



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO-PETROGRÁFICO  
EN PLAYAS DE BAHÍAS DE HUATULCO,  
OAXACA Y SUS IMPLICACIONES ECOLÓGICAS  
Y AMBIENTALES**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Geólogo**

**P R E S E N T A**

Andros Daniel Cruz Salmerón

**DIRECTOR DE TESIS**

Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx. 2016**

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a cada una de las personas que me han ayudado a escribir mi historia desde el momento en el que me permitieron formar parte de la suya.

Agradezco a mis padres, Ana y Luis, por su apoyo incondicional. A mi abuela y mi tía Esperanza y Olivia por estar siempre pendientes de mí, a mis amadas Dana y Andrea por marcar dos de las etapas más importantes de mi vida, a mi abuelo Juan por sus locuras y consejos, a mis senseis y a todos mis amigos.

Agradezco a mis sinodales Dr. Arturo Carranza Edwards, Dr. Enrique Alejandro González Torres, Ing. Alfredo Victoria Morales, Lic. Sergio Enrique Macías Medrano y a mi directora de tesis Dr. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez.

Agradezco el apoyo de los Químicos Rufino Lozano Santa Cruz y María Patricia Girón García, a los técnicos Santiago Avilés del Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto de Geología, Ricardo Martínez Domínguez y Eduardo Morales del laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Agradezco también al proyecto PAPIME PE106016. Análisis y clasificación de rocas y sedimentos obtenidos a partir de la exploración y muestreo de ambientes sedimentarios con la finalidad de crear guías de aprendizaje y prácticas de campo aplicadas a ciencias a las ciencias de la tierra.

A todas las personas que me inspiran y desafían, gracias.

*Jita Kyoei, Jigoro Kano.*

*No existen las personas con suerte, sólo quienes se esfuerzan día a día por alcanzar sus sueños.*

Andros

# Índice

## Contenido

Resumen.....	v
Abstract.....	v
<b>1. Generalidades</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>Introducción</i> .....	1
1.2 <i>Localización del área de estudio</i> .....	3
1.3 <i>Vías de acceso</i> .....	6
1.4 <i>Fisiografía</i> .....	7
1.5 <i>Hidrografía</i> .....	10
1.7 <i>Geología estructural</i> .....	12
1.8 <i>Antecedentes</i> .....	14
1.9 <i>Objetivos</i> .....	15
1.9.1 <i>Objetivo general</i> .....	15
1.9.2 <i>Objetivos particulares</i> .....	15
<b>2. Metodología</b> .....	<b>16</b>
2.1 <i>Trabajo de campo</i> .....	16
2.2 <i>Trabajo de laboratorio</i> .....	18
<b>3. Análisis sedimentológico</b> .....	<b>19</b>
3.1 <i>Tamizado</i> .....	19
3.2 <i>Clasificación de las muestras de acuerdo a sus parámetros estadísticos</i> .....	22
3.3 <i>Parámetros sedimentológicos de las playas</i> .....	26
<b>4. Análisis petrográfico</b> .....	<b>53</b>
4.1 <i>Comparación mineralógica de las playas por subzonas</i> .....	69
4.2 <i>Perfil y morfología de las playas</i> .....	72
4.3 <i>Madurez mineralógica de los sedimentos</i> .....	74
<b>5. Geoquímica</b> .....	<b>80</b>
5.1 <i>Fluorescencia de Rayos X</i> .....	80

5.2 Elementos mayores.....	81
5.3 Elementos traza .....	82
5.4 Datos obtenidos .....	83
<b>6. Implicaciones ecológicas y ambientales .....</b>	<b>89</b>
6.1 Anidación de tortugas .....	89
6.2 Contaminación en arenas.....	91
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>91</b>
Recomendaciones.....	93
Referencias .....	94

## Resumen

Las playas de Huatulco, Oaxaca, son de gran importancia para el país en aspectos como ecológico, ambiental, pesca, turístico y por ende económico. Por todo lo antes mencionado es esencial conocer las características de los componentes primarios que conforman la parte del litoral. Desde un punto de vista ecológico y ambiental, el Parque Nacional Huatulco (PNH) es de vital importancia ya que es el hábitat de un gran número de especies terrestres y marinas de flora y fauna. De las especies marinas destaca la presencia de tortugas marinas, quienes año con año desovan en costas oaxaqueñas. Compete a este trabajo analizar las características sedimentológicas, mineralógicas y químicas de la zona de bahías de Huatulco delimitada entre los 15°35' y 15°45' de latitud y los 96°00' y 96°15' de longitud, con la finalidad de describir y caracterizar las arenas así como los ambientes de formación y su posible relación con la presencia de la especie Tortuga Golfina, *Lepidochelys Olivácea*.

## Abstract

The beaches of Huatulco, Oaxaca, represent a great importance for the country in aspects as ecological, environmental, fishing, tourism and therefore economic. For all of the above is essential to know the characteristics of the components that constituting the coastal area. From ecological and environmental standpoint, Huatulco National Park (PNH), for its acronym in Spanish, is of vital importance because is the habitat of several terrestrial and marine species of flora and fauna. Of marine species, presence of marine turtles stands out because year after year nest in beaches of Oaxaca. Compete to this work to analyze sedimentological, mineralogical and chemistry characteristics of the area of Huatulco delimited between 15°35' y 15°45' latitude and 96°00' y 96°15' longitude in order to describe and characterize the sands as well as its formation environments and its possible relationship to the presence of *Lepidochelys Olivacea* turtle species.

## **1. Generalidades**

### *1.1 Introducción*

México tiene una gran riqueza de recursos naturales, los estados que conforman el país presentan distintos rasgos naturales, culturales y sociales entre los que se encuentran: el turismo, gastronomía, clima, topografía, hidrografía, geología, flora, fauna y ecosistemas. Oaxaca es un estado reconocido mundialmente por su riqueza cultural, gastronómica y natural, está limitado al oeste por el Océano Pacífico, formando cerca de 600 km de litoral el cual contiene en su parte central al Parque Nacional Huatulco (PNH), conteniendo una parte terrestre y una parte marina (Figura 1). Éste parque exhibe bellos paisajes que son consecuencia del contraste entre la Sierra Madre del Sur, bosques caducifolios, humedales y playas. Sus Playas son relativamente angostas, presentan una serie de pequeñas bahías en cadena que a su vez contienen acantilados, escarpes, farallones, dunas y diversas morfologías esculpidas por la interacción del viento, mareas, y sedimentos de origen fluvial.

En el aspecto económico, el Parque Nacional Huatulco brinda importantes posibilidades para la realización de actividades turísticas, dada su ubicación dentro del Desarrollo Turístico Integral Bahías de Huatulco y la belleza e interés de los paisajes que ofrece. Además, en el área marina y litoral se realizan actividades de pesca comercial y deportiva, así como el teñido tradicional con tinte de caracol púrpura por parte de artesanos indígenas mixtecos de Pinotepa de Don Luis en la Costa de Oaxaca (CONANP, 2003).

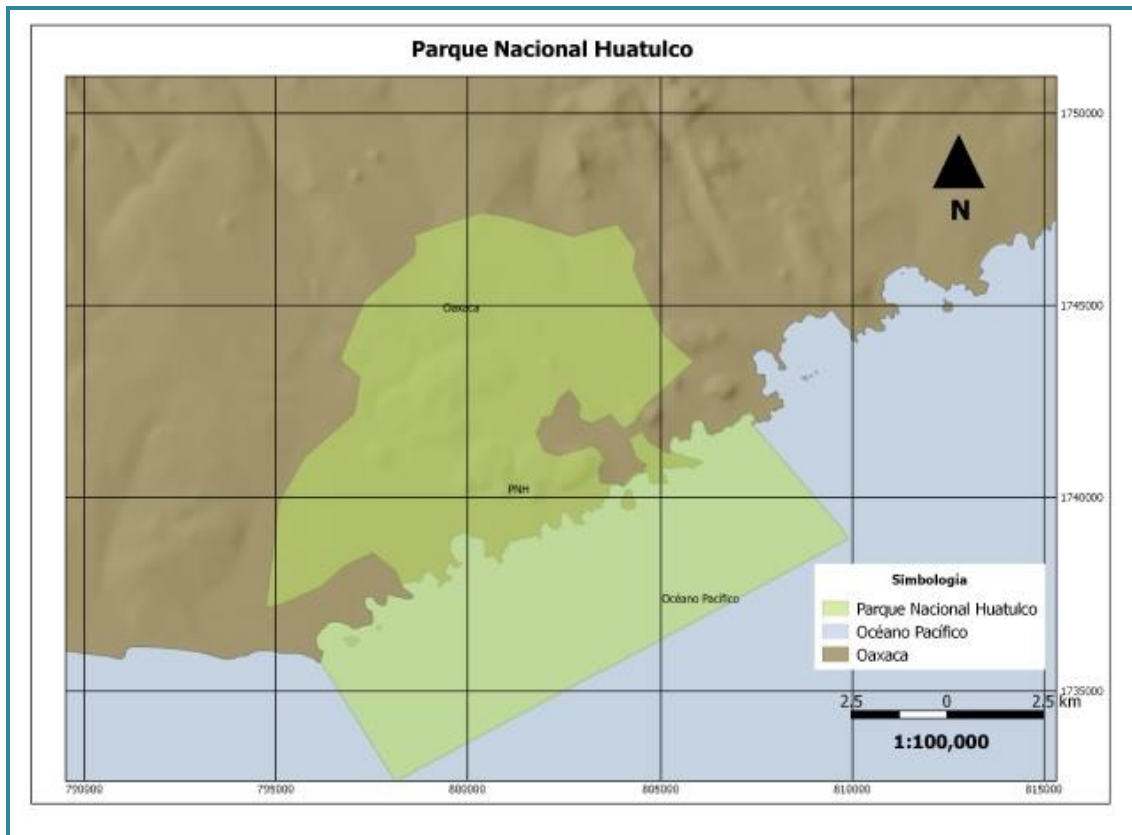
Al igual que en casi todo el planeta, las actividades industriales han generado un impacto antropogénico que ha causado el deterioro de gran parte de la región, con lo cual se ha puesto en riesgo la existencia de la flora y fauna tanto terrestre como marina. Por lo tanto se ha vuelto fundamental el fomento a la preservación de los ecosistemas de la región, desarrollando programas sustentables que permiten el aprovechamiento de los recursos presentes sin quebrantar el equilibrio que encauce la extinción de las especies y los ecosistemas. En México la Comisión Nacional de Áreas Naturalmente Protegidas (CONANP) es el organismo encargado de la conservación y protección de hábitats y especies. El PNH sustenta el hábitat de diversas

especies entre las que destacan las 32 especies de equinodermos, 10 de corales pétreos y 150 de peces, así como 130 especies de mamíferos y 282 de aves, el ecosistema arrecifal de Bahías de Huatulco es reconocido como uno de los sistemas coralinos más importantes en el Pacífico mexicano (CONABIO, 1996).

Desde 1998 la CONANP decretó que Bahías de Huatulco es un área natural protegida (ANP) y cuenta con un Programa de Manejo. Este programa permite hacer un alto para reflexionar sobre la información que se encuentra disponible y las líneas de investigación que se deberán seguir para contribuir a mantener en buen estado los ecosistemas de la costa oaxaqueña. Varias instituciones se encargan del desarrollo de programas de preservación de los ecosistemas y especies que están distribuidas en 11 980 hectáreas, 6 464 terrestres y 5 516 marinas (Ramírez y Barrientos, 1999; Morales, 1998). Las playas oaxaqueñas son importantes sitios de anidación de tortugas marinas, que a pesar de ser organismos que evolucionaron desde el Jurásico, actualmente existen sólo seis especies en todo el mundo, todas ellas en peligro crítico de extinción (IUCN, 2015). Cinco especies de tortugas marinas anidan en las playas del Pacífico, Golfo y Caribe de México, en los estados de Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Yucatán, Baja California, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. En Oaxaca se encuentra el santuario “La Escobilla”, principal playa de anidación de tortuga golfina, es uno de los sitios con mayor número de arribazones de tortuga a nivel mundial.

Un ecosistema se puede definir como un área determinada con características físicas y químicas específicas, en la cual coexisten diversos organismos. Las playas son un ejemplo de ecosistema, el cual desde el punto de vista geológico, es el lugar donde se acumulan los materiales que están en los alrededores de la acción del oleaje (King, 1972). Los estudios geológicos relacionados con este hábitat permiten establecer estrategias de conservación; dentro de éstos estudios es necesario conocer los parámetros morfológicos, mineralógicos y químicos que lo pudieran afectar, es por esto que sumado a los programas de conservación, en este trabajo se hace un estudio de las propiedades sedimentológicas, petrográficas y geoquímicas de las arenas de nueve playas ubicadas en Huatulco, Oaxaca, en las cuales en dos de ellas se

tienen registros de anidaciones de la tortuga marina golfina (*Lepidochelis olivácea*).

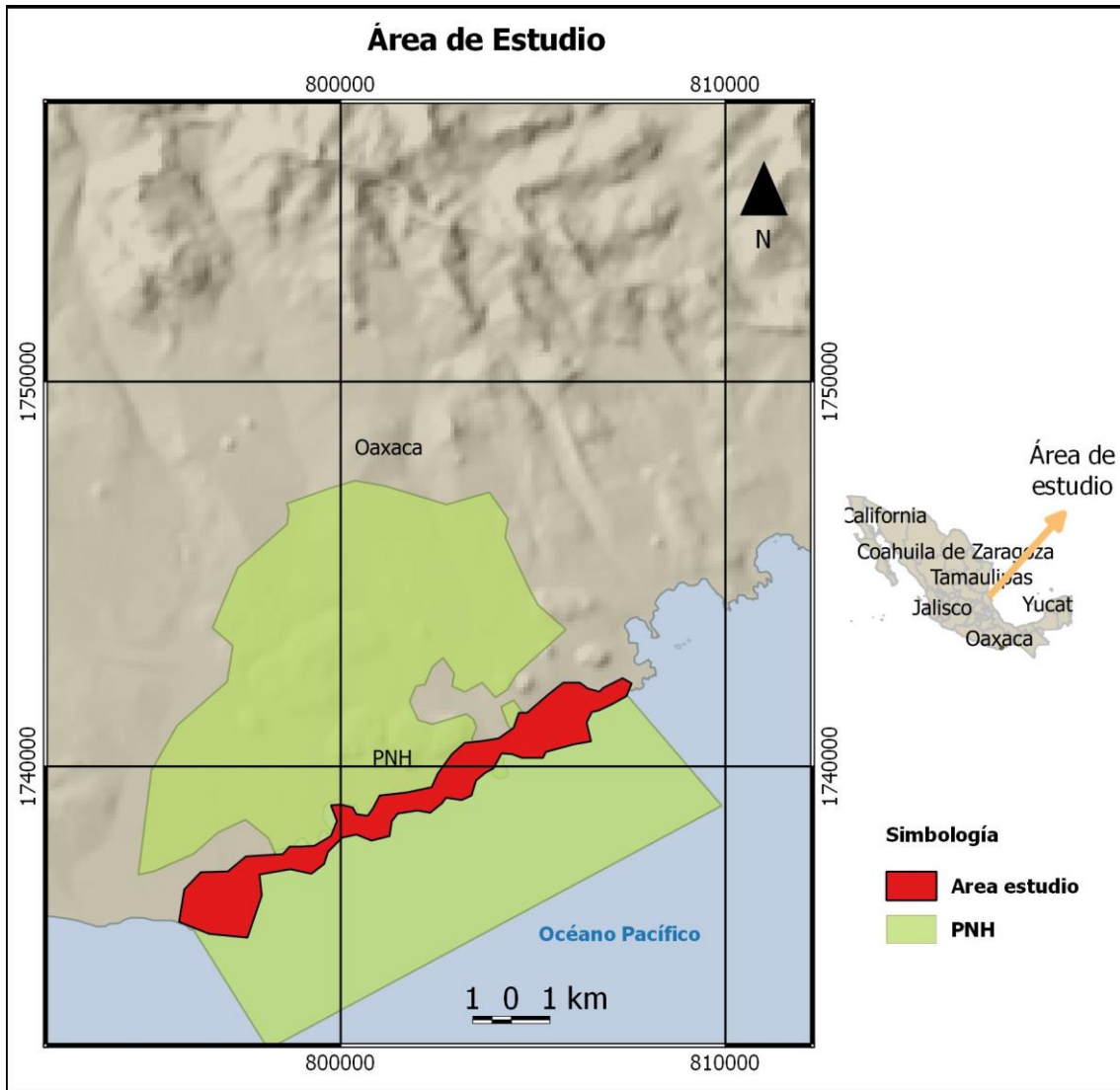


**Figura 1.** Parque Nacional Huatulco.  
Modificado de CONANP.

### *1.2 Localización del área de estudio*

La zona de estudio está ubicada al oeste de Oaxaca, se localiza entre los 15°35' y 15°45' de latitud y los 96°00' y 96°15' de longitud (Figura 2). Las bahías de interés son: Bahía Conejos, Bahía Tangolunda y Bahía Santa Cruz (playa La Entrega), que se encuentran fuera del Parque Nacional Huatulco y las bahías: El Maguey, Cacaluta, Chachacual y San Agustín que forman parte del Parque Nacional Huatulco (Figura 3).





**Figura 2.** Mapa de localización. Modificado de INEGI

<b>Bahía</b>	<b>Localización</b>	<b>Características</b>
1 Conejos	15°46.4´ N, 96°04´ O.	<b>Bahía Conejos</b> Longitud 1100m Ancho 50m Área 55000m <sup>2</sup>
2 Tangolunda	15°46.2´N, 96°05.7´O	<b>Playa Tangolunda</b> Longitud 1360m Ancho 40m Área 54400m <sup>2</sup>
3 Santa Cruz	15° 45.3´N, 96° 07.7´O	<b>Playa La Entrega</b> Longitud 280m Ancho 25m Área 7000m <sup>2</sup>
4 Cacaluta	15°43.4´N, 96°09.5´O	<b>Playa Cacaluta</b> Longitud 1150m Ancho 50m Área 57500m <sup>2</sup>
5 El Maguey	15°43.9´ N, 96° 09.0´O	<b>Playa Maguey</b> Longitud 400m Ancho 20m Área 8000m <sup>2</sup>
6 Chachacual	15°42.3´ N, 96° 12.1´O	<b>Playa Chachacual</b> Longitud 500m Ancho 300m Área 150000m <sup>2</sup>
7 San Agustín	15°41.3´ N, 96° 14.0´O	<b>Playa San Agustín</b> Longitud desconocido Ancho desconocido Área desconocido

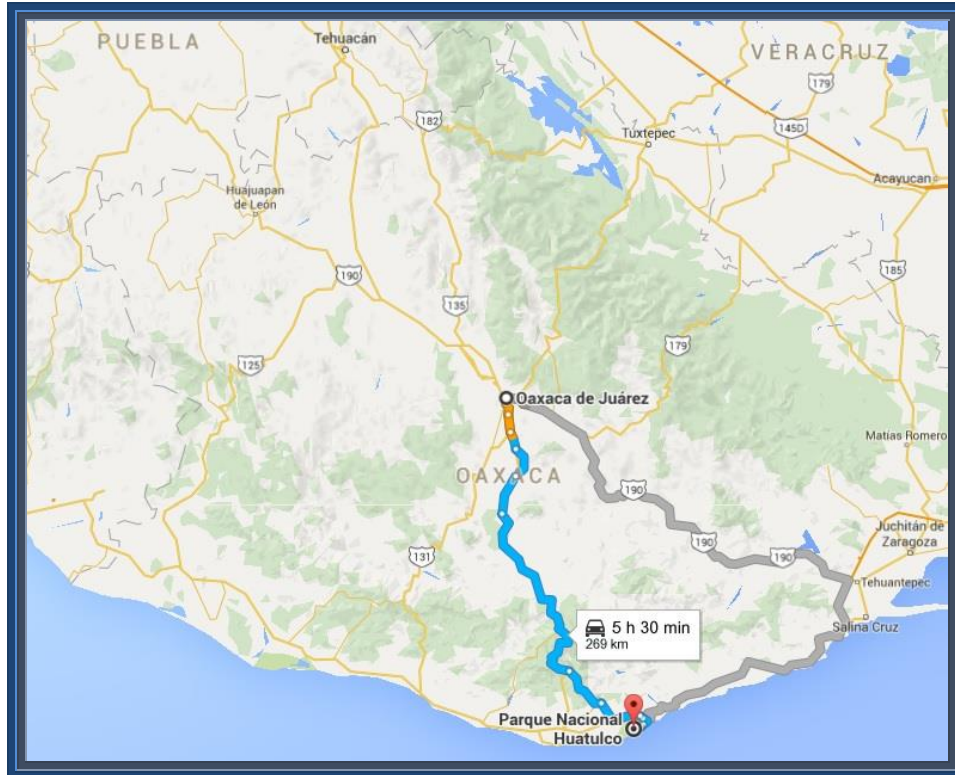
**Tabla1.** Localización por Bahía.



Figura 3. Área de estudio.

### 1.3 Vías de acceso

Si se toma como referencia el zócalo de la ciudad de Oaxaca de Juárez, se debe situar en la calle Vicente Guerrero, la cual está ubicada en la esquina Sureste del zócalo, seguir por Vicente Guerrero para posteriormente dar vuelta a la derecha en Armenta y López. Siguiendo por Armenta y López se debe cruzar el Periférico hasta que dicha calle se convierta en avenida Símbolos Patrios. Seguir hacia el sur por Símbolos Patrios - 175 Oaxaca-Puerto Ángel. Tomar la desviación Oaxaca el Zapote-Copalita, cruzar el municipio de Santa María Huatulco, seguir por dicha carretera hasta la altura del Aeropuerto Internacional de Huatulco, donde debe dar vuelta a la izquierda en la carretera 200 Acapulco-Salina Cruz, posteriormente se debe tomar la desviación Carpinteros, seguir por Carpinteros-Boulevard Chahue hasta el entronque con Santa Cruz, en donde se debe dar vuelta a la derecha. Siguiendo por Santa Cruz se llegará al área de interés. El tiempo aproximado de recorrido es de 5.5 horas (Figura 4).



**Figura 4.** Vías de acceso. Google. (s.f.). Recuperada el 6 de Febrero, 2016, de <https://www.google.com.mx/maps/dir/Oaxaca+de+Ju%C3%A1rez,+Oax./Parque+Nacional+Huatulco,+Oaxaca/>.

#### 1.4 Fisiografía

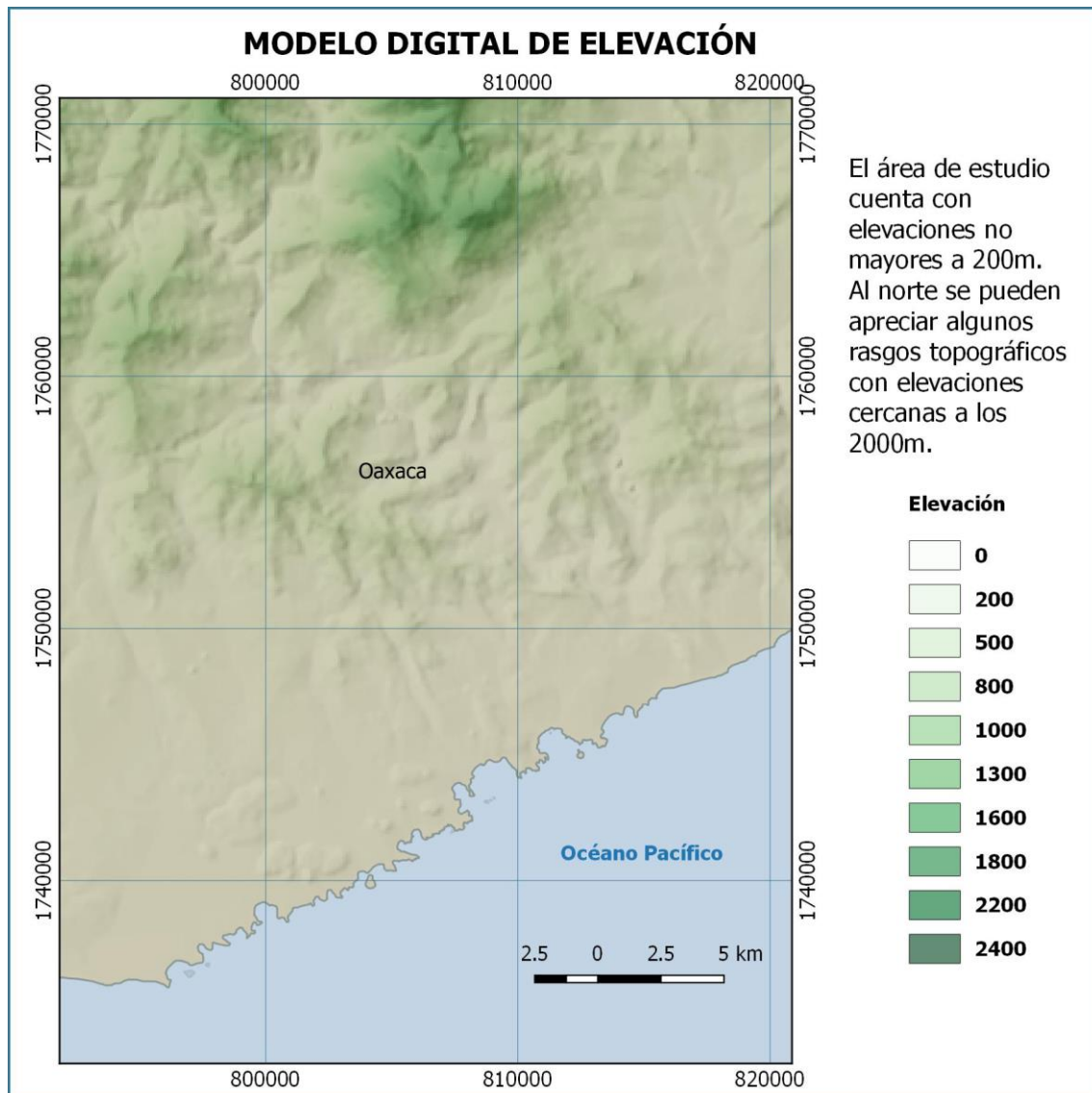
La provincia fisiográfica que compete al área de estudio es la número 10 Sierra Madre del Sur, que a su vez se divide en tres subprovincias que son:

- **Subprovincia No. 73 Planicie Costera del Pacífico.** Tiene un área de 9262km<sup>2</sup>. Su fisiografía va de más abrupta a suave en dirección Este-Oeste, contiene una zona montañosa de poca elevación, la cual poco a poco va descendiendo hasta intercalarse con lomeríos, planicies, lagunas, y playas pertenecientes a Puerto Ángel (Rodríguez 2012).
- **Subprovincia No. 66 Cordillera Costera del Sur.** Su extensión de 12350.15 km<sup>2</sup> se caracteriza por un paisaje montañoso que no supera los 3500msnm. Limita con el Río Verde y montañas y valles del centro de Oaxaca (Rodríguez 2012).

