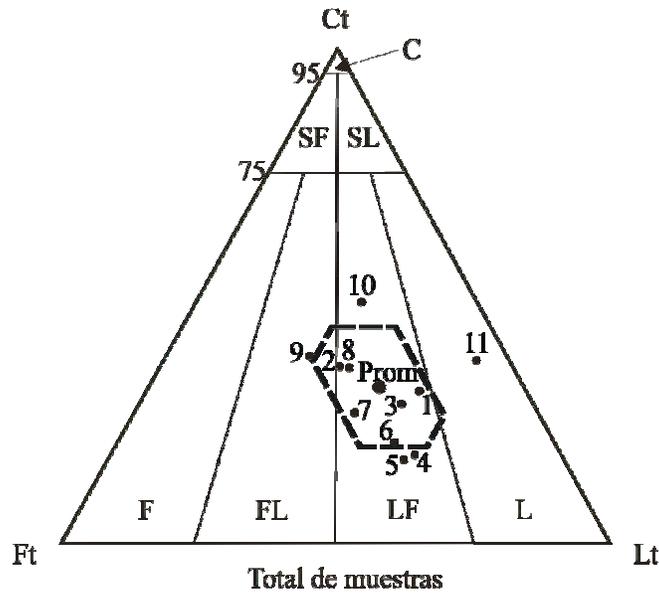


Figura VI.1. Representa los promedios de cada una de las playas, tomando en cuenta todas las zonas muestreadas.

Por otra parte, en el diagrama de las muestras tomadas en infraplaya (Fig. VI.2.) se observa que casi todas las muestras están cercanas al promedio y aunque la mayoría de las muestras se clasifican como litarenitas feldespáticas, las muestras 8, 2 y 7 son clasificadas como felsarenitas líticas, mientras que las muestra 11 se vuelve a clasificar como litarenita al igual que la muestra 5.

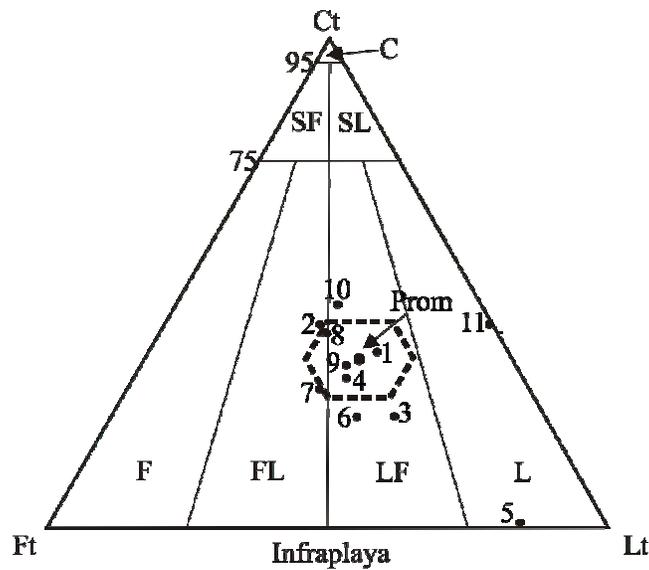


Figura VI.2. Representa el promedio de todas las muestras tomadas en el área de Infraplaya.

En el diagrama de las muestras de mesoplaza (Fig. VI.3.) se observa que la mayoría de las muestras se clasifican como litarenitas feldespáticas, con excepción de las muestras 9 y 11 que se vuelven a clasificar como felsarenita lítica y litarenita respectivamente, como en la Figura VI.1. correspondiente a muestras totales.