- **Subprovincia No. 70 Sierras Orientales.** Esta subprovincia de las Sierras Orientales de la Sierra Madre de Oaxaca, tiene una superficie de 17,519.95 km<sup>2</sup>, limita al Norte-Noreste con el estado de Puebla; al Norte y Este, con la planicie costera del golfo y al Oeste con la fosa de Tehuantepec, al Sur con los Valles Centrales y Montañas y Valles del Centro de Oaxaca (Rodríguez, 2012).

Específicamente el relieve se caracteriza por ser quebrado y montañoso en su porción Sur, presentando en forma perpendicular a la costa algunos valles en principio estrechos y que al acercarse al mar se van ensanchando. Hacia la porción noreste, puede distinguirse una zona de lomeríos suaves con pendientes moderadas (0 a 15%) (CONANP, 2003), donde anteriormente se realizaban algunas prácticas agrícolas y de pastoreo. Los paisajes topográficos que pueden distinguirse son: cerros redondeados, cerros aislados, lomeríos suaves, dunas, playas de bahías, escarpes, acantilados, islas y farallones.

La topografía del lugar es relativamente plana, pueden observarse rasgos geomorfológicos como anfiteatros, acantilados, farallones y lomeríos de no más de 100 m de altura. En la parte norte del mapa se logra visualizar el límite con la parte costera del pacífico de la Sierra Madre del Sur, en donde las alturas inclusive superan los 2000m de altura (Figura 5).



**Figura 5.** Modelo digital de elevación. Modificado de Puerto escondido D14-3, SGM, 1996.

La zona marina se caracteriza por abarcar la plataforma continental y una profundidad menor a 200 m. El Parque Nacional Huatulco incluye cinco de las nueve principales bahías de Huatulco: San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey y Órgano. Punta Sacrificio al Occidente y Punta Violín al Oriente marcan el límite de la poligonal marina, la cual se extiende de los puntos anteriores a una distancia aproximada de 3.5 km o dos millas náuticas mar adentro y paralela a la costa (CONANP, 2005).

En la franja marina existen zonas rocosas de menor profundidad. Asimismo, existen comunidades coralinas cercanas al límite litoral a 10 metros de

profundidad en promedio. También hay islas frente a las playas de Cacaluta y San Agustín con una superficie de de 16 y 12 ha respectivamente.

### *1.5 Hidrografía*

La costa de Oaxaca, pertenece a las regiones Hidrológicas 20 y 21 que corresponden a la región Hidrológico-Administrativa V, Pacífico Sur. La zona de estudio está ubicada en la Cuenca del Río Copalita que a su vez se ubica en la Región Hidrológica 21. El cuerpo de agua más importante es el Río Copalita, el cual se origina en el Río Copala, en las faldas del Cerro Copalita y Cerro León. Tiene un caudal de 3.6m<sup>3</sup>/s y una longitud de 80km y desemboca en el Océano Pacífico. Es alimentado por tres afluentes importantes: San Sebastián o La Venta, San Cristóbal y Yuviaga (Rodríguez 2012).

El sistema hidrológico está constituido de redes de drenaje dendríticos y subdendríticos bien desarrollados (INEGI, 1985). De acuerdo con González, et al., (1996), la conformación hidrológica de Huatulco corresponde a dos tipos de cuencas: las primeras de tamaño medio que incluyen los ríos perennes Cuajinicuil-Xúchilt, Todos Santos, Cacaluta, Tangolunda, etc. y cuencas pequeñas que se mantienen marginales y que constituyen áreas con una dinámica energética propia, como es el caso de la cuenca del Chachacual, representada por el arroyo Chachacual, ubicado hacia la porción central del Parque. Destaca la presencia de lagunas intermitentes que en ocasiones llegan a permanecer todo el año. Entre ésta área se ubica la laguna Culebra (dividida por la poligonal del Parque); La Poza y laguna Cacaluta, así como dos pequeñas lagunas salobres de menos de media hectárea, alimentadas por escurrimientos y por la marea, ubicadas en las playas de Chachacual y Cacaluta (CONANP, 2003). También está presente el Río Seco, localizado en el Municipio San Pedro Huamelula, que desemboca en las proximidades de Morro Ayuta. El Río Zimatán que pasa por las comunidades de la Merced del Potrero, Santa María Xadani, Santa María Petatengo y San Lorenzo.

El oleaje predominante en la región es de procedencia Oeste para el régimen anual, con un componente del Sur en verano. En este caso, el 92.5 % de las

olas incidentes llegan con alturas en el intervalo de 0.3 a 2.4 m siendo las alturas y los periodos significantes de 1.94 m y 8 s (invierno), de 1.33 m y 7 s (primavera), de 2.46 m y 10 s (verano) y de 1.68 m y 8 s (otoño) (Universidad del Mar, 2000).

### 1.6 Geología regional

La geología de Oaxaca está considerada como una de las más complejas de México debido a la extensa variedad de litologías y sistemas de fallas que la conforman, así como su proximidad al límite tectónico activo presente entre las placas de Cocos, Norteamericana y Caribe. Las bahías de interés están contenidas en los terrenos tectonoestratigráficos Oaxaqueño y Xolapa. El primero se formó como consecuencia del primer ciclo tectónico registrado en el área hace unos  $1025 \pm 75$  m.a. (Ortega F, 1981; 2014), además constituye el afloramiento de rocas grenvillianas más extenso de México ( $10000 \text{ km}^2$ ) y el núcleo del microcontinente Oaxaquia (Solari L, 2004). Estudios más recientes sobre rasgos estructurales, metamorfismo y geoquímica sugieren que el Oaxaquia estuvo junto con el bloque Chortis y Amazonia (como se cita en Solari, 2004, p.213). El complejo Xolapa mide aproximadamente 600 km de longitud y de 50 a 150 km de ancho, Ortega (1981), lo clasifica como las raíces de un arco debido a la composición granítica y tipo de metamorfismo del protolito. La edad del complejo Xolapa está establecida poco antes del Cenozoico Mihani (2004).

De acuerdo con la carta Geológico-Minera *Puerto Escondido D14-3* (1996), el basamento del área de estudio corresponde al complejo Oaxaqueño (pTmCM), el cual está conformado por rocas metamórficas entre las cuales se encuentran paragneises y ortogneises, también afloran anortositas, dioritas, gabros, cuerpos calcosilicatados y pegmatitas. Dicho basamento está cubierto por la unidad sedimentaria (KaceCz-Do) del Albiano-Cenomaniano.

Por otra parte afloran rocas pertenecientes al terreno Xolapa, del cual su edad y origen es controversial. Pérez, R. et al, (2009), definen al complejo Xolapa (pEtpa (?)CM) como las rocas que fueron afectadas por migmatización



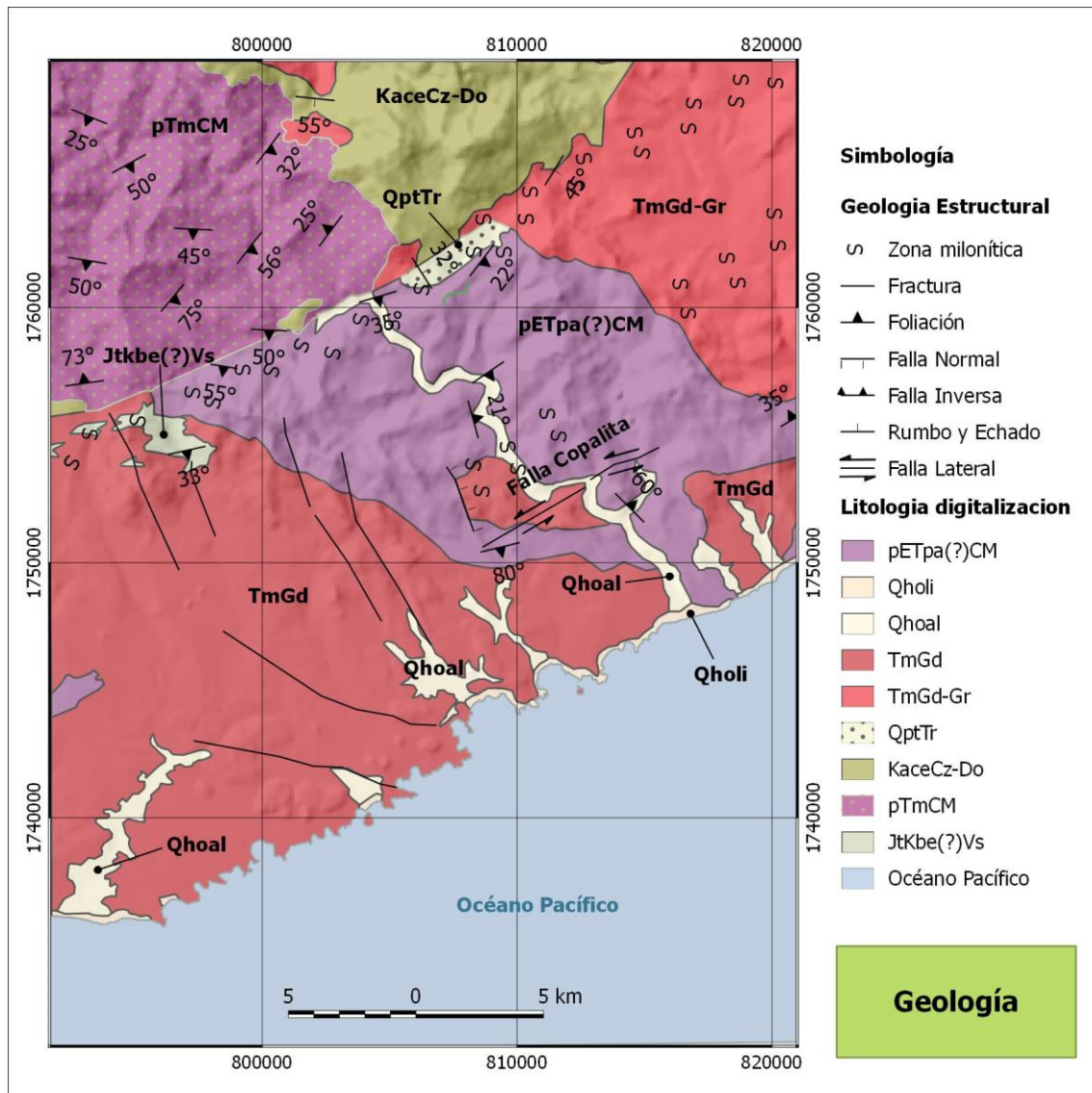
y deformación dúctil de hace aproximadamente 130 m.a. De acuerdo con Ortega F. et al, 2014, aflora una serie de plutones del Oligoceno temprano, que están intrusionando a las migmatitas y se extienden en una dirección Este-Oeste a lo largo de la falla Chacalapa. Hay presentes cuatro principales plutones, Loxichas, Pochuta, Huatulco y Xadani, varían de composición granítica a granodiorítica con biotitas y sus edades han sido datadas entre 29 y 20 Ma. El complejo Xolapa es el más extenso del sur de México y se distribuye a lo largo de la costa oaxaqueña y parte de la costa de Guerrero. Está afectado por episodios de magmatismo granítico calciocalino de edades que van del Jurásico al Oligoceno. Pérez R. et al, 2009, también sugieren que se formó a partir de un arco magmático que fue el basamento del complejo Xolapa durante el Jurásico y a su vez está asociado a parte del terreno Guerrero el cual está situado al noroeste de Acapulco. El complejo Xolapa está conformado por gneiss cuarzo-feldespático, gneiss pelítico, anfibolita, pegmatita, migmatita y algunos horizontes de mármol. También está presente la granodiorita (TmGd), conocida como El Tronco de Huatulco, presenta zonas foliadas y milonitas en zonas cercanas a la falla Chacalapa. El Tronco Xadani, (TmGd-Gr) está constituido por granodioritas de biotita, dicha formación provocó la presencia de mármol y brechas en las calizas (KaceCz-Do). Las tres unidades más recientes pertenecen al Holoceno. El travertino (QptTr) se ubica entre los límites de ambos terrenos tectonoestratigráficos, se formó a partir de la disolución de las calizas de la formación Teposcolula. Las unidades (Qholi) y (Qhoal) son depósitos de litoral y lacustres respectivamente (Puerto Escondido D14-3, SGM, 1996).

### 1.7 Geología estructural

En la región de estudio se localizan una serie de fallas, asociadas al tipo de ambiente tectónico presente. El rasgo estructural más importante de la zona es la Falla Chacalapa, la cual se encuentra al norte de Pochutla, representa el límite entre la porción sur del complejo Xolapa y el complejo Oaxaqueño. Es una falla con desplazamiento lateral izquierdo cuya dirección es E-W, tiene una longitud aproximada de 10 km hacia el poniente de San José Chacalapa y

40 km hacia el oriente, donde se interseca con el Océano Pacífico. Está conformada por ultramilonitas, milonitas, protomilonitas, pseudotaquilitas, filonitas y cataclasitas en orden cronológico de desarrollo (Tolson, 2005). Dicha falla tiene una cinemática vertical, un rumbo Este-Oeste con inclinación hacia el sur y presenta un régimen lateral izquierdo. Se ha interpretado que el evento principal de formación de la falla fue en el Cretácico.

Otras fallas como Pochutla, Figueroa, Mixtepec y Limones, presentan un régimen similar al de la falla Chacalapa, por lo cual se consideran estructuras del mismo sistema (Puerto Escondido D14-3, SGM, 1996).



**Figura 6.** Geología regional, Bahías de Huatulco. Modificado de SGM,1996.

### 1.8 Antecedentes

Hoy en día existen pocos estudios en el área de interés que relacionen las anidaciones de tortugas con las características físicas y químicas de las playas. Algunos trabajos realizados por distintos autores determinan que los parámetros que se han encontrado que pudieran ser utilizados por las tortugas para favorecer sus zonas de anidación son la humedad del suelo, tamaño de grano, perfil de playa, temperatura y anomalías magnéticas (Mortimer, 1990;

Martínez J. 2009). Stancyk y Ross (1978) estudiaron la relación entre las anidaciones y parámetros como la granulometría, Ph, materia orgánica y color de la arena sin encontrar resultados concisos. Las características de las playas de anidación varían de acuerdo a las especies de tortugas marinas (Pritchard y Mortimer, 2000). Por lo tanto caracterizar las playas de anidación con base en sus parámetros sedimentológicos y morfología, permitirá establecer una posible relación entre dichos parámetros y la anidación de las diferentes especies de tortugas marinas que desovan en las costas oaxaqueñas de México. Por otra parte es importante establecer la química de los sedimentos, con el fin de reconocer la posible contaminación de las playas y diseñar planes para su recuperación.

Desde un punto de vista geológico, el estado de Oaxaca es considerado uno de los lugares más complejos del país, presenta una extensa variedad de cada uno de los tres tipos de rocas. Al estar en un límite convergente, es una región sísmicamente activa.

## *1.9 Objetivos*

### *1.9.1 Objetivo general.*

Establecer los parámetros sedimentológicos, composición mineralógica y composición química de la fracción arenosa de 9 playas ubicadas en Bahías de Huatulco y valorar las posibles implicaciones ambientales relacionadas con el hábitat de los organismos entre los que se destacan las tortugas marinas así como una evaluación de la posible contaminación en las playas.

### *1.9.2 Objetivos particulares.*

- Determinar los parámetros sedimentológicos de las arenas que constituyen las playas de Bahías de Huatulco.
- Determinar la composición mineralógica y química de los sedimentos de las playas.

- Comparar los parámetros sedimentológicos de playas de Bahías de Huatulco con los encontrados en el santuario de tortugas La Escobilla, Oaxaca.
- Integrar la información anterior para analizar la variabilidad de componentes mineralógicos y las posibles implicaciones ambientales y ecológicas de los sedimentos estudiados.

## **2. Metodología**

### *2.1 Trabajo de campo*

Se realizó un muestreo de 9 playas (Figuras 7, 8 y 9) ubicadas en 5 bahías diferentes dentro de la zona turística de Bahías de Huatulco y parte del Parque Nacional Huatulco (PNH), Oaxaca. El muestreo se realizó en las siguientes Playas: playa Conejos, playa Conejos 2 y enfrente de playa Conejos (Conejos E) en bahía Conejos; playa Tangolunda dentro de Bahía Tangolunda; playa La Entrega dentro de Bahía Santa Cruz; playa El Maguey dentro de Bahía El Maguey; playa Cacaluta dentro de Bahía Cacaluta; playa Chachacual dentro de Bahía Chachacual y Playa San Agustín dentro de Bahía San Agustín

En cada playa se midió el ancho y la pendiente, el muestreo de sedimento se realizó en la parte media entre cada subzona, es decir, supraplaya, mesoplaya e infraplaya, y tomando como referencia la parte central del ancho de la playa, además las muestras fueron extraídas en los primeros 15 cm de profundidad.

Se realizaron entrevistas a los pescadores para conocer las playas en donde ocasionalmente llegan a anidar las tortugas marinas.



**Figura 7.** Playa Conejos.



**Figura 8.** Playa Cacaluta.



**Figura 9.** Playa San Agustín.

## *2.2 Trabajo de laboratorio*

Con las muestras colectadas se realizaron análisis sedimentológicos, petrográficos y químicos con la finalidad de obtener una base sólida para hacer una interpretación fundamentada. El orden que se siguió en los análisis fue el siguiente:

**Sedimentología.** Obtención de parámetros sedimentológicos para clasificar arenas, ambientes de formación y mecanismo de transporte. Dicho trabajo se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

**Petrografía.** Identificación general de minerales que conforman las arenas para su clasificación en diagramas ternarios con base en los porcentajes presentes en cada muestra. Realizado en el cubículo de la de la Directora de esta tesis en la Facultad de Ingeniería.

Geoquímica. Obtención de los componentes químicos en porcentaje de cada playa con la finalidad de identificar anomalías, evidenciando o descartando la presencia de contaminación. Realizado en el laboratorio de Fluorescencia de rayos X del Instituto de Geología.

### **3. Análisis sedimentológico**

Se define a la Sedimentología como la rama de la geología que estudia la formación, transporte, depósito y características del material acumulado en ambientes terrestres, marinos y transicionales. Para realizar este estudio sedimentológico se llevaron a cabo una serie de procedimientos en laboratorio, a partir de los cuales interpretamos el origen de las partículas, el ambiente de formación y la clasificación de las arenas.

#### *3.1 Tamizado*

El tamizado es la técnica que permite separar los distintos tamaños de grano de una muestra mediante una serie de tamices que a su vez están conformados de mallas metálicas con las que se va reteniendo el material de más grueso a más fino. Para realizar el tamizado de las muestras, primero se dejaron secar al sol durante 12 hrs, posteriormente se pusieron a secar en el laboratorio bajo lámparas durante 12 hrs más (Figura 10).





**Figura 10.** Secado de muestras en laboratorio. Tomada en el Laboratorio de sedimentología de ICMYL.

Para el tamizado de las muestras se utilizaron las siguientes mallas (Tabla 2)

Escala $\phi$	Malla	mm	Clasificación de la partícula
-1	10	2	Arena muy gruesa
0	18	1	Arena gruesa
1	35	0.5	Arena media
2	60	0.250	Arena fina
3	120	0.125	Arena muy fina
4	230	0.063	Limo grueso
4<	270	0.053	Limo medio

**Tabla 2.** Clasificación de partícula de acuerdo a su tamaño (Friedman and Sanders 1978).

De cada muestra se obtuvo el peso previamente a su tamizado, después se colocó en el tamizador durante 5 min (Figuras 11,12 y 13). Por último se obtuvo la sumatoria del material retenido en cada tamiz para corroborar que la pérdida de material no fuera mayor a 0.5 g.



**Figura 11.** Pesado de muestra.



**Figura 12.** Tamizado en ROT-TAP.

Tomadas en el Laboratorio de sedimentología de ICMYL.



**Figura 13.** Muestras acomodadas por playa y peso.

Tomada en el Laboratorio de sedimentología de ICMYL.

Con los pesos finales obtenidos de la sumatoria se obtuvieron los siguientes valores: Peso acumulado, %peso y %peso acumulado (Tabla 3).

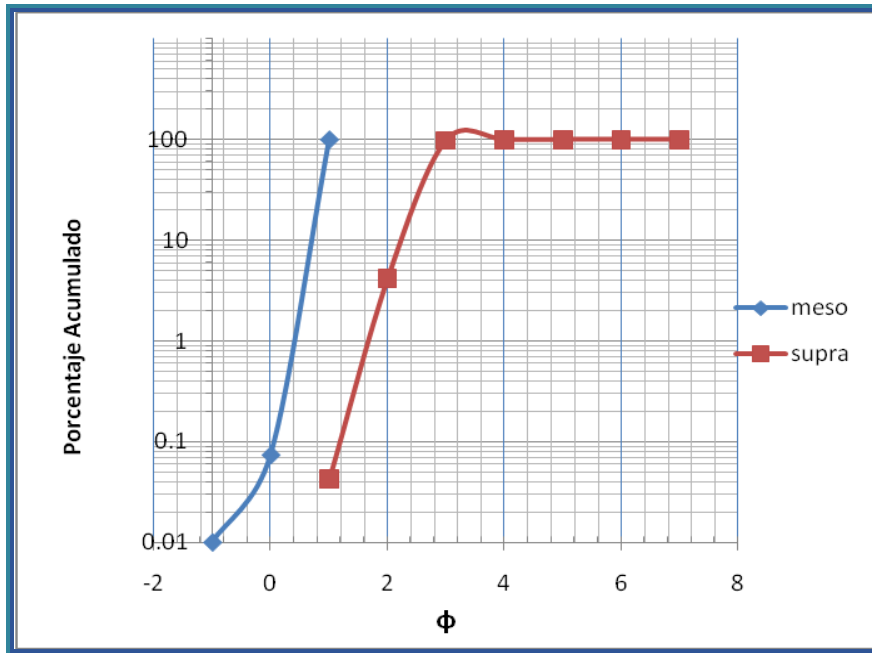
Infraplaza Cacaluta	Peso (g)	Peso Acumulado	Peso en %	% Acumulado
-1	9.19	9.19	9.43	9.43
0	75.8	84.99	77.77	87.21
1	12.34	97.33	12.66	99.87
2	0.06	97.39	0.061	99.93
3	0.04	97.43	0.04	99.98
4	0.01	97.45	0.01	100
> 4	0	97.45	0	100

**Tabla 3.** Ejemplo de tabla generada a partir de los valores obtenidos del tamizado.

### 3.2 Clasificación de las muestras de acuerdo a sus parámetros estadísticos

La clasificación de partículas de acuerdo con su tamaño es posible debido a que en la mayoría de partículas existentes en un medio dado, los tamaños de grano tienden a acumularse uniformemente, dicho de otro modo, existe un predominio claro de un tamaño determinado (Folk, 1980).

A partir de tablas realizadas de igual forma que la tabla 3, se graficó el valor de  $\phi$  contra el valor del peso en porcentaje acumulado (Figura 14) para obtener los valores de los cuartiles  $\phi_{95}$ ,  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{75}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{16}$  y  $\phi_5$ , los cuales se utilizaron para realizar el análisis estadístico mediante el uso de las siguientes ecuaciones (Figura 15).



**Figura 14.** Gráfica que representa los valores de  $\phi$  contra el porcentaje de peso acumulado. Mediante esta gráfica se obtienen los valores de  $\phi$  utilizados en las ecuaciones 1, 2 y 3.

(1) Mediana ( $Md_{\phi}$ ) = $\phi_{50}$	(3) Desviación standard ( $\sigma_{\phi}$ ) = $\frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$
(2) Media ( $Mz$ ) = $\frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	(4) Asimetría ( $SK_1$ ) = $\frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$
	(5) Curtosis ( $K_G$ ) = $\frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

**Figura 15.** Ecuaciones para calcular parámetros sedimentológicos (Folk, 1978).

Para obtener el valor de la desviación estándar (Tabla 4), se utilizó la ecuación (3), se sabe que es la mejor en cuanto a clasificación de partículas debido a que incluye el 90% de la distribución de las partículas para muestra analizada en escala phi.

< 0.35	Muy bien clasificada
0.35 - 0.50	Bien clasificada
0.50 - 0.71	Moderadamente bien clasificada
0.71 - 1.0	Moderadamente clasificada
1.0 - 2.0	Mal clasificada
2.0 - 4.0	Moderadamente mal clasificada
> 4.0	Extremadamente mal clasificada

**Tabla 4.** Clasificación de partículas de acuerdo a la desviación estándar (Folk, 1980).

Además el valor de la asimetría (Tabla 5) obtenido mediante la ecuación (4), permite conocer a partir de la media, que es para este tipo de análisis el tamaño de partícula que predomina, si los tamaños de partícula que le dan la segunda clasificación o apellido a la muestra tienden a ser finos o gruesos, además se verá reflejado en la curva de la gráfica al inclinarse hacia la derecha o izquierda respectivamente (Folk, 1980). Por ejemplo si nuestra media corresponde a un valor de arenas finas ( $3\phi$ ) y las colas predominan en el valor de limos gruesos ( $4\phi$ ), la clasificación de la muestra será arena limosa ó arena con limos.

1.0 a 0.3	Muy asimétrica - finos
0.3 a 0.1	Asimétrica - finos
0.1 a -0.1	Simétrica
-0.1 a -0.3	Asimétrica - gruesos
-0.3 a -1.0	Muy asimétrica - gruesos

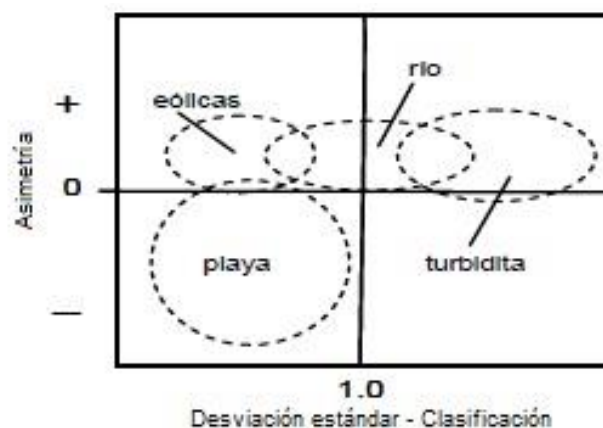
**Tabla 5.** Clasificación de muestras de acuerdo a la asimetría (Folk, 1980).

Por último, Folk 1980 menciona que en una curva normal de probabilidad el diámetro entre el intervalo de  $\phi_5$  y  $\phi_{95}$  debe ser 2.44 veces el diámetro entre el intervalo de  $\phi_{25}$  y  $\phi_{75}$ , ecuación (5). Cuando se cumple lo anterior, se dice que la Curtosis es normal y la gráfica será como una línea recta. Dicho de otra manera, la Curtosis mide cuantitativamente la deformación de la curva. Si en una muestra se observa que la parte central de la gráfica está mejor clasificada con respecto a los demás tamaños de partículas, es decir las colas, la curva se acentúa en un punto volviéndose más cerrada y se clasificará como extremadamente bien clasificada o leptocurtica, de lo contrario, cuando las colas muestran valores similares de buena clasificación con respecto a la región central de la gráfica, la curva se verá menos acentuada en un punto y se clasificará como platicúrtica (Tabla 6).

< 0.67	Muy platicurtica
0.67 - 0.90	Platicurtica
0.90 - 1.11	Mesocurtica
1.11 - 1.50	Leptocurtica
1.50 - 3.00	Muy leptocurtica
> 3.0	Extremadamente leptocurtica

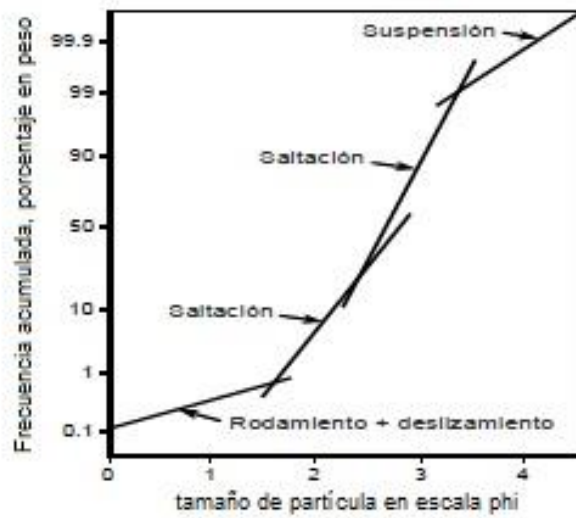
**Tabla 6.** Clasificación de una muestra con respecto al valor de la curtosis (Folk, 1980).

Se clasificó el tipo de ambiente sedimentario de formación de las arenas de acuerdo a su asimetría y clasificación con el gráfico de Bjorlykke 1984.



**Figura 16.** Clasificación del ambiente de formación de las arenas (Bjorlykke, 1984).

Para clasificar el mecanismo de transporte de partículas, se usó la gráfica que compara la escala phi y el porcentaje acumulado.



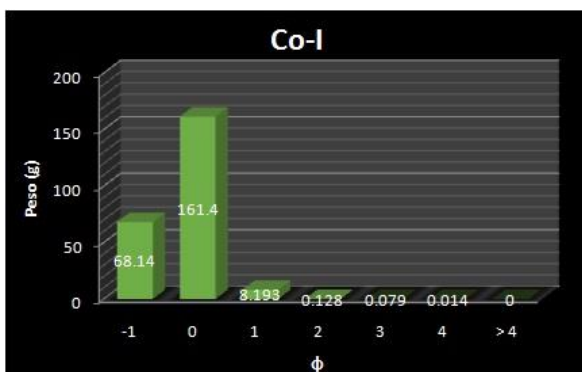
**Figura 17.** Clasificación del mecanismo de transporte de partícula a partir de la escala phi y la frecuencia acumulada (Modificado de Visher, 1969).

### 3.3 Parámetros sedimentológicos de las playas

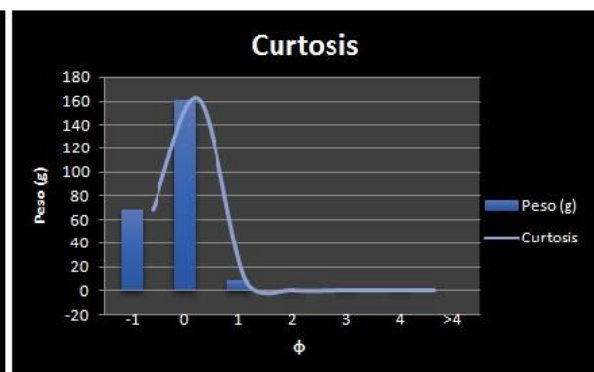
Se obtuvieron los parámetros sedimentológicos: tamaño gráfico promedio ( $Mz \Phi$ ), desviación estándar (clasificación  $\sigma\Phi$ ), asimetría y curtosis, para cada subzona de playa muestreada (infraplaya, mesoplaya y supraplaya).

#### Playa conejos

##### Conejos infraplaya.



**Figura 18.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Conejos.

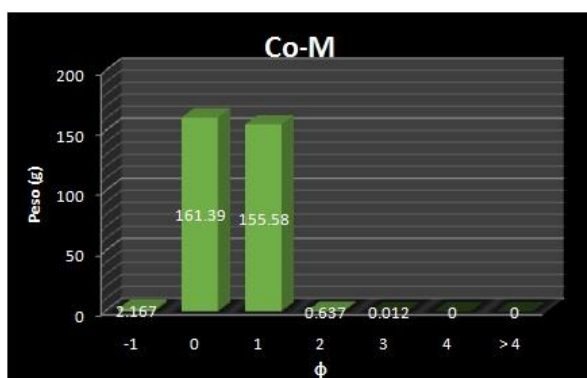


**Figura 19.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Conejos.

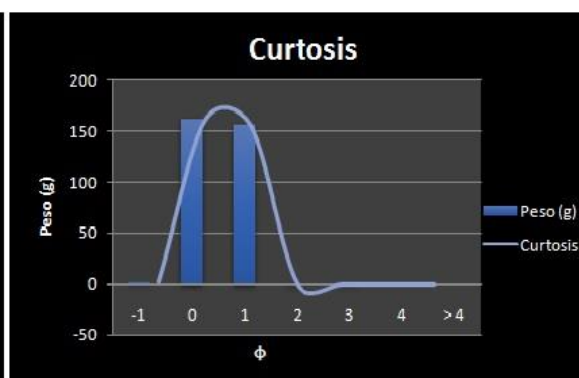
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.75	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.67	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-1.64	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	1.18	Leptocurtica

**Tabla 7.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Conejos.

*Conejos mesoplaya.*



**Figura 18.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Conejos.



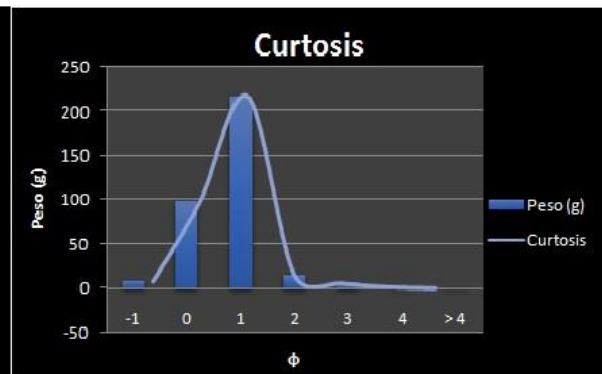
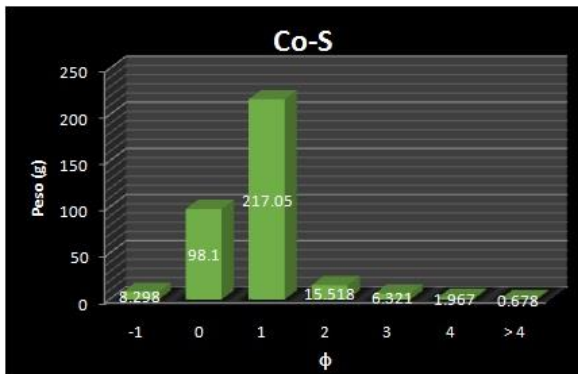
**Figura 19.** Representación gráfica de la curtosidad en la subzona mesoplaya en la muestra Conejos.

Parámetro	Valor ( $\phi$ )	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.01	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.32	Muy bien clasificada
Asimetría	-0.04	Simétrica
Curtosis	1.04	Mesocurtica

**Tabla 8.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Conejos.



*Conejos supraplaya.*



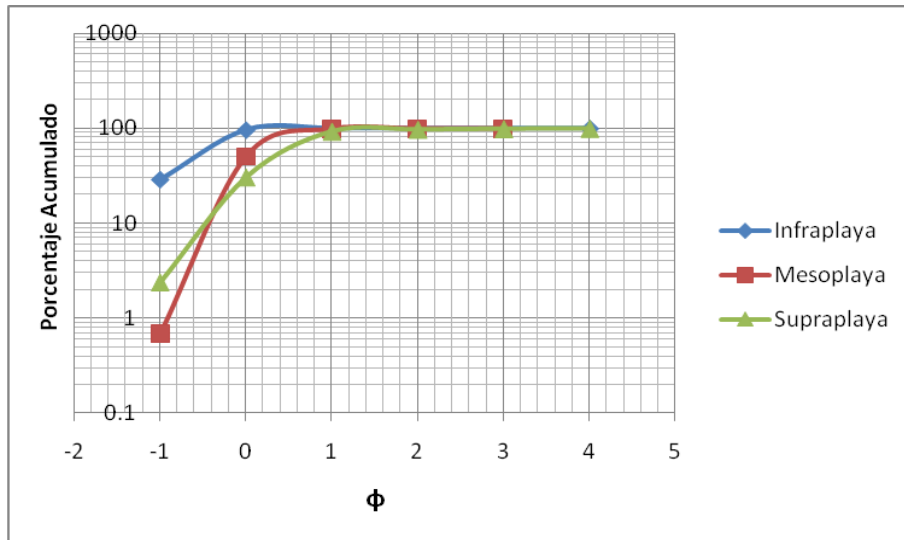
**Figura 20.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Conejos.

**Figura 21.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra Conejos.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.28	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.55	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.26	Asimétrica - gruesos
Curtosis	0.90	Mesocurtica

**Tabla 9.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Conejos.

La playa Conejos ubicada en Bahía Conejos presenta una variación en sus parámetros estadísticos en donde la zona de infraplaya corresponde con arenas muy gruesas, moderadamente bien clasificadas, muy simétrica hacia gruesos y leptocurtica, en tanto que en la zona de mesoplaya mantiene su tamaño de grano, cambia a muy bien clasificada, simétrica y mesocurtica. En la última zona en tamaño de partícula transgrede a gruesos, su clasificación baja a moderadamente bien clasificada con asimetría hacia gruesos y se mantiene mesocurtica.

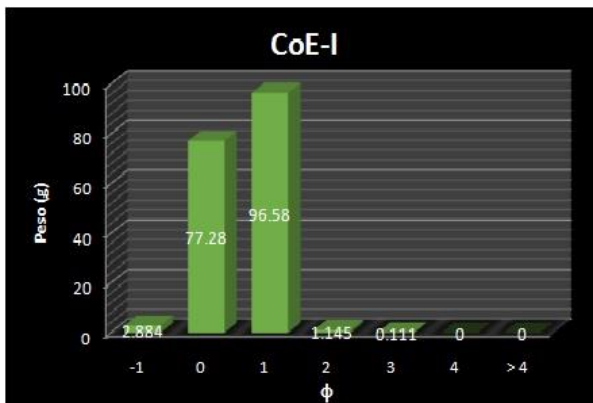


**Figura 22.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Conejos.

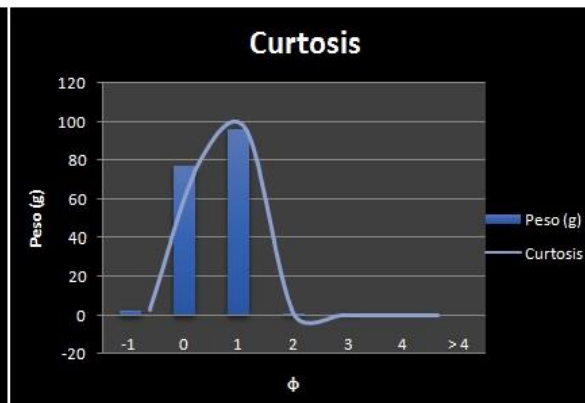
En la playa conejos el aporte de los sedimentos se da principalmente mediante dos mecanismos de transporte: rodamiento – deslizamiento y saltación, también se observan en la subzona de supraplaya partículas transportadas por suspensión en menor cantidad.

### Playa conejos E

#### Conejos E infraplaya.



**Figura 23.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Conejos E.



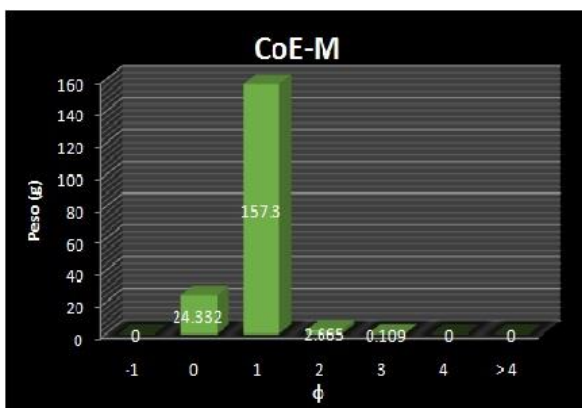
**Figura 24.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Conejos E.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-

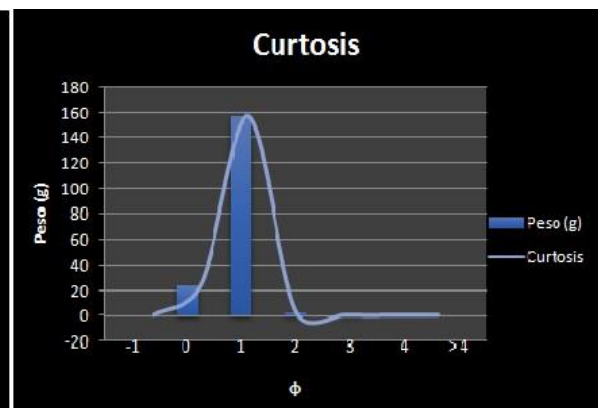
Mz $\phi$	0.15	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.52	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	0.21	Asimétrica - finos
Curtosis	1.05	Mesocurtica

**Tabla 10.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Conejos E.

*Conejos E mesoplaya.*



**Figura 25.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Conejos E.

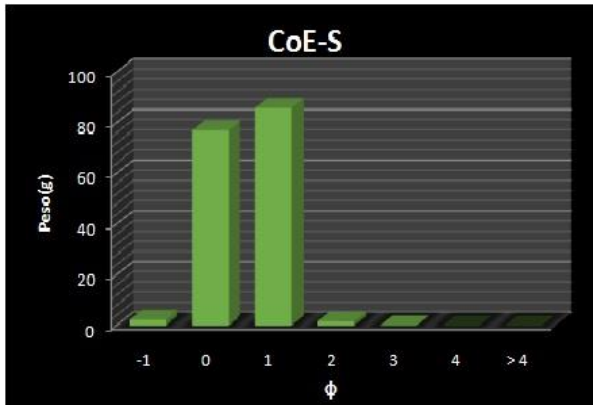


**Figura 26.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Conejos E.

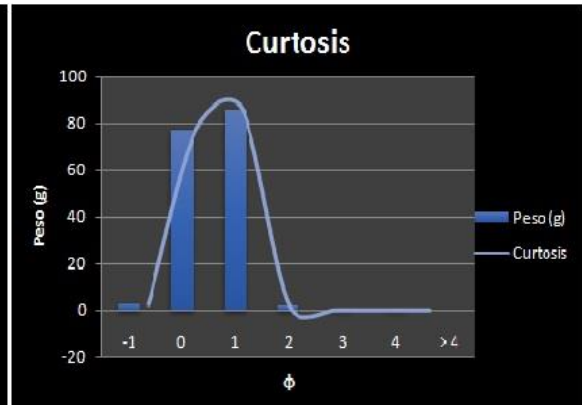
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.47	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.38	Bien clasificada
Asimetría	-0.23	Asimétrica - gruesos
Curtosis	0.85	Platicurtica

**Tabla 11.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Conejos E.

*Conejos E supraplaya.*



**Figura 27.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Conejos E.

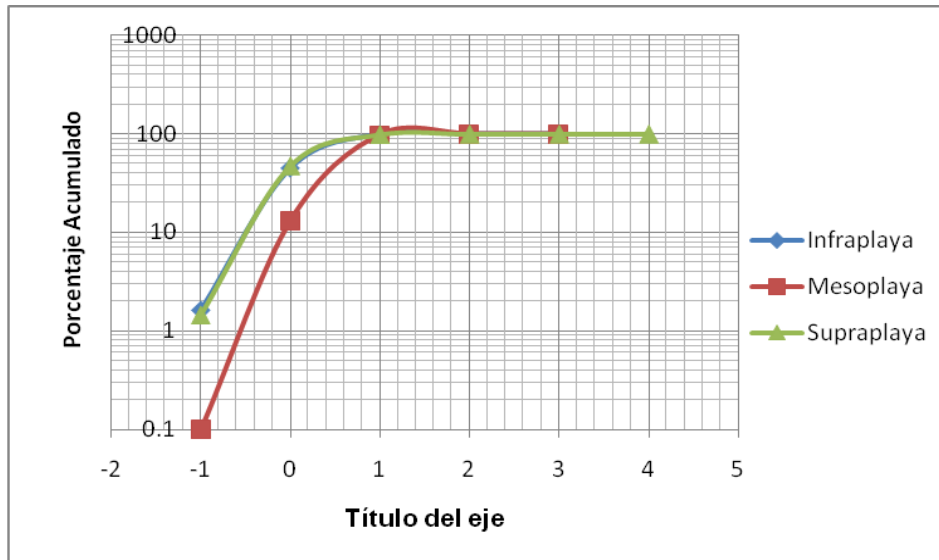


**Figura 28.** Representación gráfica de la curtosidad en la subzona supraplaya en la muestra Conejos E.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.14	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.52	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	0.29	Asimétrica - finos
Curtosis	1.12	Leptocurtica

**Tabla 12.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Conejos E.

La Playa Conejos Enfrente presenta un tamaño de grano de arena gruesa en las tres subzonas muestreadas así como una clasificación que se mantiene en promedio moderadamente buena. Es mesocurtica en la zona de infraplaya, cambiando a platicurtica en la zona de mesoplaya y manteniéndose así en la última subzona.

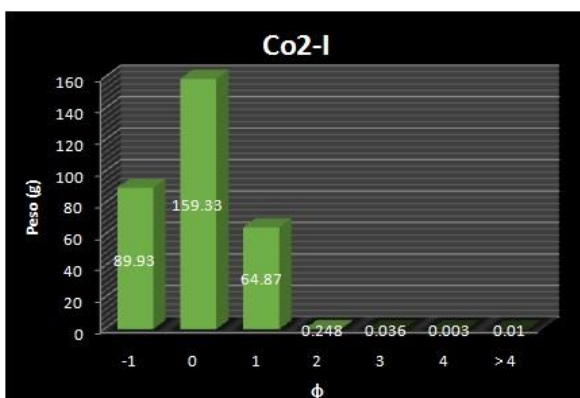


**Figura 29.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Conejos E.

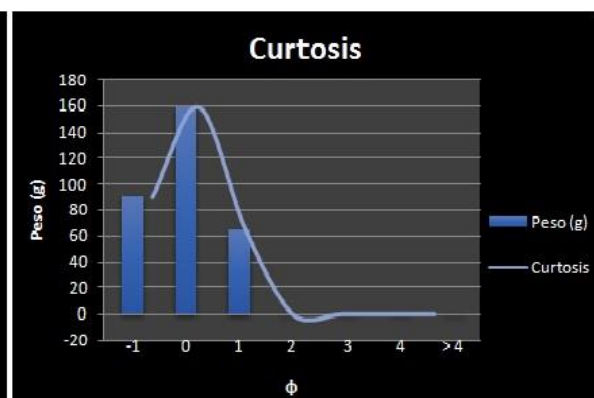
En esta playa se observa un comportamiento interesante entre las zonas de infraplaya y supraplaya. Básicamente la gráfica se desarrolla de manera similar a diferencia de que en la primera zona mencionada las partículas más finas corresponden a la escala 3 phi y en la zona de supraplaya sigue habiendo aporte de materiales correspondientes a la escala 4 phi. Por lo tanto, se determina que el mecanismo de transporte es rodamiento – deslizamiento y saltación en proporciones muy pequeñas. Para la zona de mesoplaya hay un claro predominio en las partículas que fueron transportadas por rodamiento deslizamiento.

### Playa conejos 2

#### Conejos 2 infraplaya.



**Figura 30.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Conejos 2.

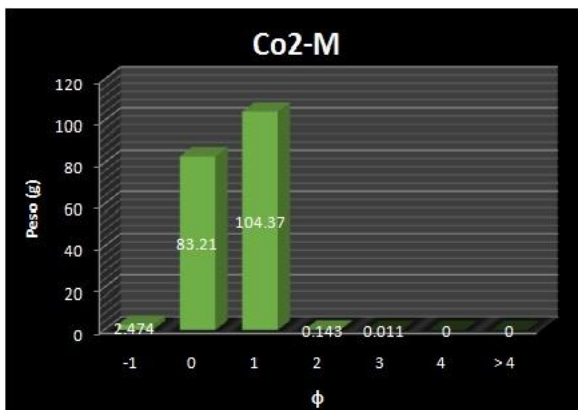


**Figura 31.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Conejos 2.

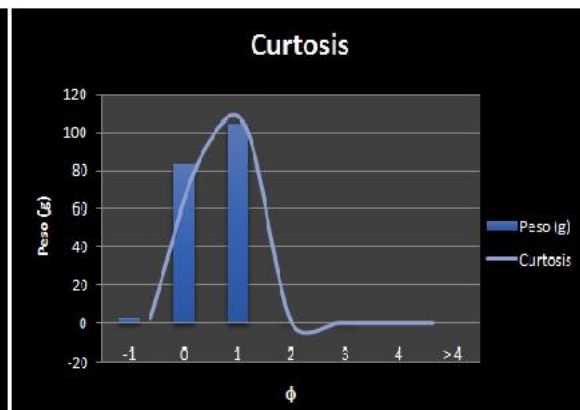
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.67	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.89	Moderadamente clasificada
Asimetría	-2.13	Muy asimétrica – gruesos
Curtosis	1.24	Leptocurtica

**Tabla 13.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Conejos 2.

*Conejos 2 mesoplaya.*



**Figura 32.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Conejos 2.

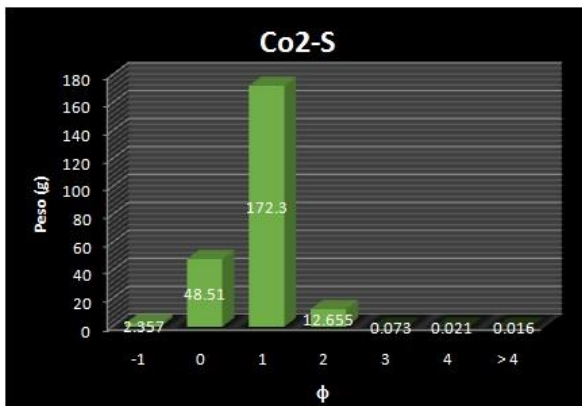


**Figura 33.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Conejos 2.

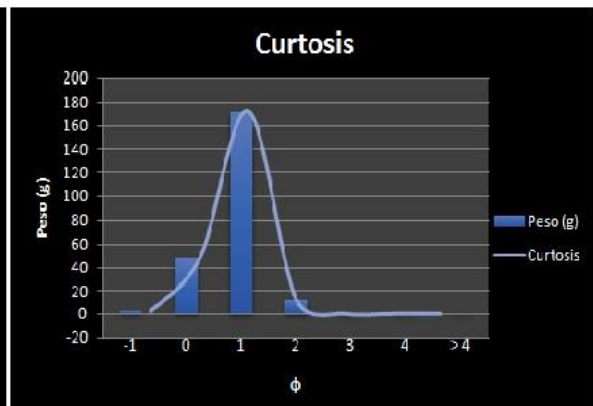
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.06	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.44	Bien clasificada
Asimetría	0.14	Asimétrica - finos
Curtosis	1.12	Leptocurtica

**Tabla 14.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Conejos 2.

Conejos 2 supraplaya.