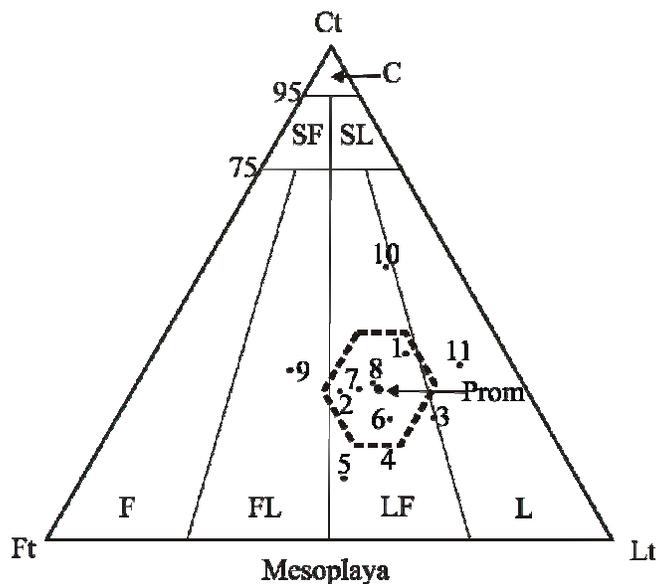


Figura VI.3. Representa el promedio de todas las muestras tomadas en el área de Mesoplaza.

La mayoría de las muestras de supraplaza del diagrama Ct-Ft-Lt se observan lejos del promedio (Fig. VI.4.), además de que hay mayor variabilidad de clasificación en las muestras ya que aunque un poco más de la mitad se clasifica como litarenitas feldespáticas, la muestra 9 se sigue clasificando como felsarenita lítica y la muestra 11 se mantiene clasificada como litarenita, junto con las muestras 1 y 4.

Diagramas ternarios de Ct, Ft y Lt.

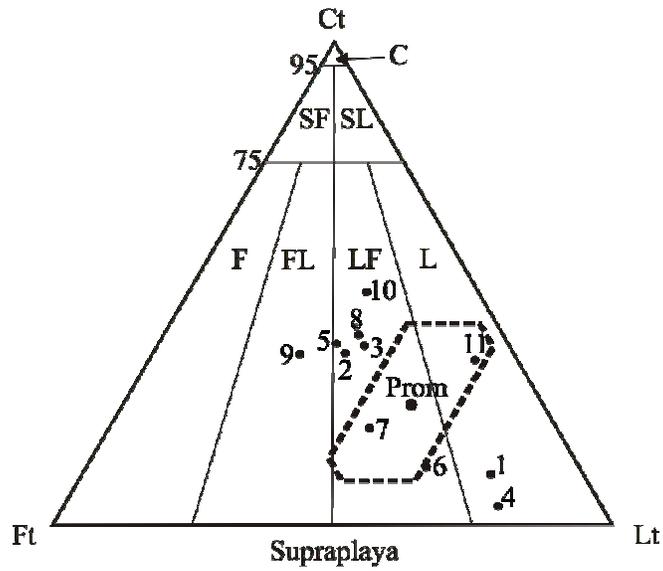


Figura VI.4. Representa el promedio de todas las muestras tomadas en el área de Supraplaya.

Nota. En los diagramas ternarios Ct = Cuarzo total, Ft = Feldespatos totales, Lt = Líticos totales, C = Cuarzoarenitas, SF = Subfelsarenitas, SL = Sublitarenitas, F = Felsarenitas, FL = Felsarenitas líticas, LF = Litarenitas feldespáticas y L = Litarenitas. Términos y clasificación de acuerdo con Folk (2002)

## **VII. CONCLUSIONES**

### **Variaciones morfológicas de los perfiles de playas**

Los perfiles de playa más largos se tienen en la cuenca del río Antigua con 86m y en la cuenca del río Jamapa con una variación desde 45m hasta 118m, en donde las playas de mayor longitud se ubican en la margen derecha del río Jamapa.

Las escolleras que se encuentran en la desembocadura del río Jamapa retienen sedimentos de corrientes litorales del norte, lo que afecta a las playas ubicadas en la margen izquierda del río, en las cuales se observa una disminución en los aportes de sedimentos por lo que presentan perfiles más cortos, con excepción del perfil de la playa Antón Lizardo que se encuentra fuera de la influencia de las escolleras.

En la cuenca del río Papaloapan los perfiles de playa varían desde 34m hasta 54m, mientras que el perfil de la playa Monte Pío presenta sólo 40m, esto puede deberse a que su ubicación coincide con la disminución de la llanura costera.

### **Análisis textural de arenas en las subzonas de los perfiles de playa**

En el análisis granulométrico se observa que la mayoría de las muestras es de tamaño de grano fino y en menor cantidad de tamaño de grano medio, presentan una tendencia de bien clasificadas a moderadamente bien clasificadas. Se observa una tendencia general a ser simétricas, distribuyéndose mayormente en curvas mesocúrtica y leptocúrticas.

El que la mayoría de las muestras tiendan a ser de tamaño de grano fino con una buena clasificación, se relaciona con su ubicación dentro de una amplia llanura costera, mientras que en la playa Monte Pío cuya ubicación coincide con la disminución de la llanura costera presenta un tamaño de grano medio, lo cual coincide con lo reportado por otros autores.

Las playas cercanas a las descargas fluviales presentan un tamaño de grano más fino en los sedimentos de la zona de infraplaya debido a la influencia de los sedimentos finos que transportan los ríos.

### **Importancia de la litología de las cuencas en la composición de las arenas**

Los porcentajes de cuarzo son de procedencia ígnea y sedimentaria, mientras que el porcentaje de feldespatos sugiere también la influencia de material ígneo.

Las principales fuentes de fragmentos de rocas volcánicas y minerales pesados de las arenas estudiadas están ligadas con el Cofre de Perote, el Pico de Orizaba y los Tuxtlas. Mientras que los fragmentos de rocas sedimentarias calcáreas proceden de la Sierra Madre Oriental y de areniscas y aluviones de la llanura costera Veracruzana.

La influencia del Sistema Arrecifal Veracruzano en la composición de las arenas es muy baja, encontrándose valores menores de 7% de corales en muestras localizadas en las cercanías del río Jamapa, que posiblemente son aportados durante época de nortes y una vez en la playa se desgastan rápidamente por la energía del oleaje.

Los aportes de sedimentos fluviales inhiben el desarrollo de los arrecifes del SAV, debido a que los sedimentos suspendidos inhiben la precipitación de carbonatos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Aguayo C., J.E., Bello M., R., Del Vecchio C., M.A., Araujo M., J., Basañez L., M.A., 1980, Estudio sedimentológico en el área Tulum-Cancún-Isla Mujeres, estado de Quintana Roo, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 41(1), 15-32.

Álvarez-Rivera, U., Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., 1986, Heavy metals in Blanco River sediments, Veracruz, México: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 3(2), 1-10.

Cabrera-Ramírez, M., Carranza-Edwards, A., 2002, The Beach environment in México as a potential source of placer minerals: Marine Georesources and Geotechnology, 20, 187-198.

Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M., Rodríguez-Torres, R., 1975, Unidades Morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 2(1), 81-88.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., 1988, Estudio de metales en arenas de playa de San Antonio del Mar, Baja California, México: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 15(1), 215-222.

Carranza-Edwards, A., Caso-Chávez, M., 1994. Zonificación de Playa. GEO UANM. Vol. 2 (2).

Carranza-Edwards, A., 1997, La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales: Actas INAGEQ, 3, 235-243.

Carranza-Edwards, A., 2001, Grain size and sorting in modern beach sands: Journal of Coastal Research, 17(1), 38-52.

Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Caso-Chávez M., Morales-De la Garza, E., 2004, La geología ambiental de la zona litoral, Caso M., Pisanty I., Ezcurra E., Diagnóstico ambiental del Golfo de México, México D.F., Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 573-602.

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

Cartaya, S., Méndez, W., González, L., 2005, Geomorfología y sedimentología de los ambientes depositacionales recientes del Complejo Estuarino de los ríos Huyque y Curarí, Estado Falcón, Venezuela (parte B), *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 58, 7-33.

Castillo-Escalante V., 2006, Cambios de las líneas costeras: *Revista Cinvestav*, 25(04), 64-69.

Cifuentes-Lemus, J.L., Torres-García, P., Frías M., 1986, *El Océano y sus Recursos. II Las ciencias del mar, oceanografía geológica y oceanografía química*. E.D. FCE, México, 180 p.

Coll-Hurtado, A., 1969, Estudio geomorfológico preliminar de la costa veracruzana comprendida entre Alvarado y Puntilla, Veracruz: *Boletín del Instituto de Geografía*, 1, 65-78.

CONAGUA, 2005, Mapa Hidrológico, escala 1:1,000,000. Sistema de Información Geográfica del Agua, Subgerencia de Programación de la Gerencia Regional Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua.

Fabián-J, R.A., Villalba-A, A., 1991, Sedimentología y geoquímica de la Bahía de los Ángeles Baja California, México: Boletín del Departamento de Geología, Uni-Son, 8(1), 29-40.