**Figura 34.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Conejos 2.

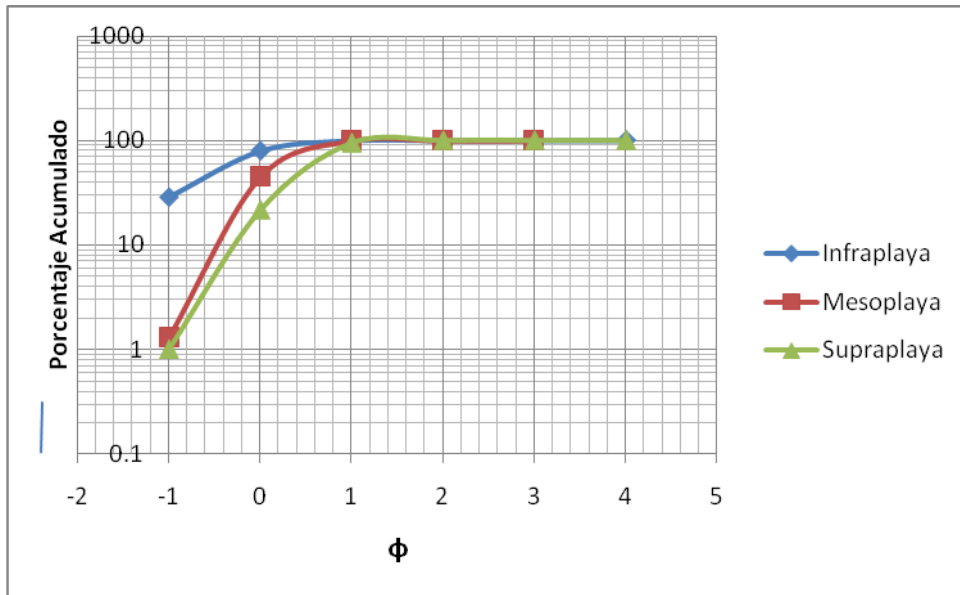


**Figura 35.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra Conejos 2.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.39	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.47	Bien clasificada
Asimetría	-0.32	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	0.87	Platicurtica

**Tabla 15.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Conejos 2.

La playa Conejos 2 gradúa de arenas muy gruesas en la subzona de infraplaya a arenas gruesas en meso y supraplaya y de moderadamente clasificada a bien clasificada en las mismas, la asimetría es muy variable, en infraplaya tiene asimetría hacia gruesos, en mesoplaya hacia finos y en supraplaya es muy asimétrica hacia gruesos. Se observa leptocurtica en infra y mesoplaya cambiando a platicurtica en la subzona de supraplaya.

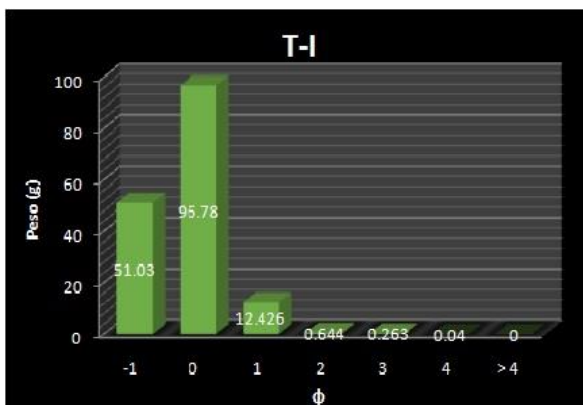


**Figura 36.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Conejos 2.

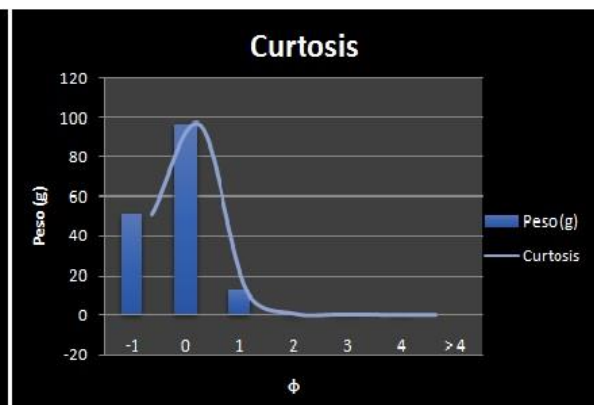
A pesar de que hay presencia de partículas medias y finas, la cantidad es prácticamente despreciable, por lo tanto el principal mecanismo de transporte de las tres zonas es rodamiento – deslizamiento.

### Playa Tangolunda

#### Tangolunda infraplaya.



**Figura 37.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Tangolunda.



**Figura 38.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Tangolunda.

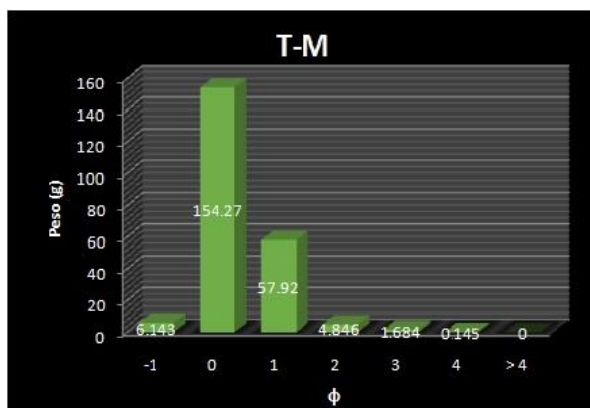
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-



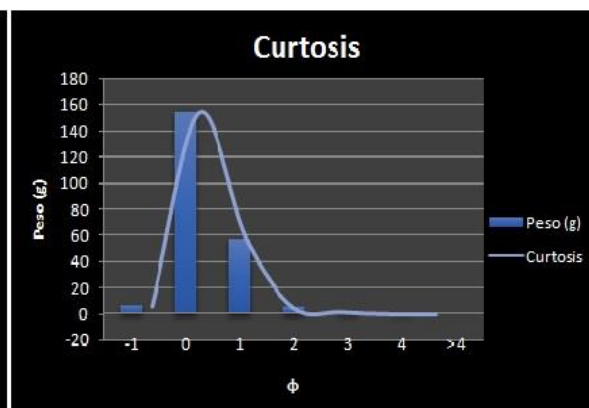
Mz $\phi$	-0.78	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.75	Moderadamente clasificada
Asimetría	-2.03	Muy asimétrica – gruesos
Curtosis	1.10	Mesocurtica

**Tabla 16.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Tangolunda.

*Tangolunda mesoplaya.*



**Figura 39.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Tangolunda.

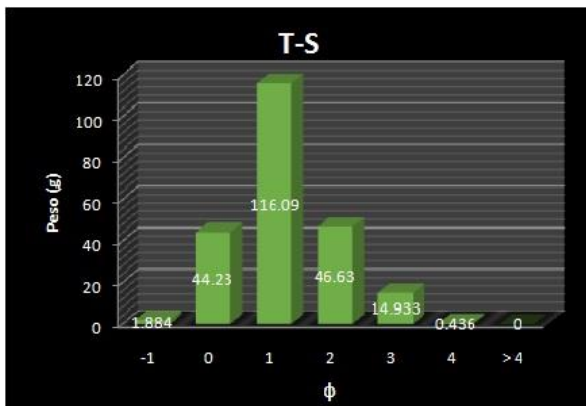


**Figura 40.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Tangolunda.

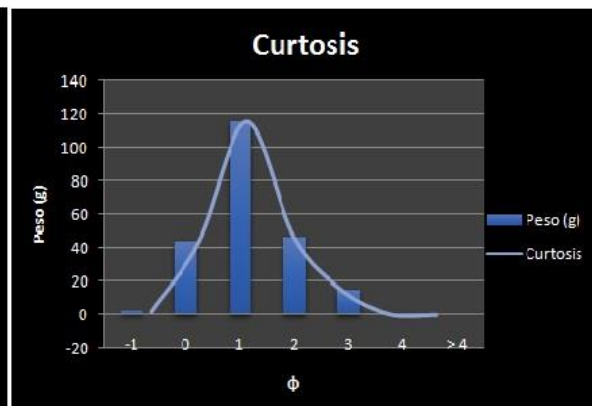
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.18	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.46	Bien clasificada
Asimetría	0.80	Muy asimétrica – finos
Curtosis	1.92	Muy leptocurtica

**Tabla 17.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Tangolunda.

*Tangolunda supraplaya.*



**Figura 41.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Tangolunda.

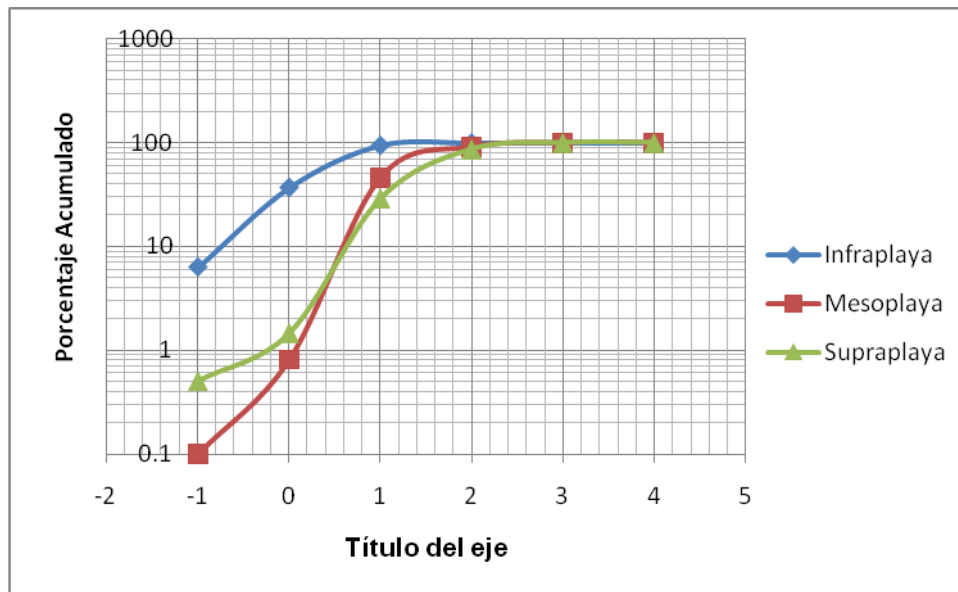


**Figura 42.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Tangolunda.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.6	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.76	Moderadamente clasificada
Asimetría	0.91	Muy asimétrica – finos
Curtosis	1.17	Leptocurtica

**Tabla 18.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Tangolunda.

En la playa Tangolunda dentro de la Bahía que lleva el mismo nombre se observa un cambio en la granulometría correspondiendo con arenas muy gruesas en las primeras dos subzonas y graduando a gruesa en la última subzona. Las arenas son moderadamente clasificadas en infra y supra playa y bien clasificada en mesoplaya. Es asimétrica hacia gruesos en infraplaya y gradúa a asimétrica hacia finos en las dos zonas subsecuentes. La curtosis se muestra Mesocurtica en la primer subzona y leptocurtica en las subzonas restantes.



**Figura 43.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Tangolunda.

Para la zona de infraplaya los mecanismos de transporte que se observan son rodamiento – deslizamiento y saltación en bajas proporciones. En la zona de mesoplaya observamos los tres mecanismos de transporte, predomina el rodamiento – deslizamiento, el aporte de partículas mediante saltación y suspensión se da cada vez en menos proporciones en el respectivo orden. Por último, en la zona de supraplaya también se observan los tres mecanismos de transporte, rodamiento – deslizamiento principalmente aunque con una importante presencia de partículas transportadas por saltación y suspensión en bajas proporciones.

Playa La Entrega

La Entrega infraplaya.

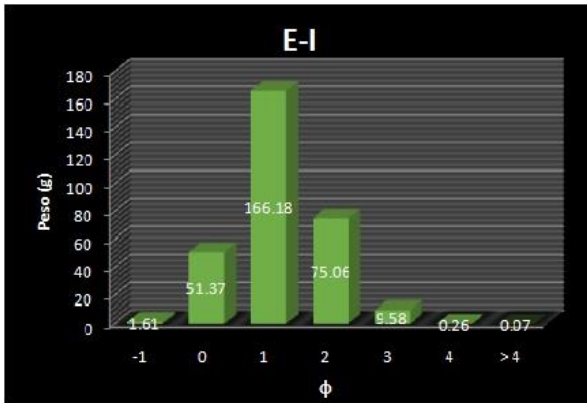


Figura 44. Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra La Entrega.

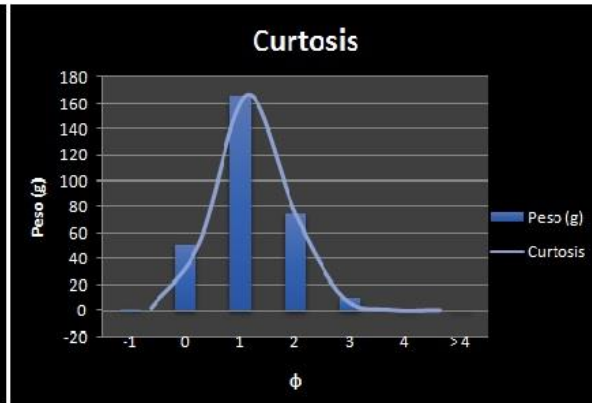


Figura 45. Representación gráfica de la curtosidad en la subzona infraplaya en la muestra La Entrega.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.59	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.68	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	0.46	Muy asimétrica - finos
Curtosis	1.06	Mesocurtica

Tabla 19. Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa La Entrega.

La Entrega mesoplaya.

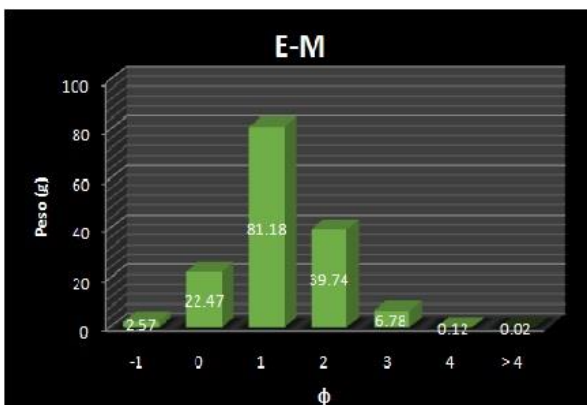


Figura 46. Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra La Entrega.

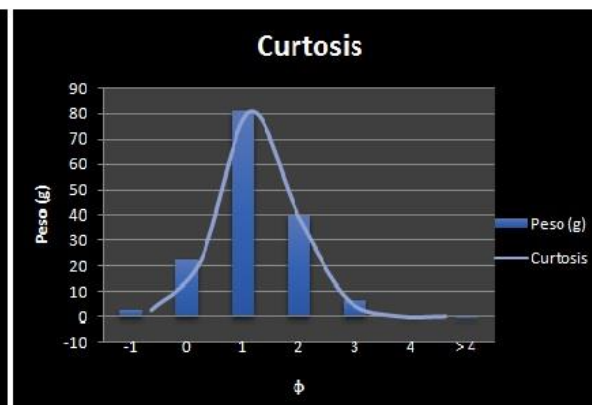
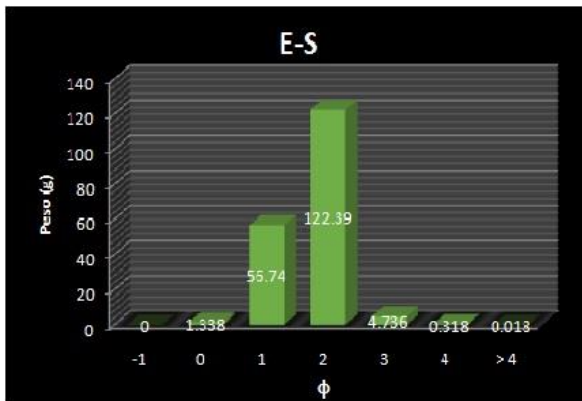


Figura 47. Representación gráfica de la curtosidad en la subzona mesoplaya en la muestra La Entrega.

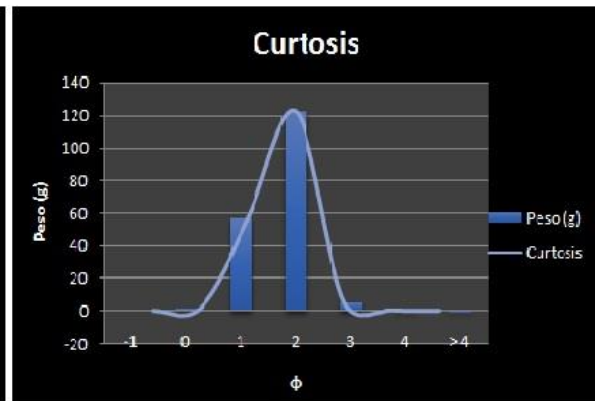
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.66	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.71	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.00	Simétrica
Curtosis	1.22	Leptocurtica

**Tabla 20.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa La Entrega.

*La Entrega supraplaya.*



**Figura 48.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra La Entrega.

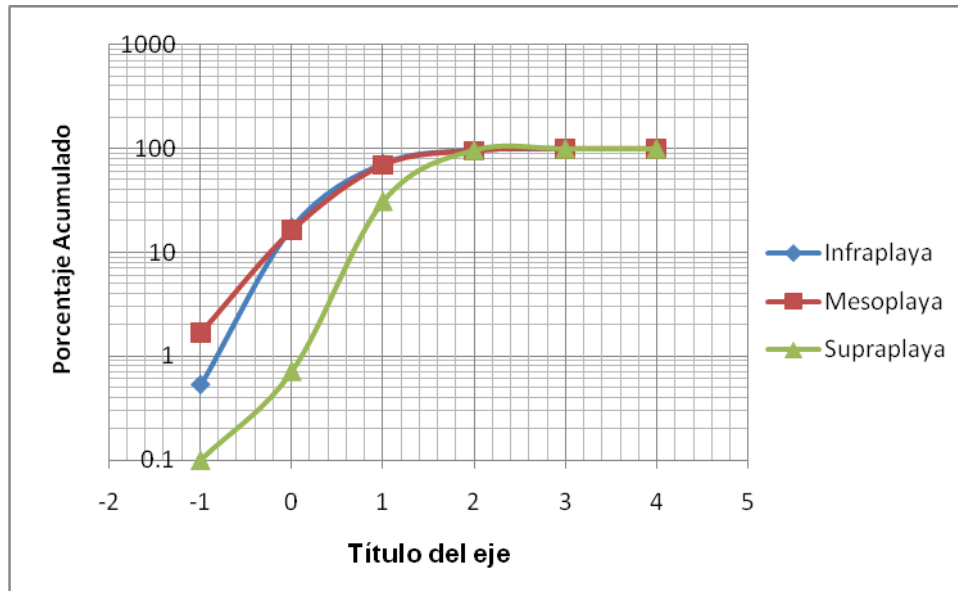


**Figura 49.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra La Entrega.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	2	-
Mz $\phi$	1.25	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.47	Bien clasificada
Asimetría	0.05	Simétrica
Curtosis	0.90	Platicurtica

**Tabla 21.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa La Entrega.

En la playa La Entrega ubicada dentro de la Bahía Santa Cruz, se presentaron arenas gruesas en infra y mesoplaya y arenas medias en supraplaya, de moderadamente bien clasificadas en infra y mesoplaya a bien clasificadas en supraplaya, dichas arenas son muy asimétricas hacia finos en infraplaya y simétricas en las subzonas restantes.

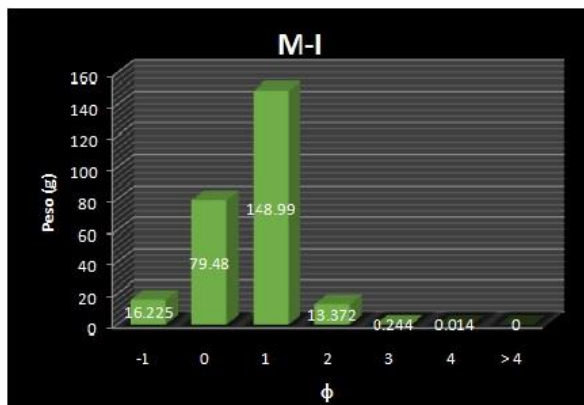


**Figura 50.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa La Entrega.

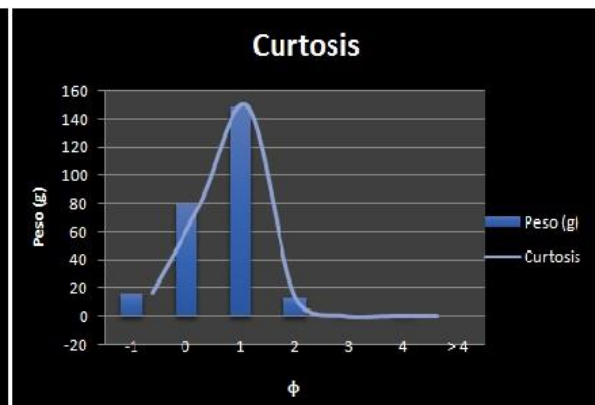
En esta playa se observan los tres mecanismos de transporte en las tres zonas, rodamiento – deslizamiento, saltación y suspensión. Pero es importante resaltar que el mecanismo principal de transporte es el primero de los tres mencionados

### Playa maguey

#### Maguey infraplaya.



**Figura 51.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Maguey.

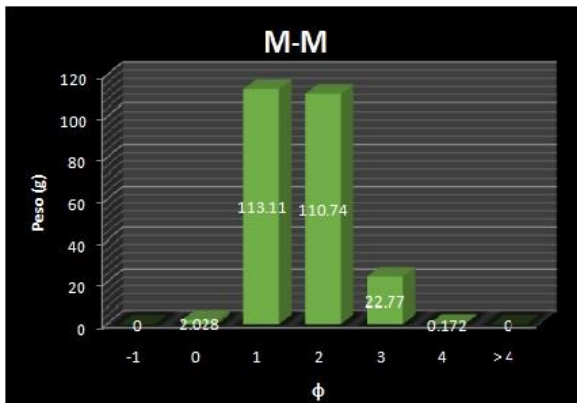


**Figura 52.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Maguey.

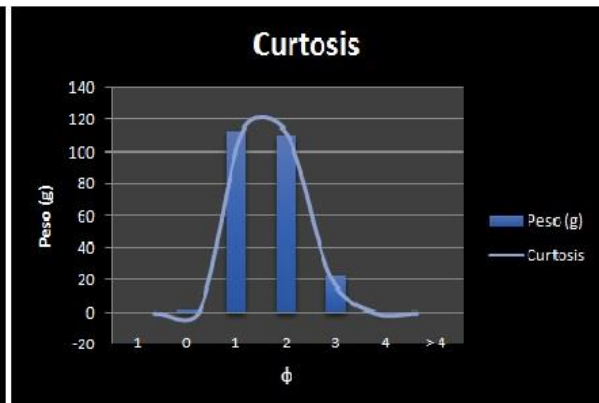
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.18	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.65	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.72	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	0.97	Leptocurtica