Folk, R. L., 2002, Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.

García, E., 1973, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246p.

Geissert-Kientz, D., 1999, Regionalización geomorfológica del Estado de Veracruz: Boletín de Investigaciones Geográficas, 40, 23-47.

Guzmán-Herrera, G., 1995, Disponibilidad del agua superficial en la cuenca del río La Antigua, Universidad Veracruzana, Xalapa Veracruz, Tesis de licenciatura, 80 p.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., 2003, Modern sands of the Gulf of Mexico: Discriminating fluvial and coastal sand composition: Ciencias Marinas, 29(4B), 621-630.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., 1999, Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of Mexico: Implications for provenance and tectonic setting: Journal of Sedimentary Research, 69(5), 1003-1010.

Komar, P. D. 1976. Beach Process and Sedimentation. Prentice-Hall. U.S.A., 429p.

Lecuanda-Camacho, R., 1993, Un triángulo para la representación poblacional e interpretación genética de los sedimentos arenosos: Ciencias Marinas, 9(1), 1-14.

López-Cortés, E., 1992, Construcción de presas hidroeléctricas y estructuras axiales estatales: Alteridades 2(4), 111-116.

Lozano-Romen, F., 1955, Bosquejo geológico de la Provincia del Papaloapan, estado de Veracruz, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 7(1-2), 1-20.

Lugo-Hubp, J., 1990, El relieve de la República Mexicana: Revista del Instituto de Geología, UNAM, 9(1), 82-111.

Marín Guzmán A. P., Carranza-Edwards, A., en prensa, Inferencia de transporte litoral dominante en el Golfo de México: Interacciones, Editado por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, dentro del Año Internacional del Planeta Tierra.

Méndez-Ubach, M.N., Solíz-Weiss, V., Carranza-Edwards, A., 1986, La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del estado de Veracruz, México: Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 13(3), 45-46.

Moreno-Casasola, P., 2004, Las playas y dunas del Golfo de México. Una visión de la situación actual, Caso M., Pisanty I., Ezcurra E., Diagnóstico ambiental del Golfo de México, México D.F., Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 491-520.

Munsell Color Company, 1975. Munsell Soil Color Charts. Munsell Color Company Inc., Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore MD USA, 34 p.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Moran-Zenteno, D., Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, Á.F., et al., 1992, Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, 5ª edición. Escala 1:2'000,000.

Ortíz-Pérez, M.A., Espinosa-Rodríguez, L.M., 1991, Clasificación geomorfológica de las costas de México: Revista del Colegio Mexicano de Geógrafos posgraduados A.C., 2(6), 2-9.

Rosales-Hoz, L., Carranza-Edwards, A., 1998, Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos River México: Environmental Contamination and Toxicology, 60, 553-561.

Rosales-Hoz, L., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Celis Hernández, Omar, 2008, Geochemical composition of surface sediments near Isla de Sacrificios coral reef ecosystem, Veracruz, México: Hidrobiológica, 18(2), 155-165.

Servicio Geológico Mexicano, 2005, Carta Geológico-Minera Estado de Veracruz. 1ª edición. Escala 1:500,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Texto explicativo de la carta geológica de México. 6ª edición. Escala 1: 2'000,000.

Visher, G.S., 1969, Grain size distributions and depositional processes: Journal of Sedimentary Petrology, 39(3), 1074-1106.

Woodroffe, C. D., 2003, Coasts: Forms, Process and Evolution. Cambridge, University Press. School of Geosciences, University of Wollongong, Australia. 619 p.

### **Referencias electrónicas:**

CSVA, 2006. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua.  
[http://www.csva.gob.mx/sih/proyecto\\_2/pag\\_proyecto\\_imgvisor.php?xregion=5&xtematica=6](http://www.csva.gob.mx/sih/proyecto_2/pag_proyecto_imgvisor.php?xregion=5&xtematica=6)

GEV, 2008, Gobierno del Estado de Veracruz.  
[http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?\\_pageid=313,4308823&\\_dad=portal&\\_sc\\_hema=PORTAL](http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=313,4308823&_dad=portal&_sc_hema=PORTAL)

INEGI, 2008, Instituto Nacional de Geografía e Informática.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/español/estados/ver/rh.cfm?c=444&e=30>

Pereyra-Díaz, D., Pérez-Sesma, J.A.A., 2005, Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz, Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz, <http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/inundaciones/6.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO I. Nomenclatura de las arenas de playa analizadas.