**Tabla 22.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Maguey.

*Maguey mesoplaya.*



**Figura 53.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Maguey.

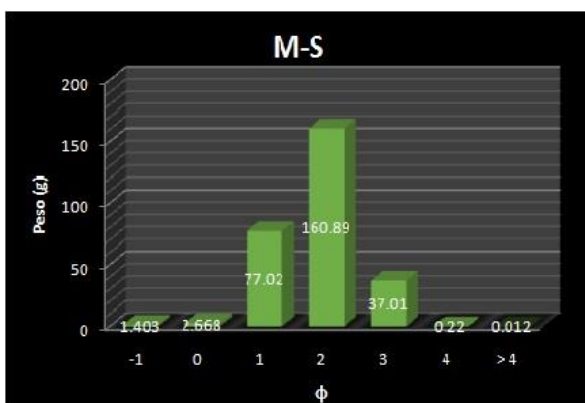


**Figura 54.** Representación gráfica de la curtosidad en la subzona mesoplaya en la muestra Maguey.

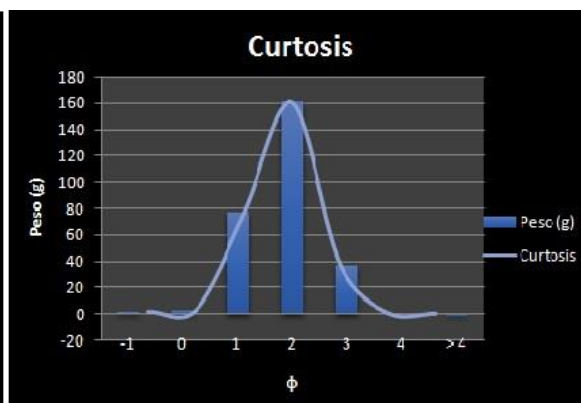
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	1.12	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.49	Bien clasificada
Asimetría	0.70	Muy asimétrica - finos
Curtosis	1.39	Leptocurtica

**Tabla 23.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Maguey.

*Maguey supraplaya.*



**Figura 55.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Maguey.



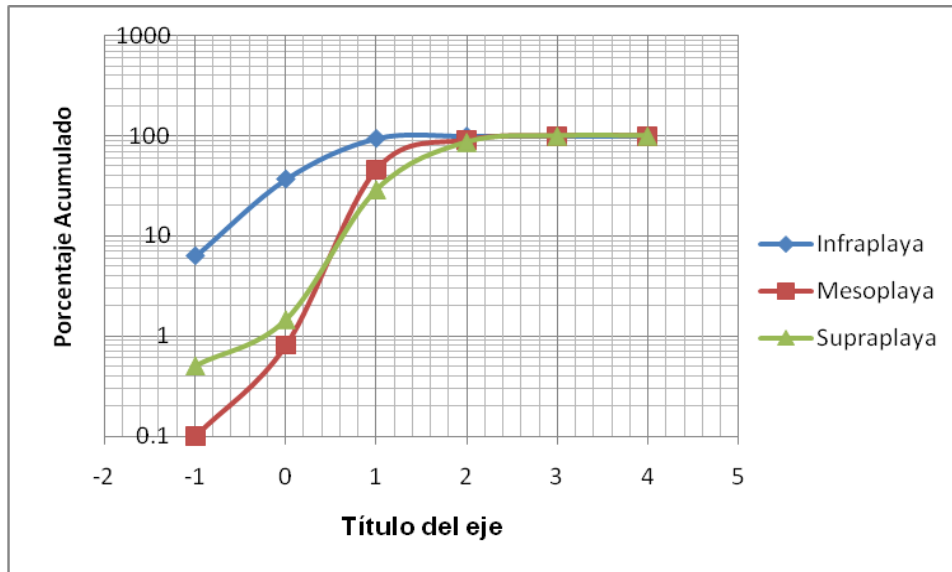
**Figura 56.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra Maguey.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	2	-
Mz $\phi$	1.37	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.58	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.10	Simétrica
Curtosis	0.82	Platicurtica

**Tabla 23.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Maguey.

Los parámetros sedimentológicos encontrados en la playa Maguey son: El tamaño gráfico promedio va de arenas gruesas en infraplaya hasta arenas medias en meso y supraplaya, moderadamente bien clasificadas en infra y supraplaya y bien clasificadas en mesoplaya. Se observa muy asimétrica hacia gruesos en la subzona de infraplaya, muy asimétrica hacia finos en zona de mesoplaya y simétrica en la subzona de supraplaya. Por último es leptocurtica en infraplaya y mesoplaya y platicurtica en supraplaya.



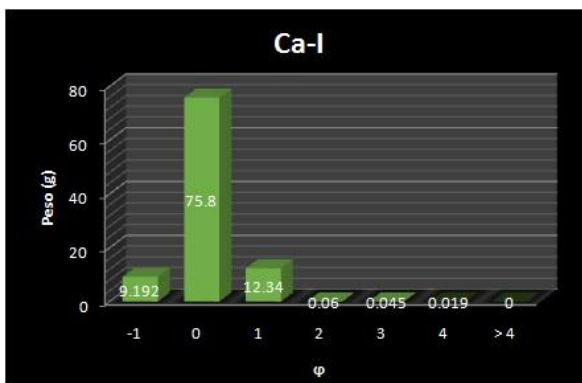


**Figura 57.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Maguey.

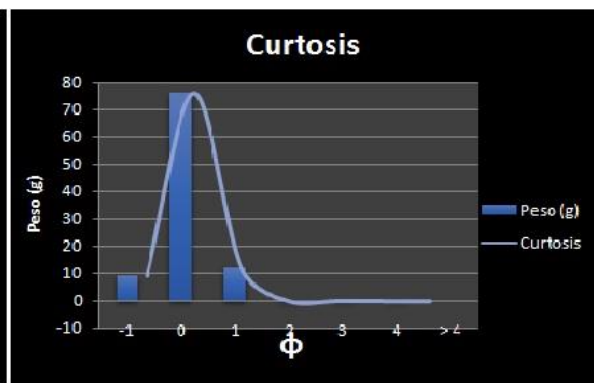
En las tres zonas se observa un mecanismo principal de transporte por rodamiento – deslizamiento y secundario que es saltación. Hay partículas presentes transportadas por suspensión pero en pequeñas cantidades

### *Playa cacaluta*

#### *Cacaluta infraplaya.*



**Figura 58.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra Cacaluta.

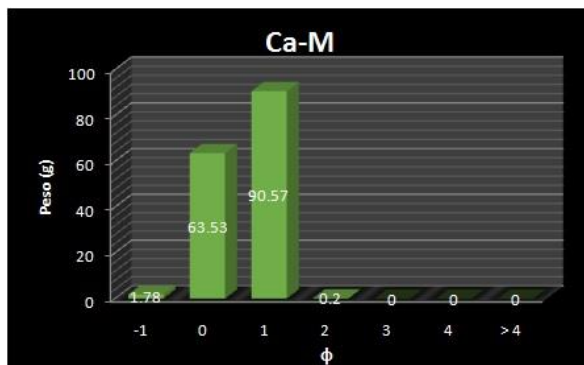


**Figura 59.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra Cacaluta.

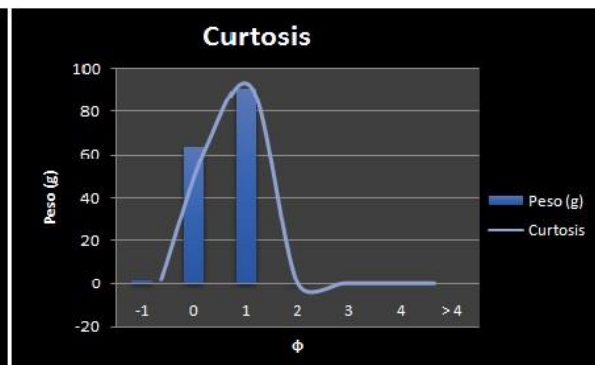
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.38	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.39	Bien clasificada
Asimetría	-0.47	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	1.17	Leptocurtica

**Tabla 24.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa Cacaluta.

*Cacaluta mesoplaya.*



**Figura 60.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Cacaluta.

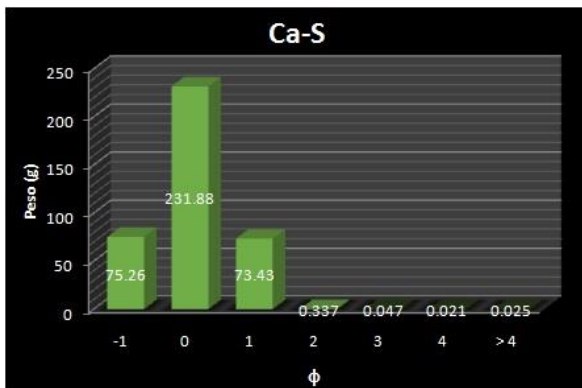


**Figura 61.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Cacaluta.

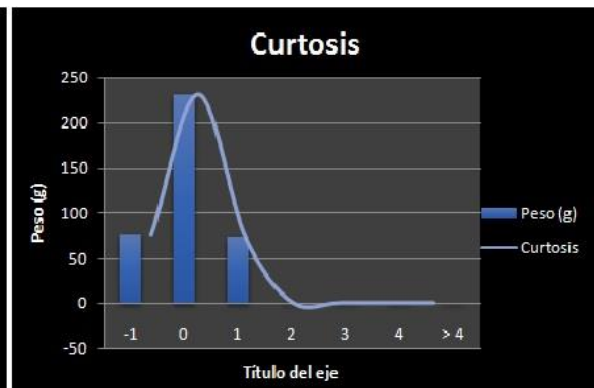
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.12	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.45	Bien clasificada
Asimetría	0.09	Simétrica
Curtosis	1.03	Mesocurtica

**Tabla 25.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Cacaluta.

*Cacaluta supraplaya.*



**Figura 62.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Cacaluta.

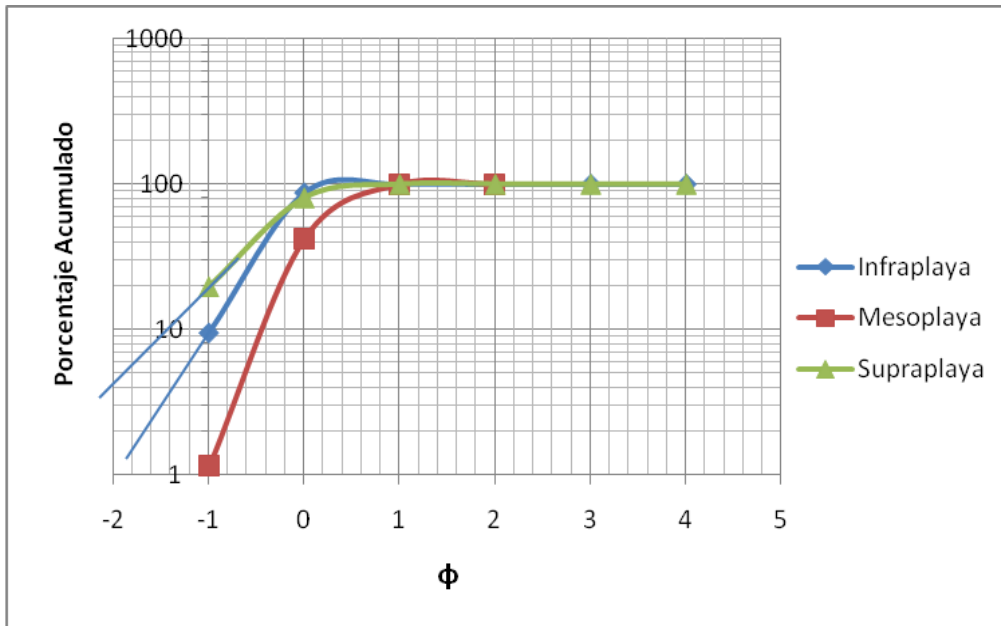


**Figura 63.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra Cacaluta.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	0	-
Mz $\phi$	-0.51	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.64	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-1.09	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	1.15	Leptocurtica

**Tabla 26.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Cacaluta.

En la playa Cacaluta las subzonas de infraplaya y supraplaya presentan arenas muy gruesas, son muy asimétrica hacia gruesos y leptocurticas, mientras que en la muestra de mesoplaya es gruesa, bien clasificada, simétrica y mesocurtica.

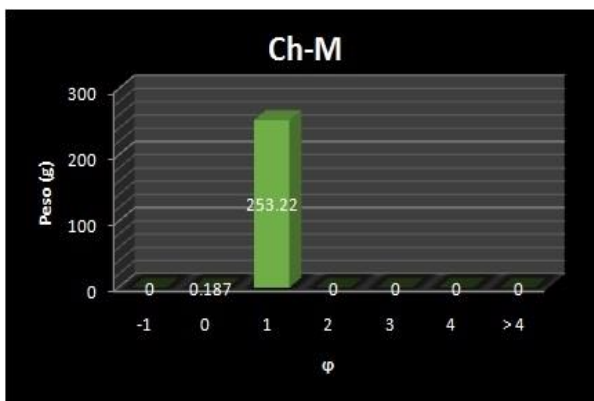


**Figura 64.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Cacaluta.

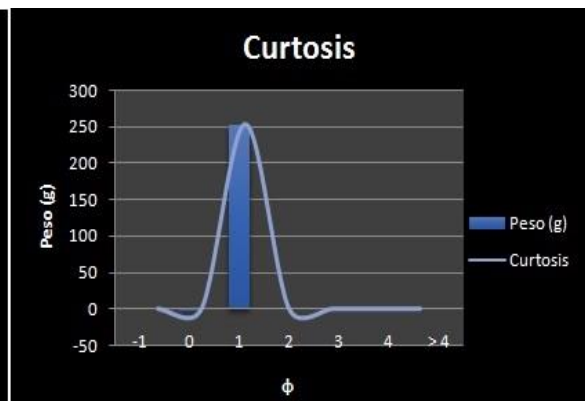
Por último, podemos observar a partir de la gráfica que el medio de transporte de las tres zonas fue principalmente por rodamiento y deslizamiento

*Playa chachacual*

*Chachacual mesoplaya.*



**Figura 65.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra Chachacual.



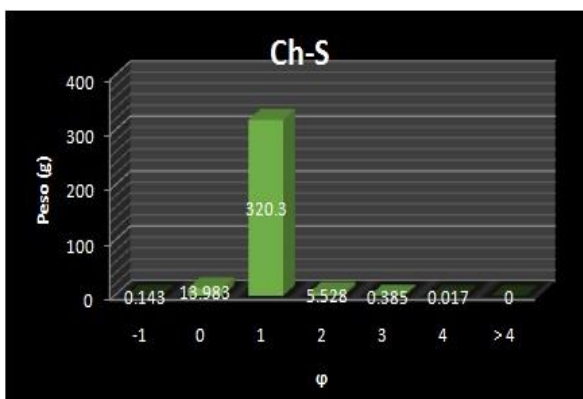
**Figura 66.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra Chachacual.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-

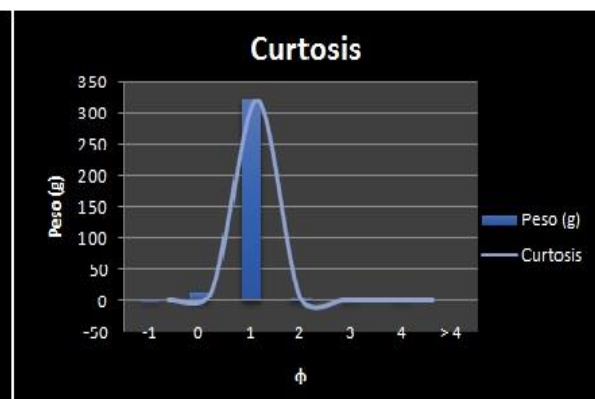
Mz $\phi$	0.84	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.11	Muy bien clasificada
Asimetría	-0.05	Simétrica
Curtosis	1.89	Muy leptocurtica

**Tabla 27.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa Chachacual.

*Chachacual supraplaya.*



**Figura 67.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra Chachacual.



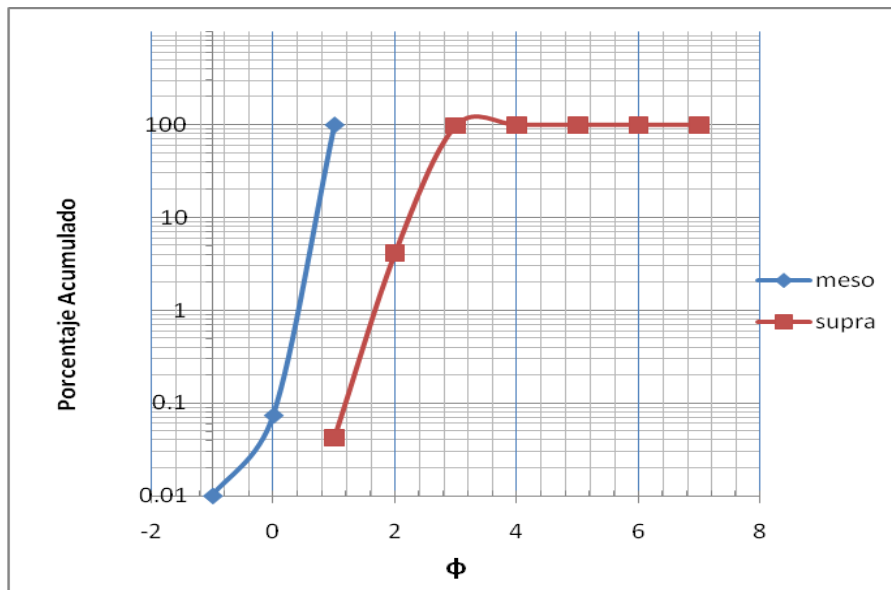
**Figura 68.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra Chachacual.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	2.6	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.26	Muy bien clasificada
Asimetría	-0.25	Asimétrica - gruesos
Curtosis	0.98	Mesocurtica

**Tabla 28.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa Chachacual.

En la playa Chachacual se encuentran arenas gruesas muy bien clasificadas en mesoplaya y arenas finas y muy bien clasificadas en la zona de supraplaya.

En la subzona de mesoplaya es simétrica y muy leptocurtica, mientras que en la supraplaya es asimétrica hacia gruesos y mesocurtica.

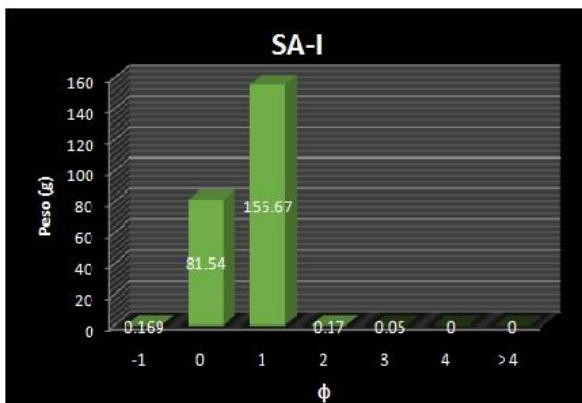


**Figura 69.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Cacaluta.

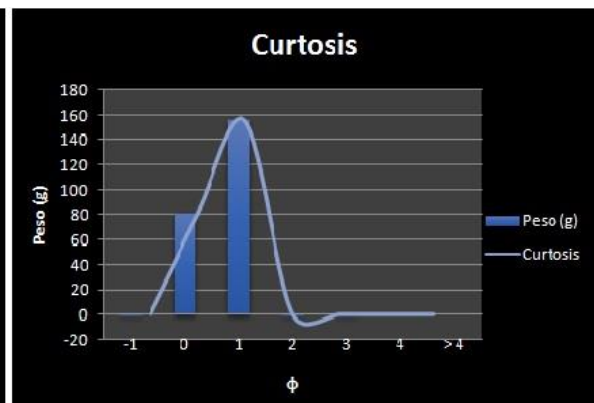
Para la zona de mesoplaya se observa únicamente transporte por rodamiento - deslizamiento. La zona de supraplaya está conformada por partículas transportadas mediante tres mecanismos distintos. Rodamiento - deslizamiento, saltación y suspensión

### Playa San Agustín

#### San Agustín infraplaya.



**Figura 70.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona infraplaya en la muestra San Agustín.

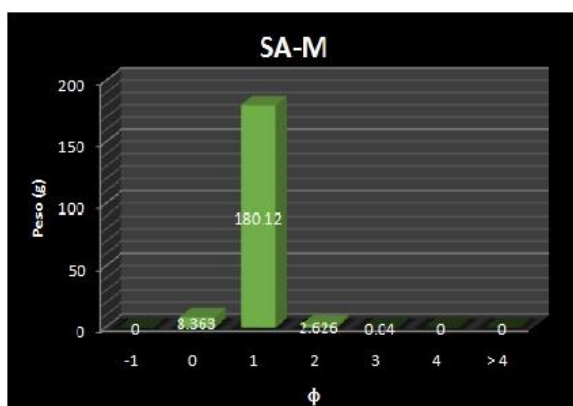


**Figura 71.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona infraplaya en la muestra San Agustín.

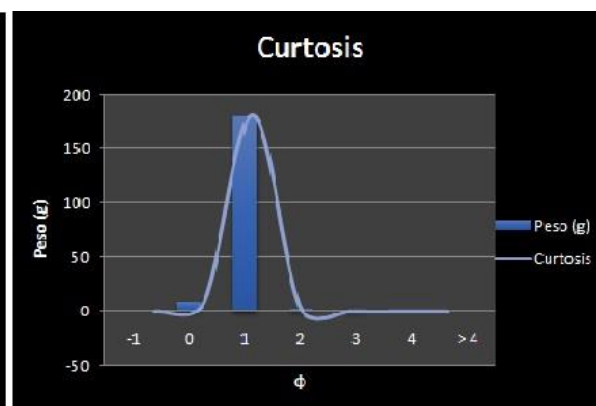
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	-0.41	Arena muy gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	1.27	Mal clasificada
Asimetría	-9.02	Muy asimétrica - gruesos
Curtosis	4.28	Extremadamente Leptocurtica

**Tabla 29.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de infraplaya en la playa San Agustín.

*San Agustín mesoplaya.*



**Figura 72.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona mesoplaya en la muestra San Agustín.

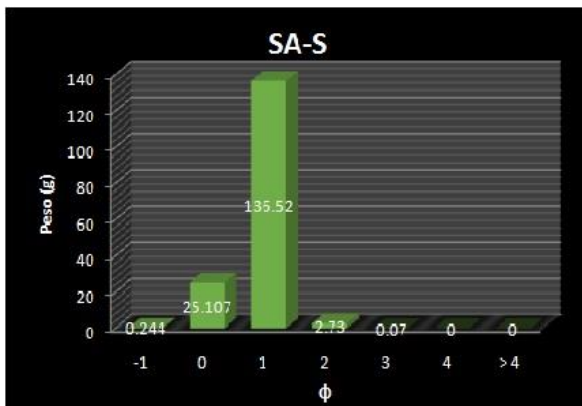


**Figura 73.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona mesoplaya en la muestra San Agustín.

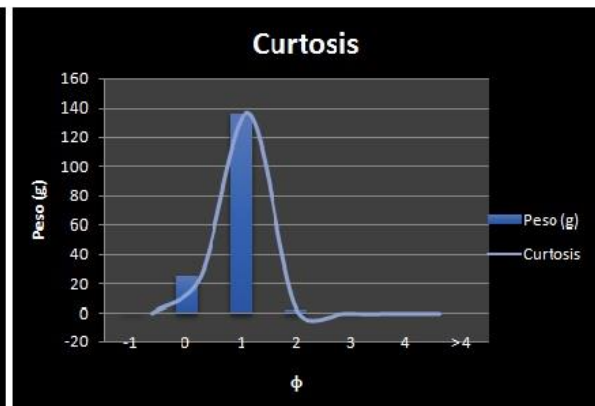
Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.64	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.30	Muy bien clasificada
Asimetría	-0.18	Asimétrica - gruesos
Curtosis	0.97	Mesocurtica

**Tabla 30.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de mesoplaya en la playa San Agustín.

San Agustín supraplaya.



**Figura 74.** Representación gráfica del tamaño vs peso individual de la subzona supraplaya en la muestra San Agustín.



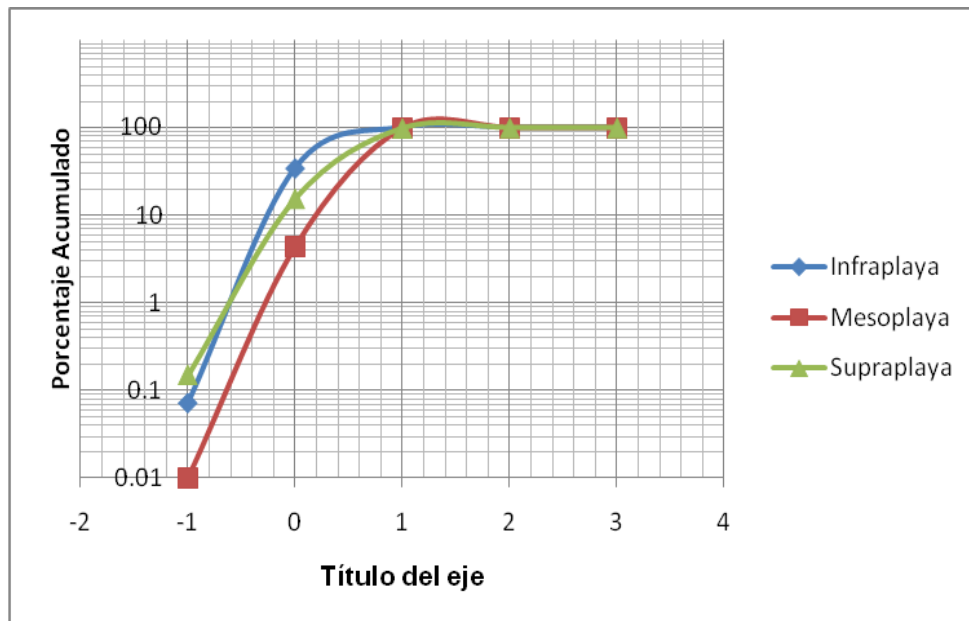
**Figura 75.** Representación gráfica de la curtosis en la subzona supraplaya en la muestra San Agustín.

Parámetro	Valor	Clasificación
$\phi$ moda	1	-
Mz $\phi$	0.46	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma \phi$ )	0.41	Bien clasificada
Asimetría	-0.22	Asimétrica - gruesos
Curtosis	0.83	Platicurtica

**Tabla 31.** Parámetros sedimentológicos de la subzona de supraplaya en la playa San Agustín.

En la playa San Agustín el tamaño de grano cambia de arenas muy gruesas en la zona de infraplaya a arenas gruesas en las zonas de meso y supraplaya, graduando la clasificación de mal clasificadas en infraplaya a muy bien y bien clasificadas en las dos zonas subsecuentes. La zona de infraplaya es muy simétrica hacia gruesos, la zona de meso y supraplaya son asimétricas hacia gruesos. Los parámetros de curtosis son muy variables, se obtuvieron extremadamente leptocurtica mesocurtica y platicurtica para infra, meso y supraplaya respectivamente.

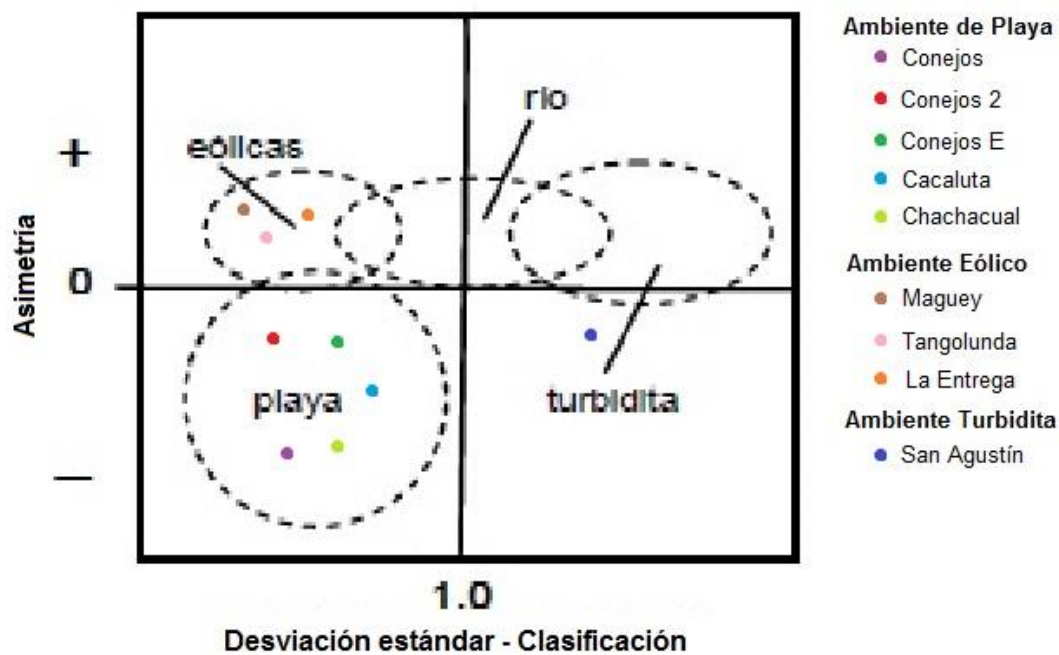




**Figura 76.** Curvas acumulativas de las tres subzonas de playa Cacaluta.

En la playa Maguey no se observa casi partículas transportadas por saltación, básicamente todo el mecanismo de transporte es por rodamiento – deslizamiento.

Al graficar las muestras de todas las subzonas de las playas de estudio, se observa que para las playas Conejos, Conejos 2, Conejos E, Cacaluta y Chachacual, el ambiente de formación de las arenas es de playa para todas las subzonas mientras que para las playas Maguey, Tangolunda y la Entrega en la zona de mesoplaya el aporte también es eólico. En la playa San Agustín la subzona de infraplaya cae en el campo de turbidita esto relacionado con la mala clasificación en esta playa.



**Figura 77.** Gráfica de clasificación de ambientes sedimentarios con respecto a su asimetría y curtosis, modificado de Bjorlykke, 1984).

#### 4. Análisis petrográfico

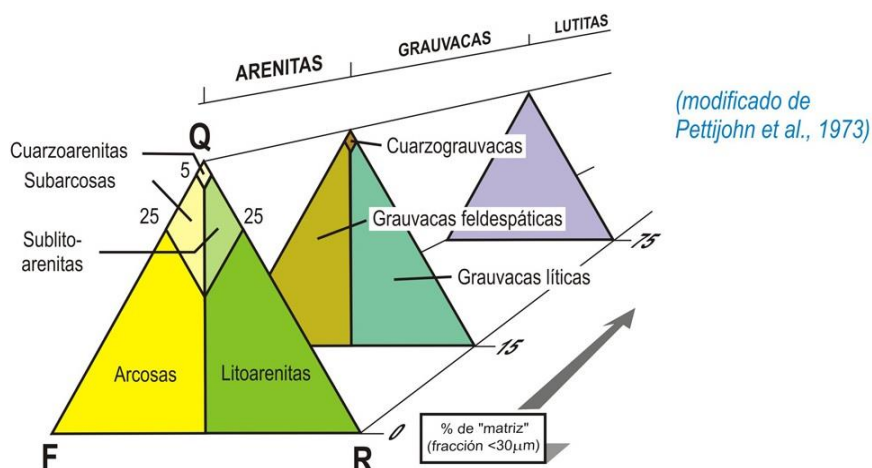
Se define a la petrografía como una técnica analítica que permite describir las propiedades físicas de las rocas como son el color, forma, textura, y mineralogía, con la finalidad de clasificar a la misma. Dicho análisis se divide en dos partes, descripción de muestra de mano y descripción de sección delgada en el microscopio. El estudio de la composición mineral de arenas puede utilizarse para establecer la procedencia de las mismas, considerando que sus partículas constituyentes proceden de una roca madre, aunque su composición final va a depender de factores climáticos, medio de transporte y energía en el ambiente de depósito (Suttner y Dutta, 1986). El tamaño del material de este trabajo (arenas) permitió su estudio mediante un análisis petrográfico.

En total se analizaron 28 secciones delgadas, se registró la mineralogía observada y se hizo un conteo de 200 puntos, tomando en cuenta lo siguiente:

Feldespatos	Fd
Cuarzo	Qz
Fragmentos de Roca Ígnea	FRI
Fragmentos de Roca Metamórfica	FRM
Fragmentos de Roca Sedimentaria	FRS
Minerales opacos	MO
Minerales pesados	MP
Biógenos	Bi

**Tabla 32.** Elementos tomados en cuenta para la clasificación de las arenas

Una vez realizado el conteo de puntos, con ayuda del software libre *Petrograph*, se hicieron diagramas ternarios para la clasificación mineralógica de las arenas por cada subzonas, utilizando el diagrama de clasificación de Pettijohn, 1973 que se muestra a continuación.



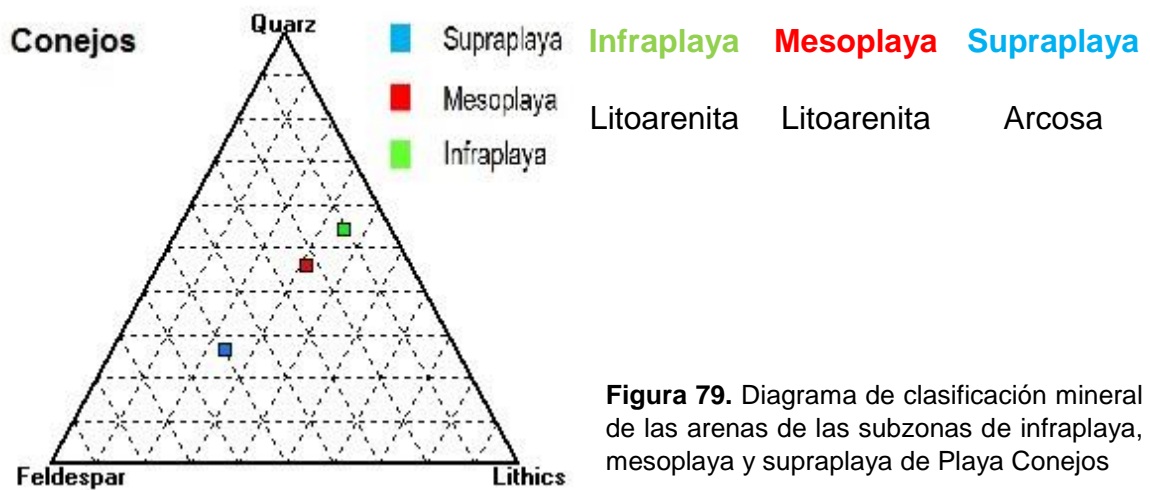
**Figura 78.** Clasificación de Pettijohn, Tomada de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petroshed/rd/cdd/cdd\\_ar/eje mplos ar.html](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petroshed/rd/cdd/cdd_ar/eje mplos ar.html)

El primer paso para utilizar el diagrama de Pettijohn es verificar en una sección delgada, el porcentaje de matriz que contiene la roca. Si dicho

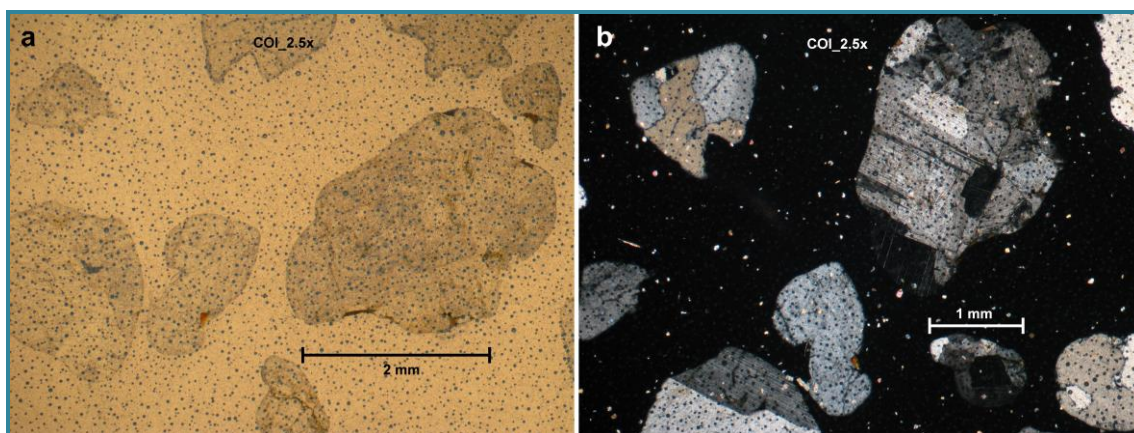
porcentaje es menor al 15%, se clasificará con la figura de *Arenitas*, si es mayor al 15% se utilizará la figura de *Grauvacas* y por último, si el porcentaje de matriz que exhibe la muestra analizada supera el 75%, esta se clasificará con la figura de *Lutitas*. Al ser nuestro objeto de estudio un material arenoso, es decir no compactado y por lo tanto sin matriz, utilizamos el diagrama de clasificación de *Arenitas*.

**Petrografía playa Conejos**

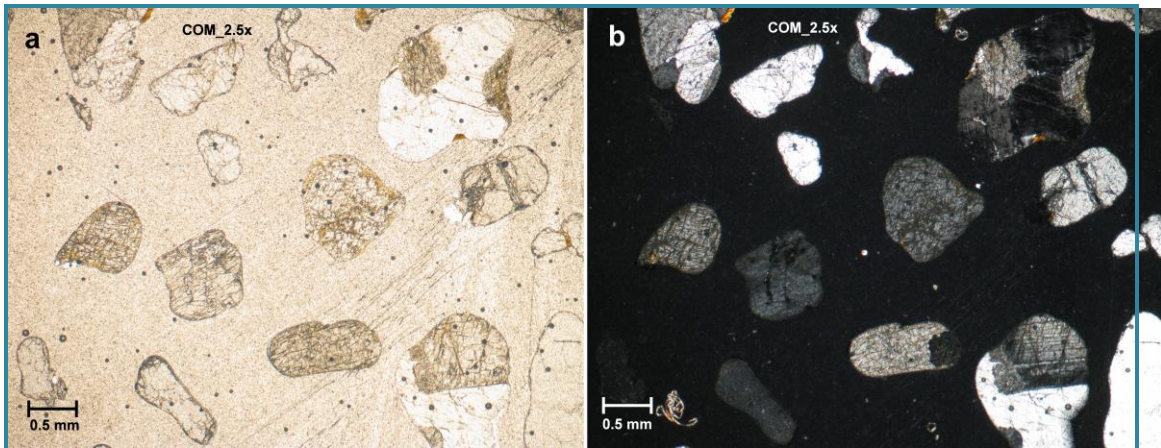
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Conejos están constituidas por 23.6 % de cuarzo, 45 % de feldespatos, 21.6 % de líticos metamórficos y plutónicos y 10.7 % de biógenos. La mesoplaya está constituida por 42.2 % de cuarzo, 20.6 % de feldespatos, 28.8 % de líticos y 8.2 % de biógenos. La infraplaya tiene 51.3 % de cuarzo, 9.4 % de feldespatos, 33.7 % de líticos y 4% de biógenos



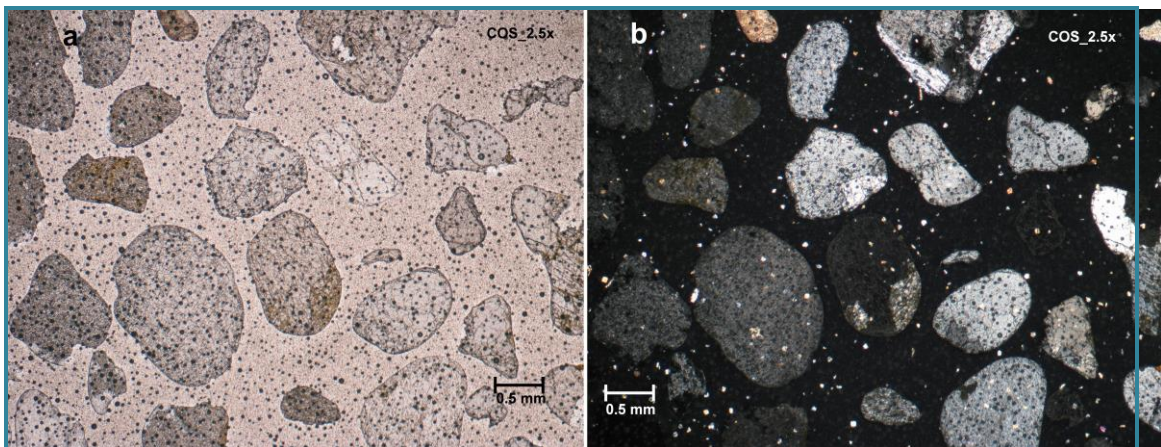
**Figura 79.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Conejos



**Figura 80. Conejos Infraplaya.** Se observaron grandes fragmentos de roca ígnea y granos de cuarzo. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.



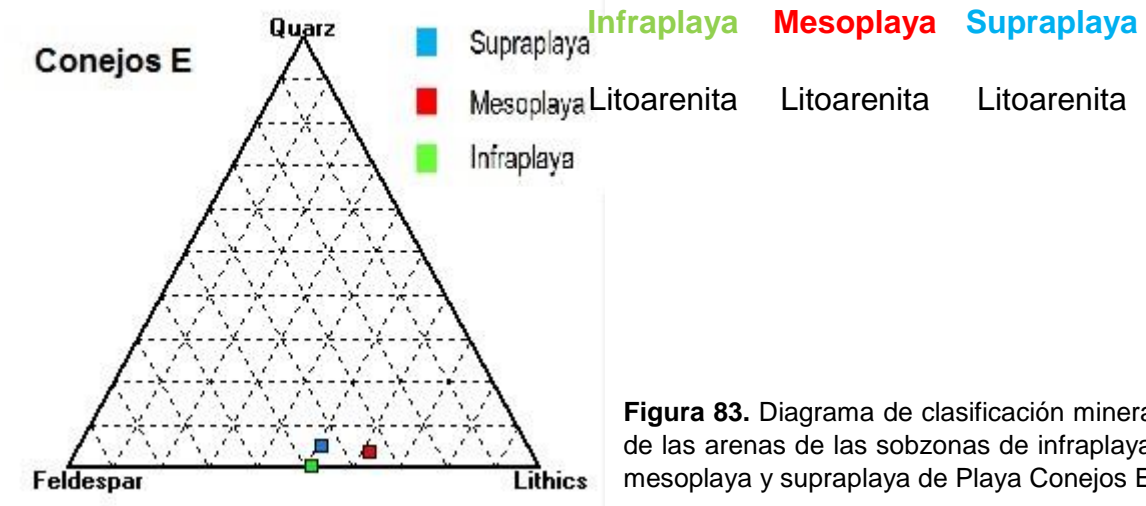
**Figura 81. Conejos Mesoplaya.** Granos de cuarzo y feldespato potásico. También hay presentes líticos ígneos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



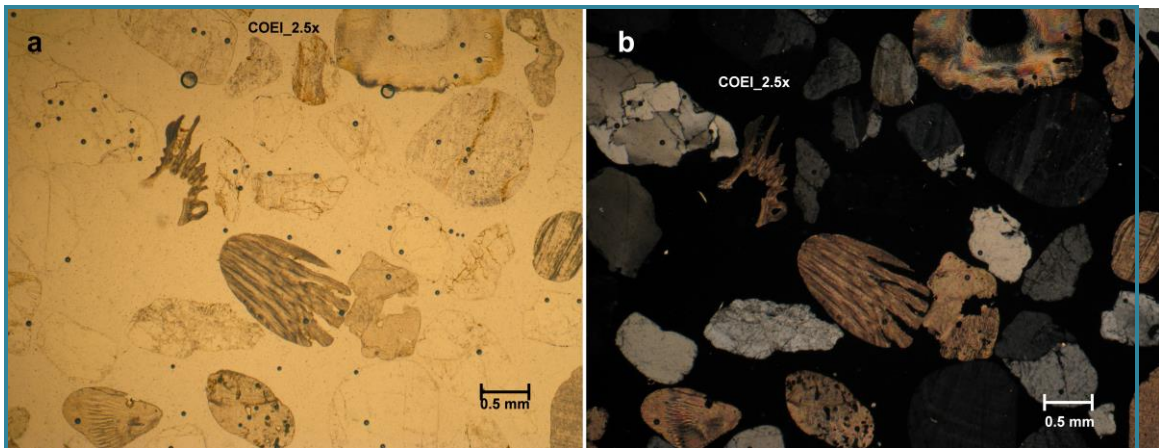
**Figura 82. Conejos Supraplaya.** Abundan granos de cuarzo y feldespato potásico. También hay presentes líticos ígneos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

### *Petrografía playa Conejos Enfrente*

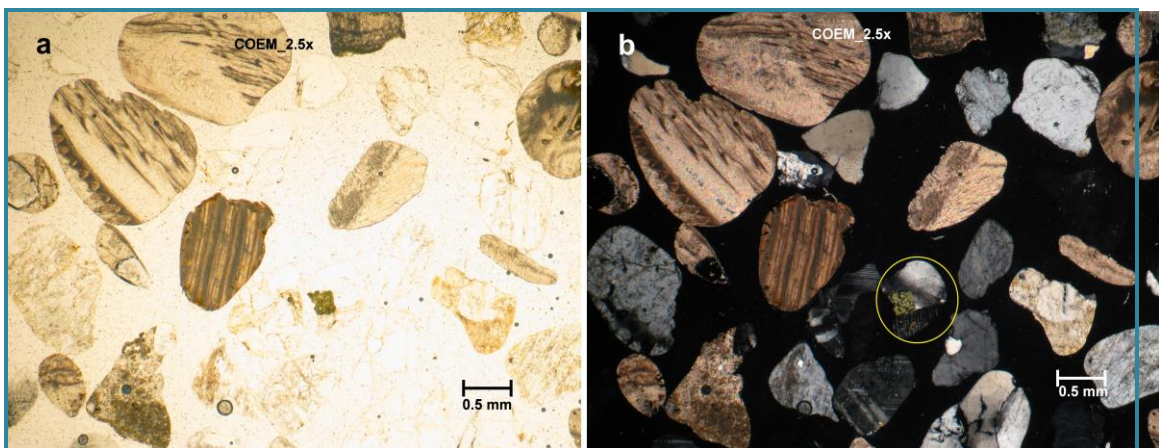
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Conejos E están constituidas por 4.6 % de cuarzo, 43.5 % de feldespatos, 50.8 % de líticos metamórficos y plutónicos y 0.9 % de biógenos. La mesoplaya está constituida por 1.6 % de cuarzo, 16.1 % de feldespatos, 29.5 % de líticos y 52.5 % de biógenos. La infraplaya tiene 26.1% de feldespatos, 28.1% de líticos y 44.9 % de biógenos



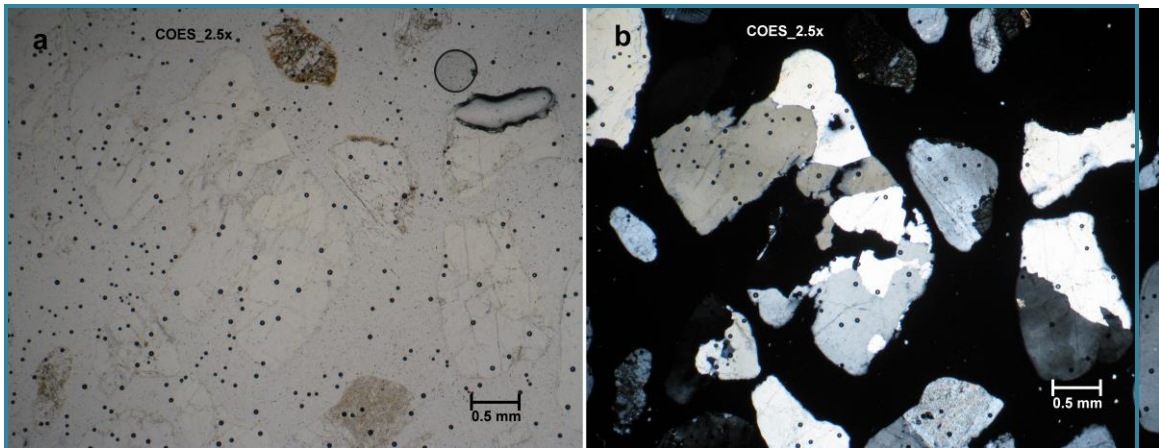
**Figura 83.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Conejos E



**Figura 84. Conejos E Infraplaya.** Fragmentos de roca ígnea, cuarzo, plagioclasas y biógenos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



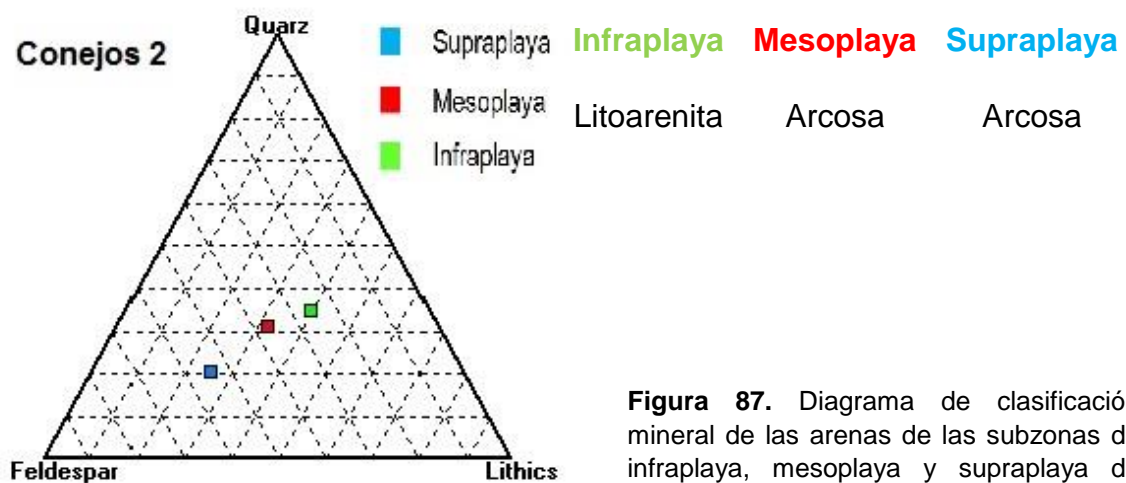
**Figura 85. Conejos E Mesoplaya.** Fragmentos de roca ígnea, cuarzo y biógenos. Se observa la presencia de un lítico con presencia de anfíbol. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