---

1i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
1m	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, mesocúrtica.
1s	Arena media, moderadamente bien clasificada, asimétrica hacia tamaños finos, mesocúrtica.
1d	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, mesocúrtica.
2i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
2m	Arena fina, moderadamente bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, platicúrtica.
2s	Arena fina, muy bien clasificada, simétrica, muy leptocúrtica.
3i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia los tamaños gruesos, muy leptocúrtica.
3m	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
3s	Arena fina, muy bien clasificada, simétrica, muy leptocúrtica.
4i	Arena fina, bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
4m	Arena media, mal clasificada, simétrica, platicúrtica.
4s	Arena media, moderadamente bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
5i	Arena gruesa, moderadamente clasificada, simétrica, platicúrtica.
5m	Arena media, moderadamente bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
5s	Arena fina, moderadamente bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
6i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
6m	Arena fina, bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
6s	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, mesocúrtica.
7i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, asimétrica hacia los tamaños gruesos, mesocúrtica.
7m	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia los tamaños gruesos, mesocúrtica.
7s	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia los tamaños gruesos, mesocúrtica.
8i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
8m	Arena fina, bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
8s	Arena fina, bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
8ed	Arena fina, bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
8d	Arena fina, bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
9i	Arena fina, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, mesocúrtica.
9m	Arena fina, bien clasificada, asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
9s	Arena fina, bien clasificada, simétrica, leptocúrtica.
9ed	Arena fina, bien clasificada, simétrica, leptocúrtica.
9d	Arena fina, muy bien clasificada, simétrica, mesocúrtica.
10i	Arena media, bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.
10m	Arena media, bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, mesocúrtica.
10s	Arena media, bien clasificada, simétrica, leptocúrtica.
10d	Arena media, bien clasificada, simétrica, leptocúrtica.
11i	Arena media, bien clasificada, simétrica, platicúrtica.
11m	Arena media, muy bien clasificada, simétrica, leptocúrtica.
11s	Arena media, bien clasificada, muy asimétrica hacia tamaños gruesos, leptocúrtica.

---

ANEXO II. Microfotografías de los componentes analizados.

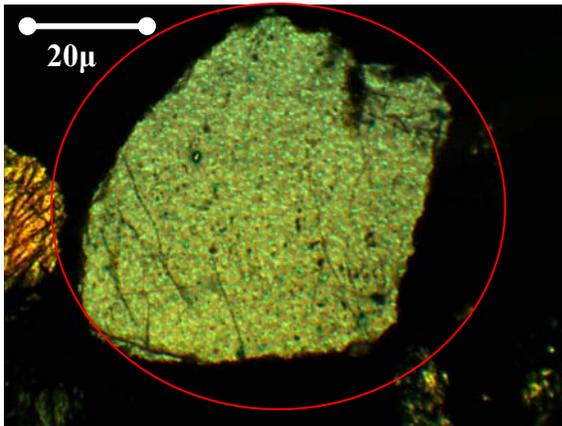


Lámina A.II.1. Fragmento de cuarzo monocristalino. Fotografía tomada con nícoles cruzados y objetivo 10X (muestra 11s).

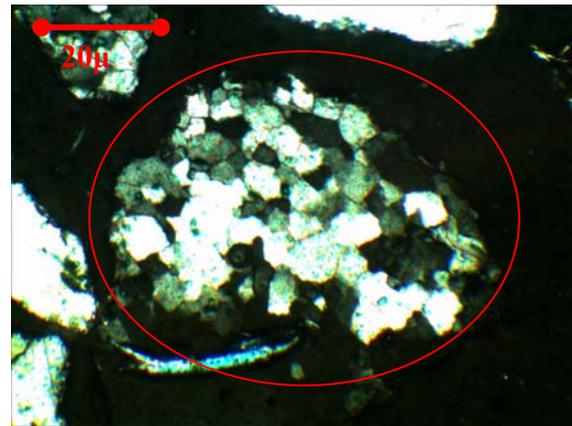


Lámina A.II.2. Fragmento de cuarzo policristalino. Fotografía tomada con nícoles cruzados y objetivo 10X (muestra 10i).

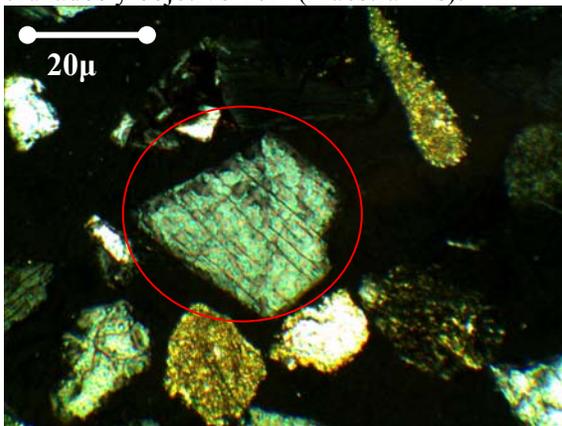


Lámina A.II.3. Fragmento de feldespato potásico. Fotografía tomada con nícoles cruzados y objetivo 10X (muestra 1i).

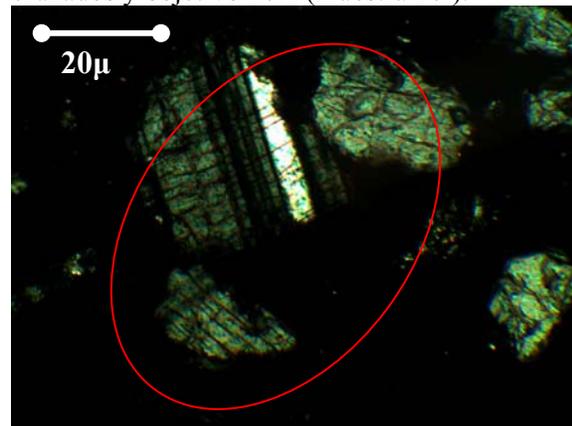


Lámina A.II.4. Fragmentos de feldspatos (potásicos y plagioclasa). Fotografía tomada con nícoles cruzados y objetivo 10X (muestra 7s).



Lámina A.II.5. Fragmento de roca volcánica. Fotografía tomada con nícoles cruzados y objetivo 10X (muestra 11s).

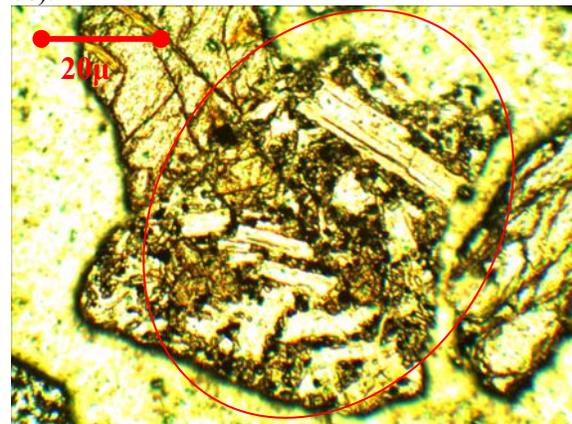


Lámina A.II.6. Fragmento de roca volcánica. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 11s).

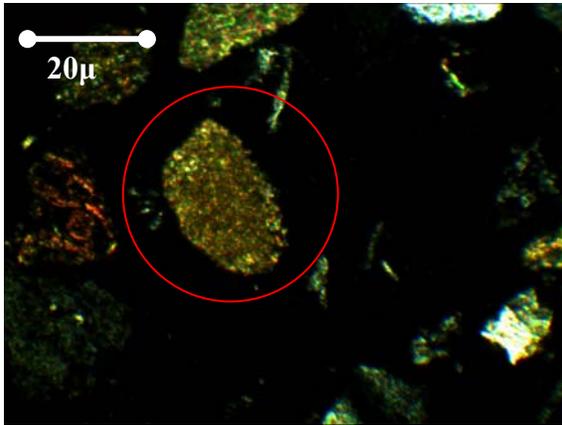


Lámina A.II.7. Fragmento de roca sedimentaria. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10X (muestra 3s).