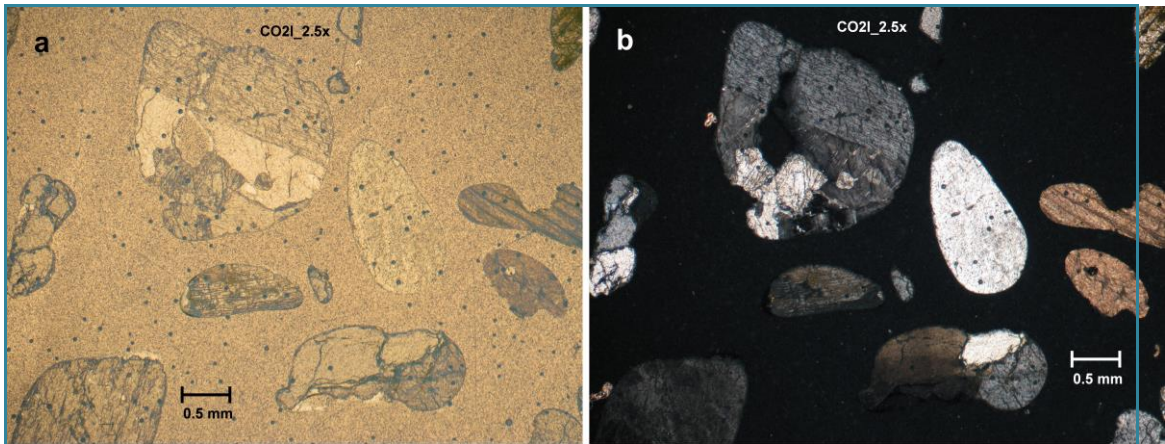
**Figura 86. Conejos E Supraplaya.** Fragmentos de roca ígnea, cuarzo y biógenos. En algunos líticos se presenta sericitización en los feldespatos. Nuevamente se observa la presencia de un lítico con presencia de anfíbol. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

### *Petrografía playa Conejos 2*

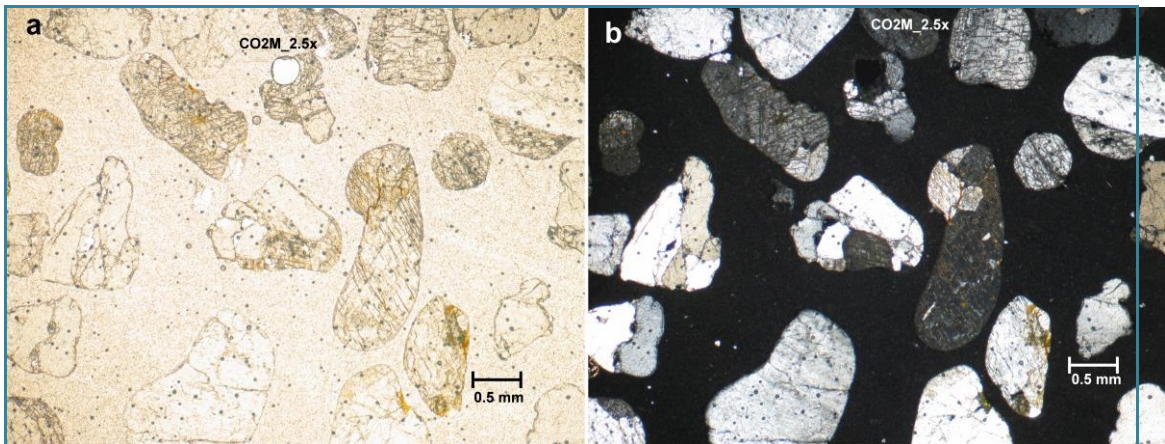
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Conejos 2 están constituidas por 12.9 % de cuarzo, 34.6 % de feldespatos, 16.2% de líticos metamórficos y plutónicos y 35.7 % de biógenos. La mesoplaya está constituida por 30.6 % de cuarzo, 36.4% de feldespatos, 31.7 % de líticos y 1.5 % de biógenos. La infraplaya tiene 31.1 % de cuarzo, 22.9% de feldespatos, 35.7% de líticos y 9.1% de biógenos



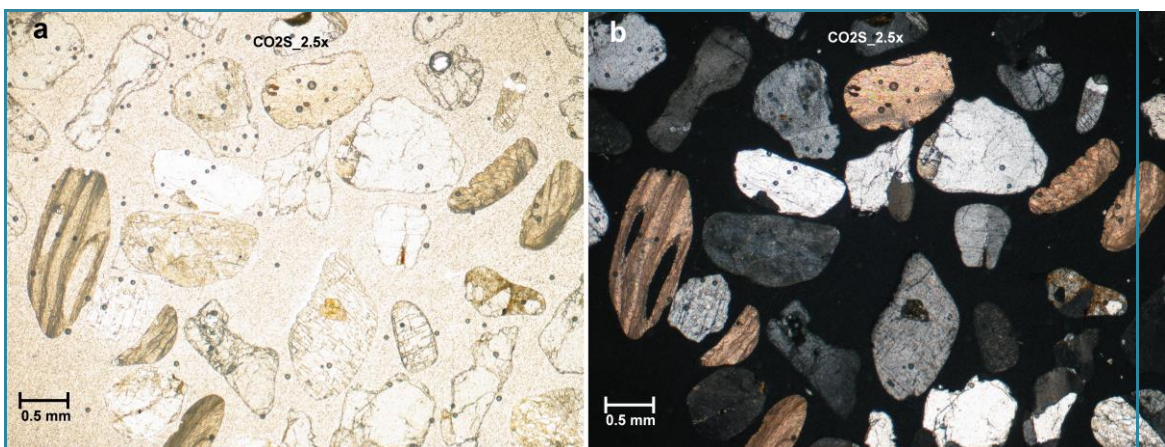
**Figura 87.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Conejos 2



**Figura 88. Conejos 2 Infraplaya.** En esta fotografía se pueden observar fragmentos de roca ígnea, cuarzo y biógenos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



**Figura 89. Conejos 2 mesoplaya.** Fragmentos de roca ígnea, cuarzo y plagioclasas. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

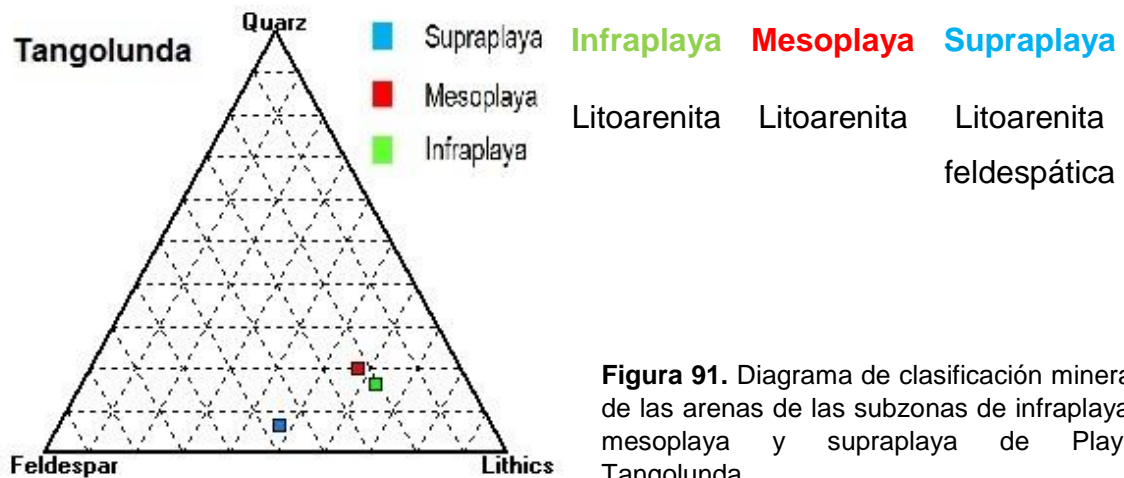


**Figura 90. Conejos 2 Supraplaya.** Fragmentos de roca ígnea, cuarzo, plagioclasas y biógenos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

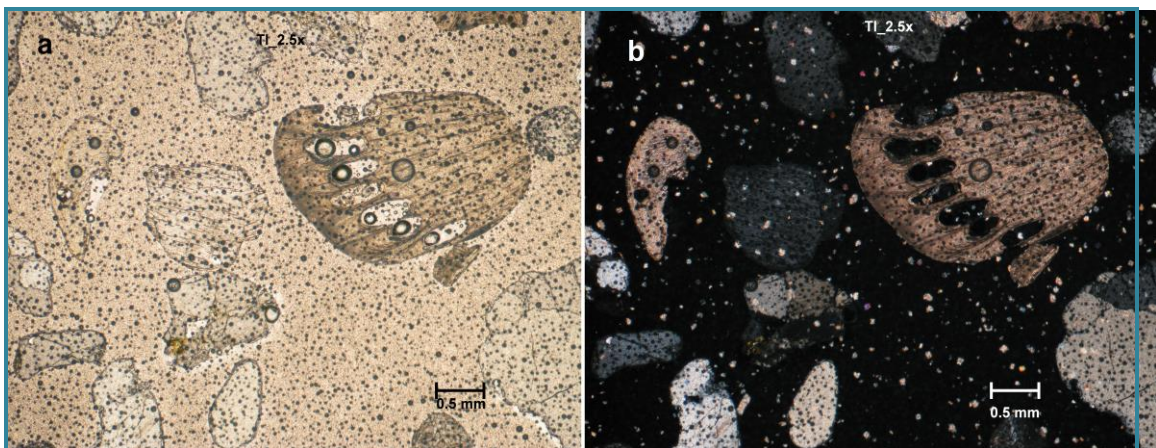


### Petrografía playa Tangolunda

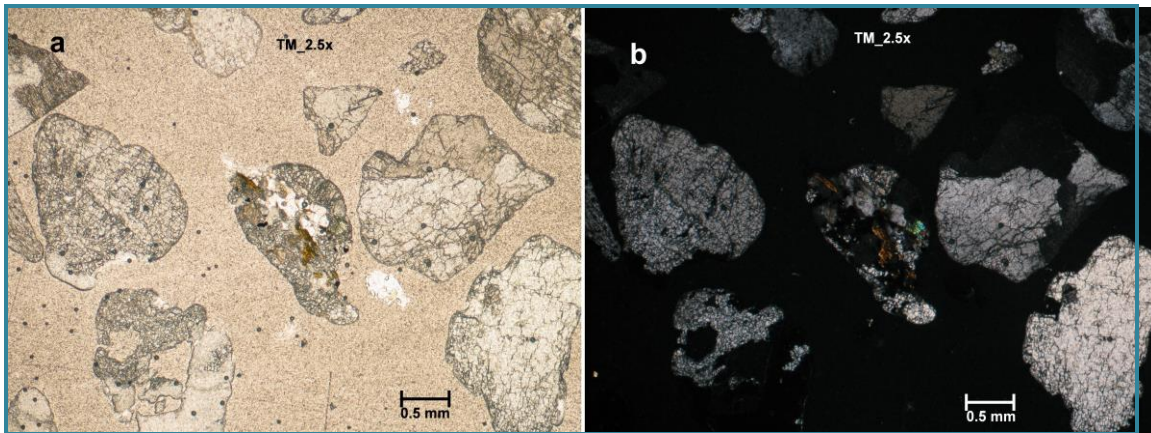
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Tangolunda están constituidas por 5% de cuarzo, 37.5 % de feldespatos, 39 % de líticos metamórficos y plutónicos y 18% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 16.9 % de cuarzo, 19 % de feldespatos, 49.9% de líticos y 14.2% de biógenos. La infraplaya tiene 13.9% de cuarzo, 17.4% de feldespatos, 54.4% de líticos y 15.1 % de biógenos.



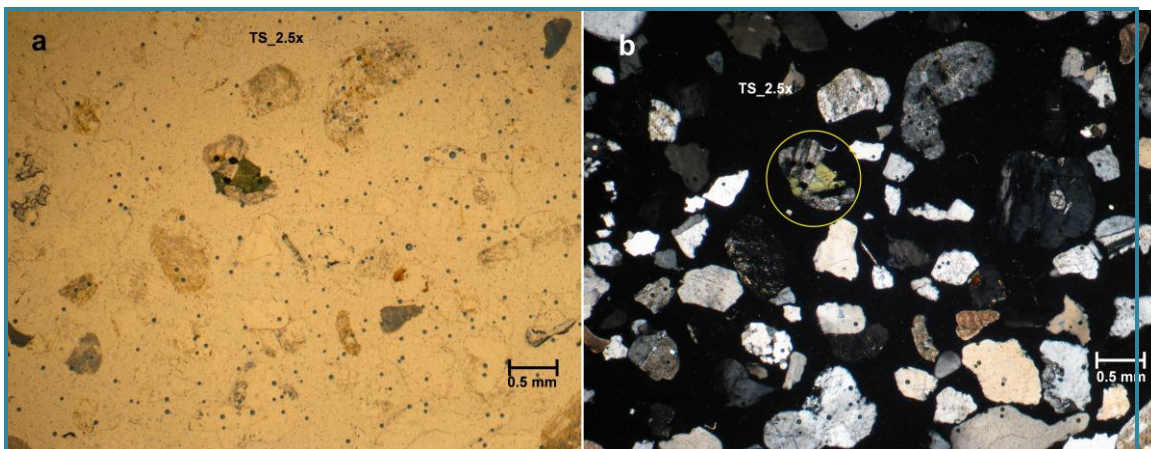
**Figura 91.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Tangolunda



**Figura 92. Tangolunda Infraplaya.** Granos de cuarzo, feldespatos potásico y biógenos abundantes y de tamaño grueso. También hay presentes líticos ígneos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.



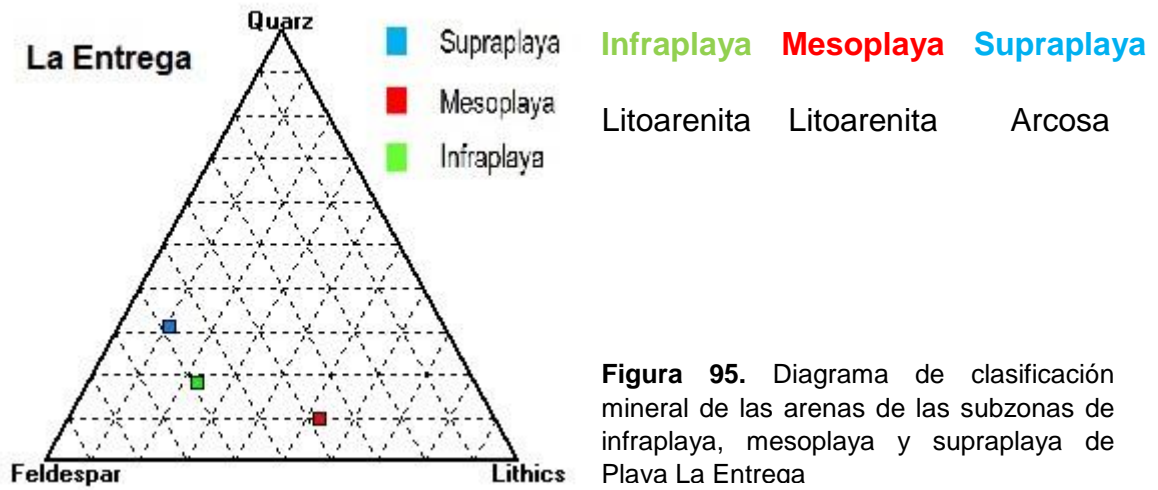
**Figura 93. Tangolunda Mesoplaya.** Granos de cuarzo, feldespato potásico y lítica ignea. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.



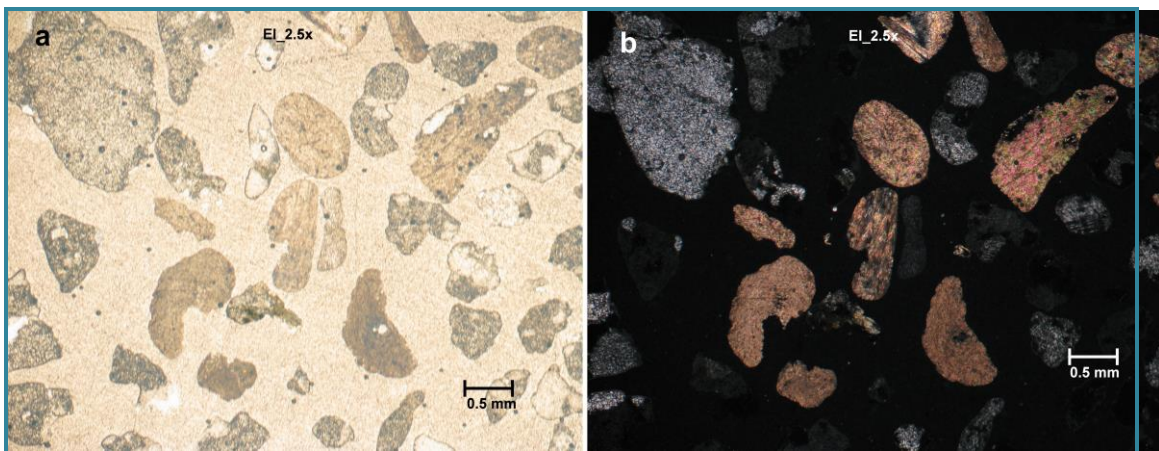
**Figura 94. Tangolunda Supraplaya.** Granos de cuarzo, feldespato potásico, lítica ignea. Se hace énfasis en un lítica el cual presenta plagioclasa y anfíbol, muy posiblemente proviene de una diorita o metadiorita. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

### *Petrografía playa La Entrega*

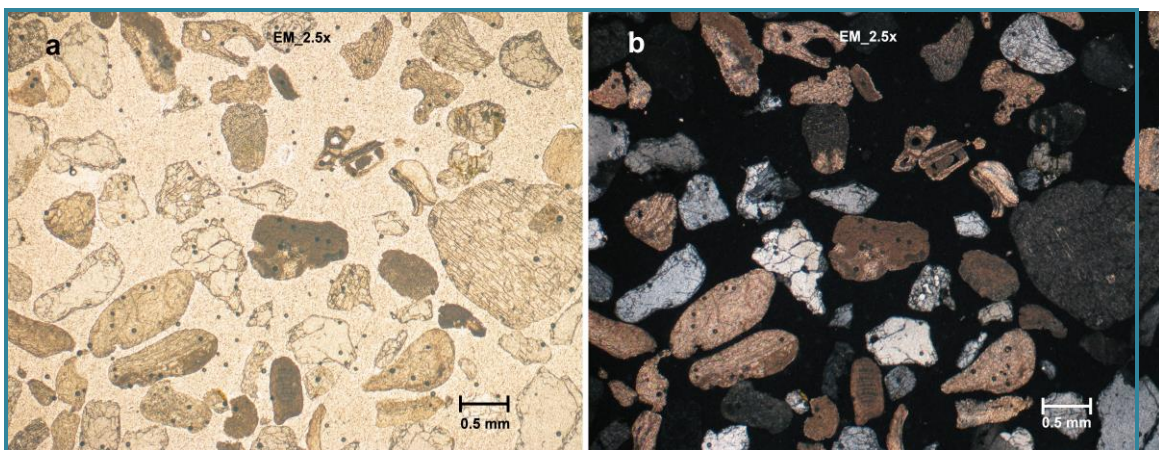
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa La Entrega están constituidas por 9% de cuarzo, 17 % de feldespatos, 3% de lítica metamórficos y plutónicos y 70% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 3% de cuarzo, 11.5% de feldespatos, 16.5% de lítica y 69% de biógenos. La infraplaya tiene 4% de cuarzo, 13.1% de feldespatos, 5.1% de lítica y 77.7% de biógenos.



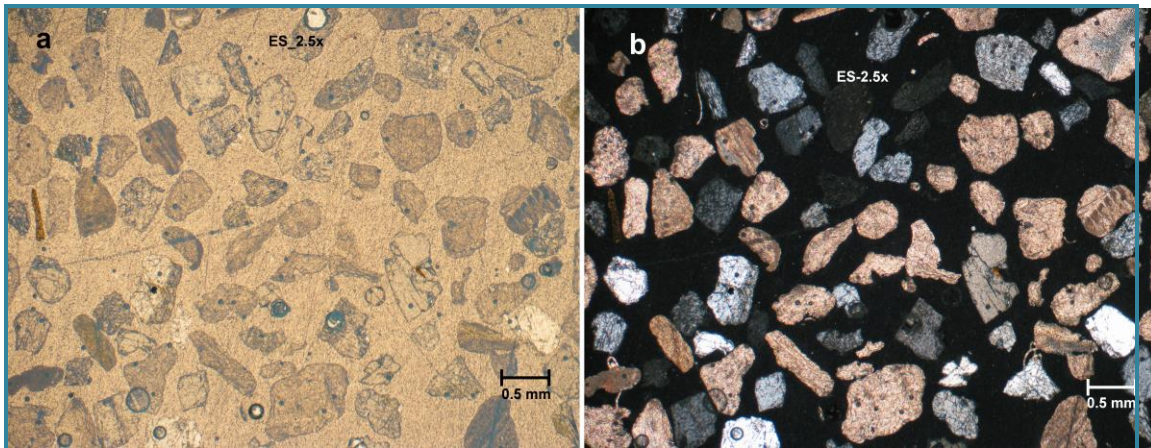
**Figura 95.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Plava La Entrega



**Figura 96. Entrega Infraplaya.** Abundan granos de cuarzo, biógenos y feldespato en menor proporción. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



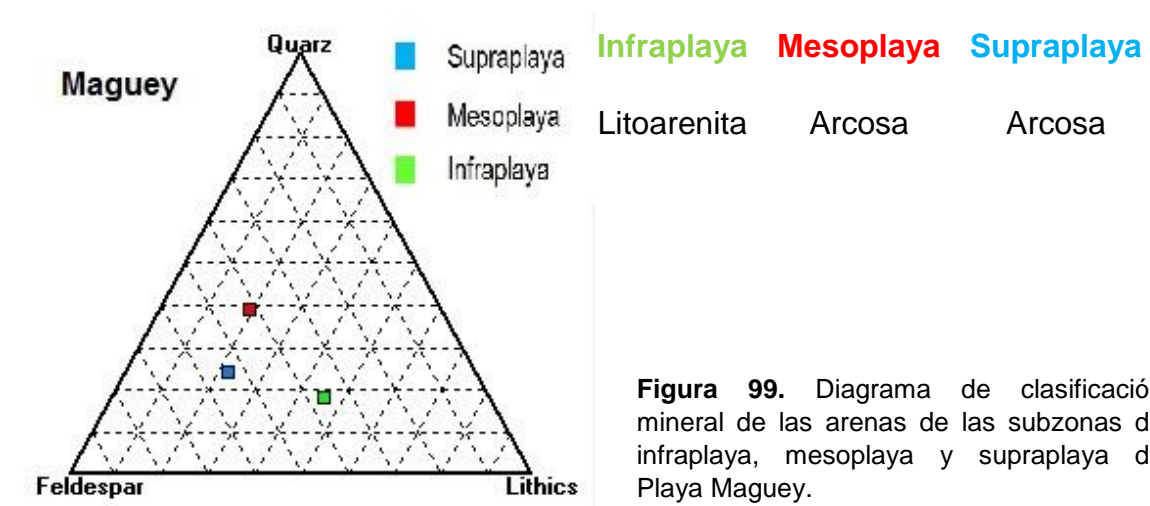
**Figura 97. Entrega Mesoplaya.** Abundan granos de cuarzo, biógenos, feldespato y líticos ígneos en menor proporción. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



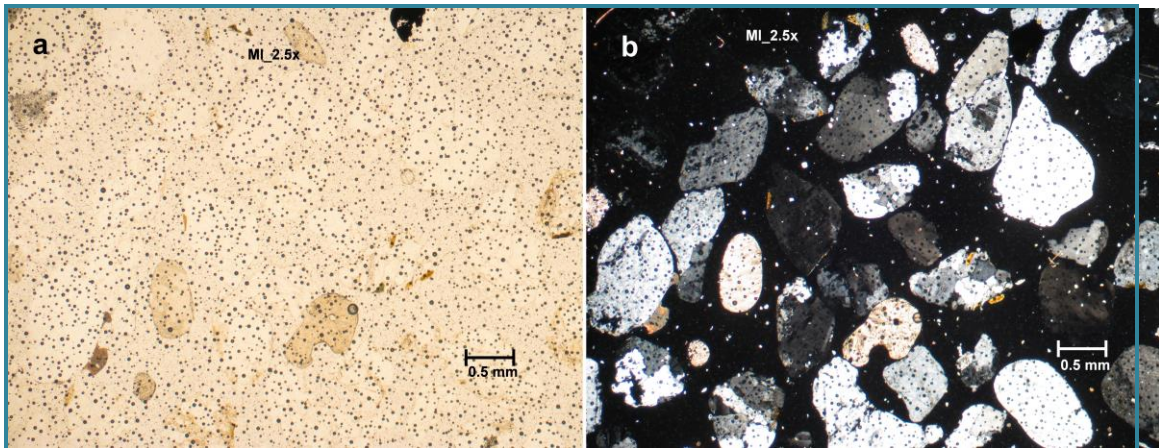
**Figura 98. Entrega Supraplaya.** Abundan biógenos, cuarzo, feldespato y líticos ígneos en menor proporción. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

### *Petrografía playa Maguey*

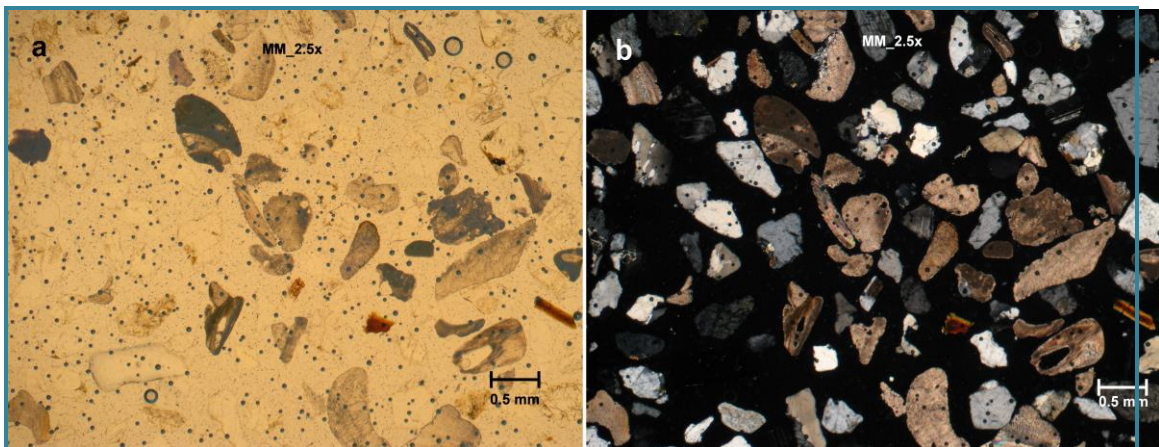
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Maguey están constituidas por 11% de cuarzo, 24.5% de feldespatos, 10% de líticos metamórficos y plutónicos y 52.5% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 20% de cuarzo, 21.5% de feldespatos, 10% de líticos y 47.5% de biógenos. La infraplaya tiene 11.5% de cuarzo, 23.5% de feldespatos, % de líticos y % de biógenos.