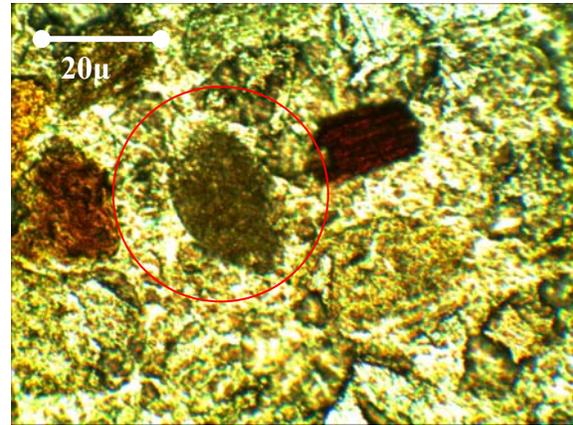


Lámina A.II.8. Fragmento de roca sedimentaria. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 3s).

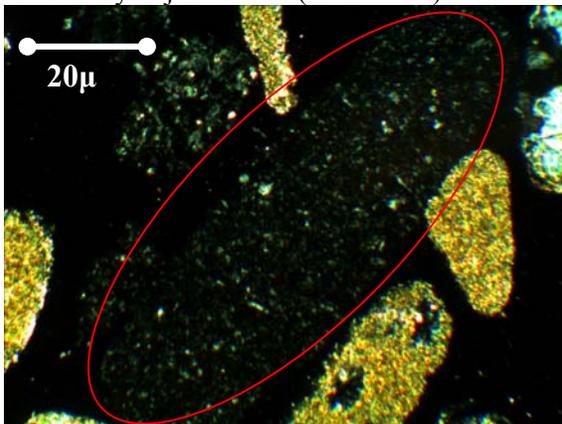


Lámina A.II.9. Fragmento de pedernal. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10X (muestra 1s).

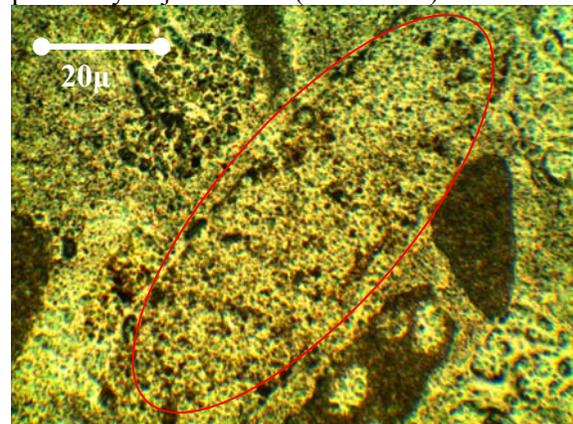


Lámina A.II.10. Fragmento de pedernal. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 1s).

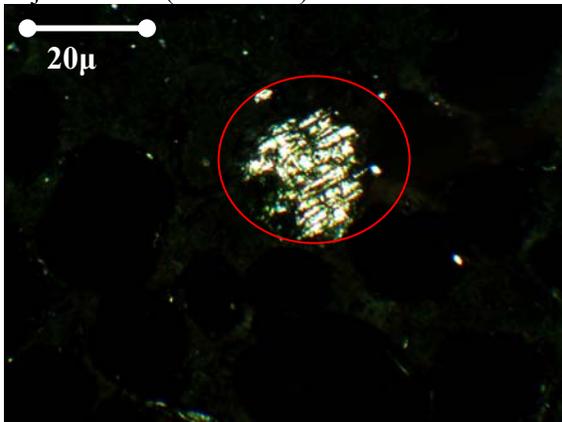


Lámina A.II.11. Fragmento de mineral pesado (piroxeno) y alrededor minerales opacos. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10X (muestra 8d).

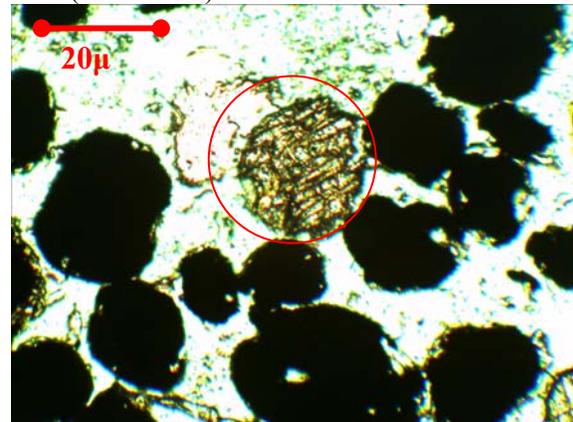


Lámina A.II.12. Fragmento de mineral pesado (piroxeno) y alrededor minerales opacos. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 8d).

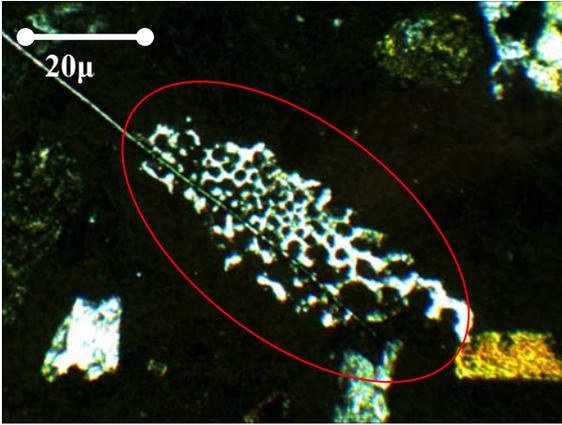


Lámina A.II.13. Fragmento de coral. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10X (muestra 3m).

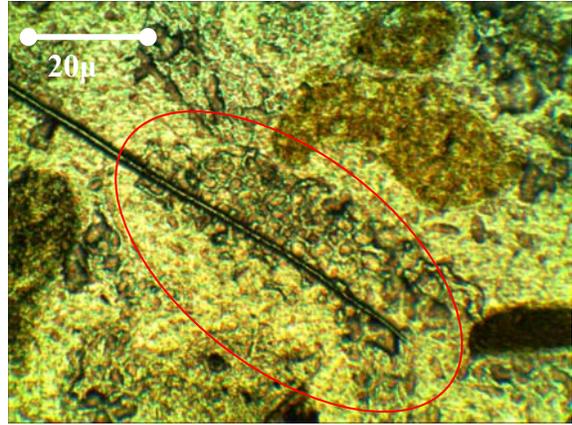


Lámina A.II.14. Fragmento de coral. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 3m).

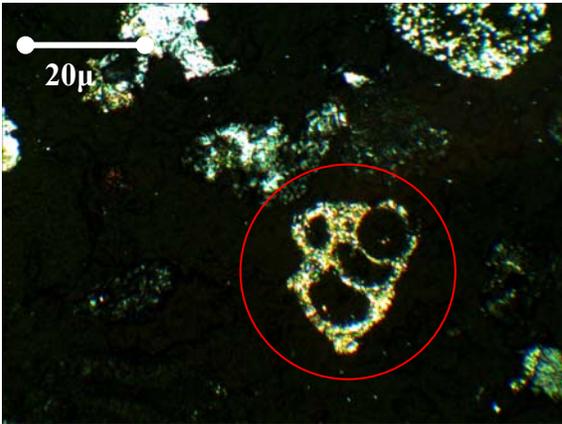


Lámina A.II.15. Fragmento de biógeno. Fotografía tomada con nicoles cruzados y objetivo 10X (muestra 3m).

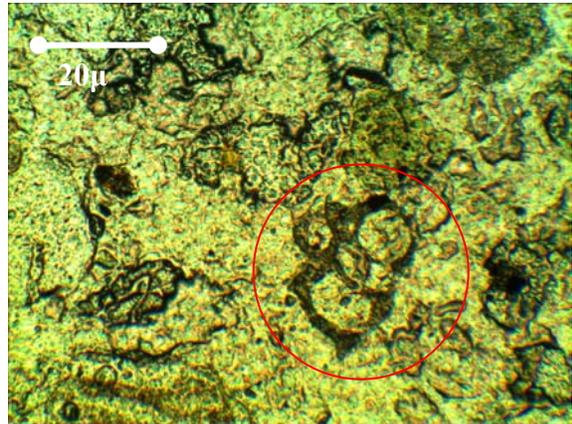


Lámina A.II.16. Fragmento de biógeno. Fotografía tomada con luz paralela y objetivo 10X (muestra 3m).