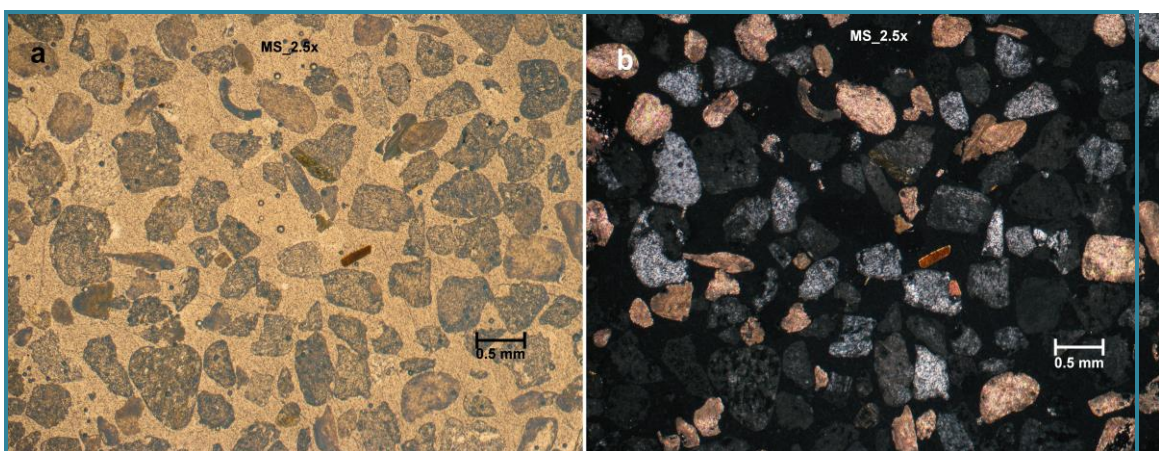
**Figura 99.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Maguey.



**Figura 100. Maguey Infraplaya.** Abundan granos de cuarzo y feldespato potásico. También hay presentes líticos ígneos en escasa proporción. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



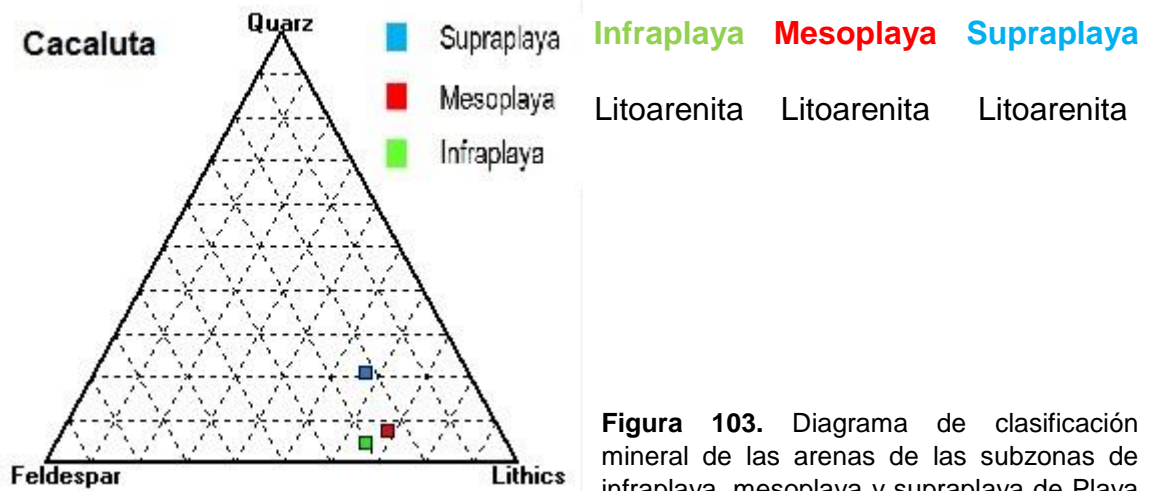
**Figura 101. Maguey Mesoplaya.** Abundan granos de cuarzo, feldespato potásico y biógenos. También hay presentes líticos ígneos en y contenido de micas casi nulo. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



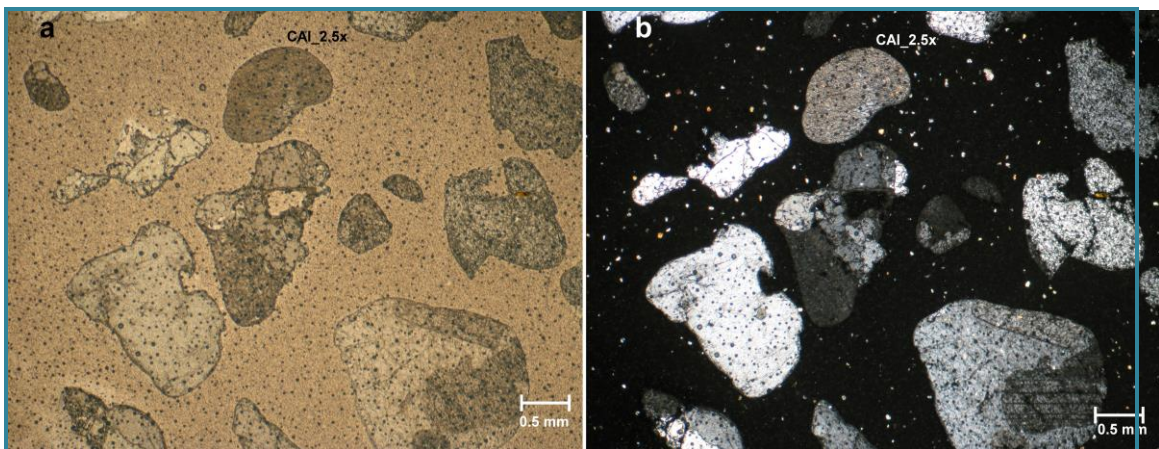
**Figura 102. Maguey Supraplaya.** Abundan granos de cuarzo fracturado, feldespato potásico y biógenos. También hay presentes líticos ígneos y una biotita. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

### Petrografía playa Cacaluta

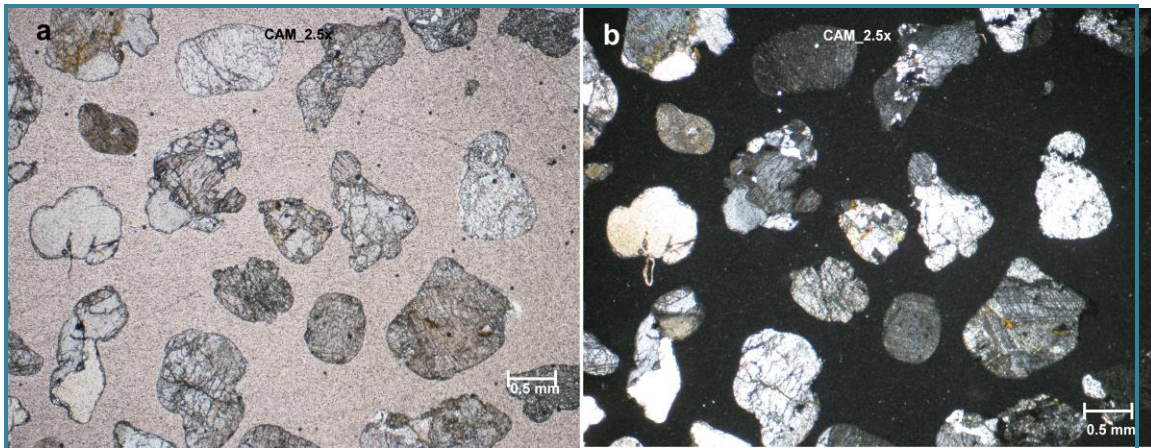
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Cacaluta están constituidas por 20% de cuarzo, 21.4% de feldespatos, 55.8% de líticos y 0% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 21% de cuarzo, 24% de feldespatos, 69% de líticos y 0% de biógenos. La infraplaya tiene 8.3% de cuarzo, 30.1% de feldespatos, 65.5% de líticos y 0% de biógenos.



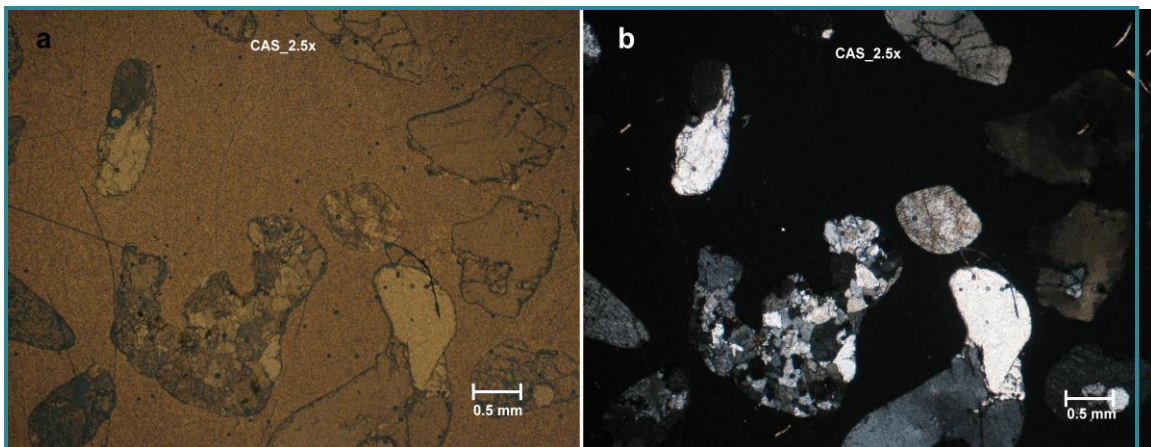
**Figura 103.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa



**Figura 104. Cacaluta Infraplaya.** En esta fotografía se pueden observar cuarzo, plagioclasa y fragmentos de roca ígnea en menor cantidad. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



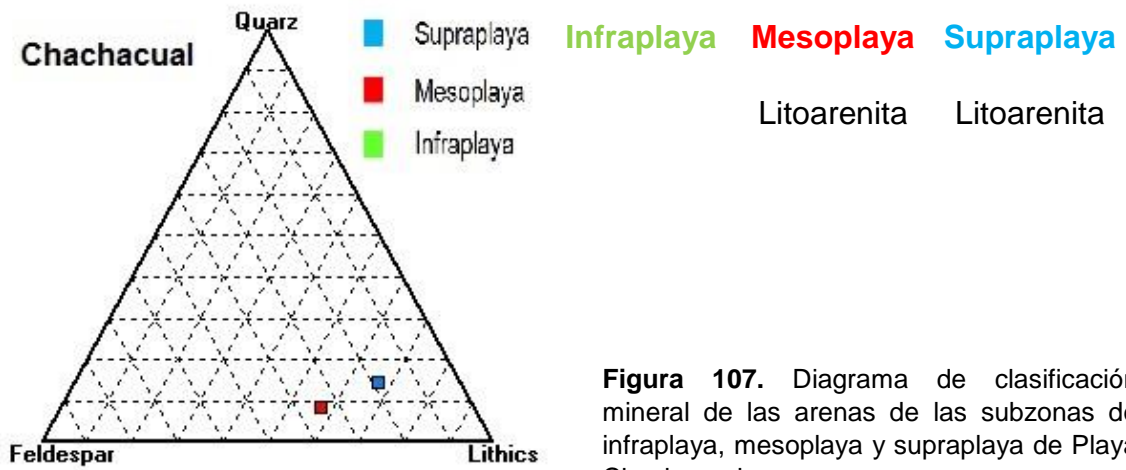
**Figura 105. Cacaluta Mesoplaya.** En esta fotografía se puede ver que los fragmentos de roca ígnea son abundantes. También hay plagioclasa y cuarzo. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



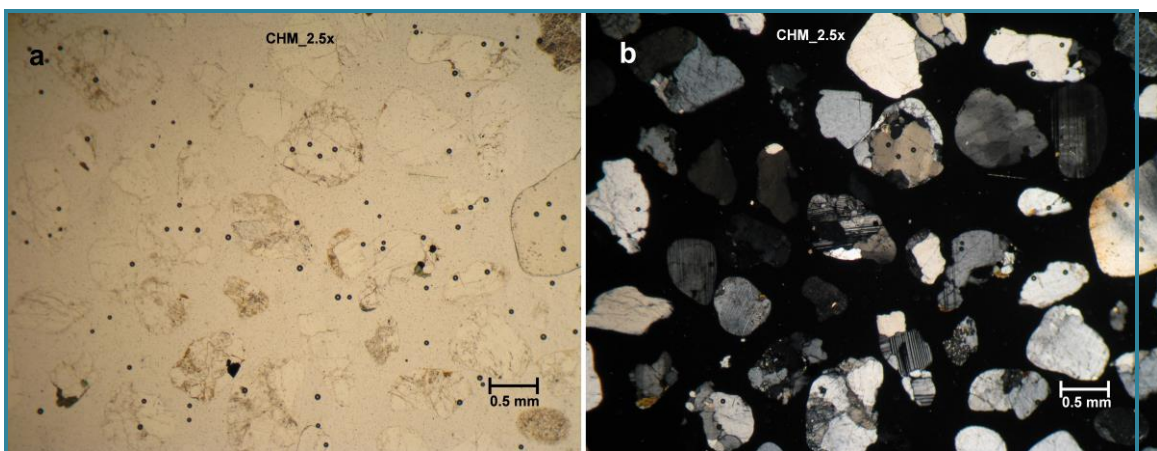
**Figura 106. Cacaluta Supraplaya.** Dicha fotografía está conformada principalmente por fragmentos de roca ígnea. También se pueden observar feldespatos y cuarzo. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

### *Petrografía playa Chachacual*

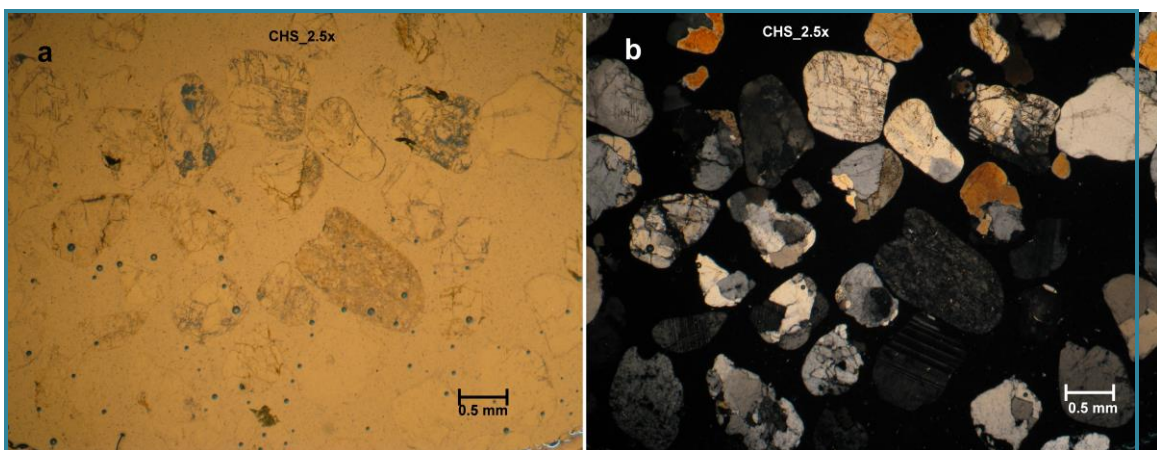
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa Chachacual están constituidas por 14 % de cuarzo, 17.8 % de feldespatos, 66.9 % de líticos y 1% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 8.2 % de cuarzo, 33.5% de feldespatos, 57% de líticos y 1% de biógenos.



**Figura 107.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa Chachacual.



**Figura 108. Chachacual Mesoplaya.** Esta muestra está conformada principalmente por fragmentos de roca ígnea. También se pueden observar feldespatos y cuarzo. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

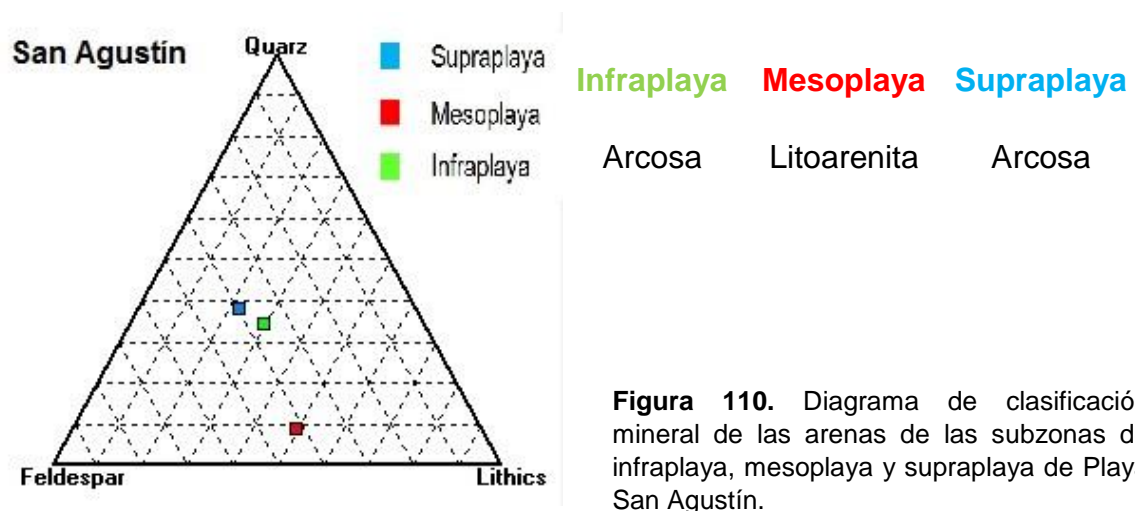


**Figura 109. Chachacual Supraplaya.** Se observan fragmentos de roca ígnea, feldespatos, cuarzo y plagioclasas. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

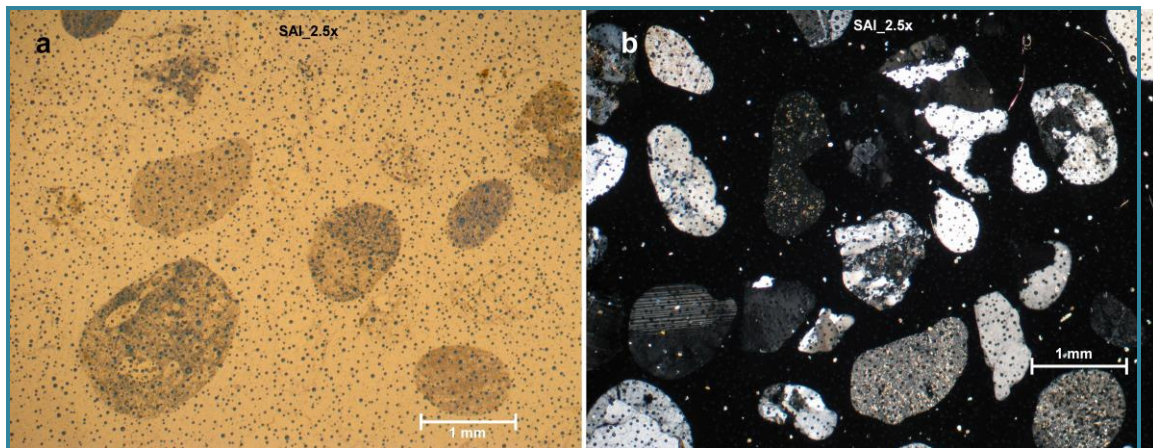


## Petrografía playa San Agustín

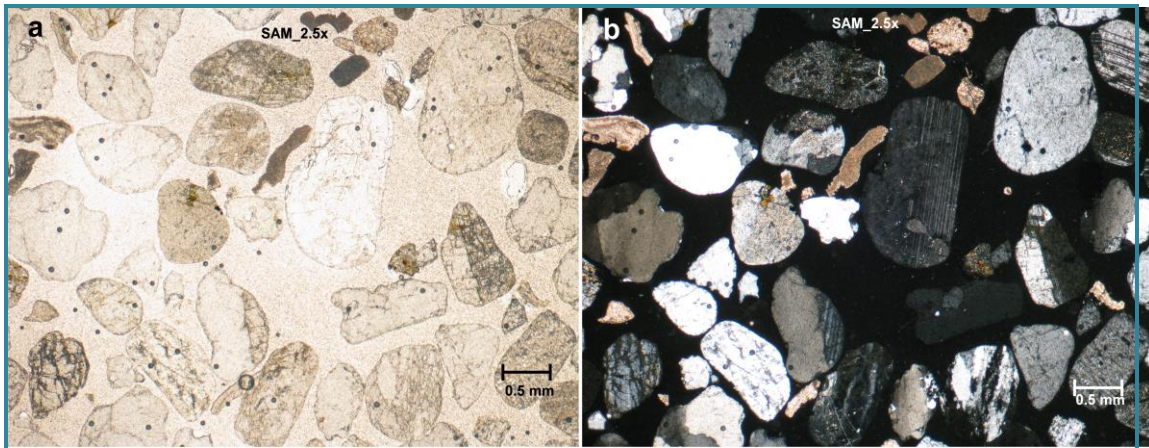
Las arenas que constituyen la supraplaya de playa San Agustín están constituidas por 34% de cuarzo, 35% de feldespatos, 20% de líticos metamórficos y plutónicos y 11% de biógenos. La mesoplaya está constituida por 5% de cuarzo, 25 % de feldespatos, 30% de líticos y 40% de biógenos. La infraplaya tiene 32.5% de cuarzo, 34% de feldespatos, 28.5% de líticos y 5% de biógenos.



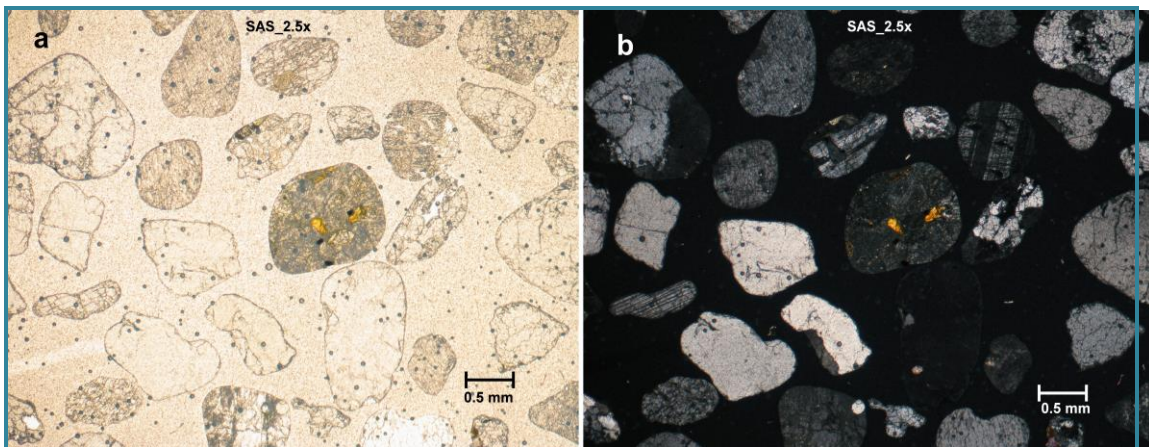
**Figura 110.** Diagrama de clasificación mineral de las arenas de las subzonas de infraplaya, mesoplaya y supraplaya de Playa San Agustín.



**Figura 111. San Agustín Infraplaya.** Abundan granos de cuarzo y feldespatos potásicos. También hay presentes líticos ígneos. Se puede observar que predominan granos gruesos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.



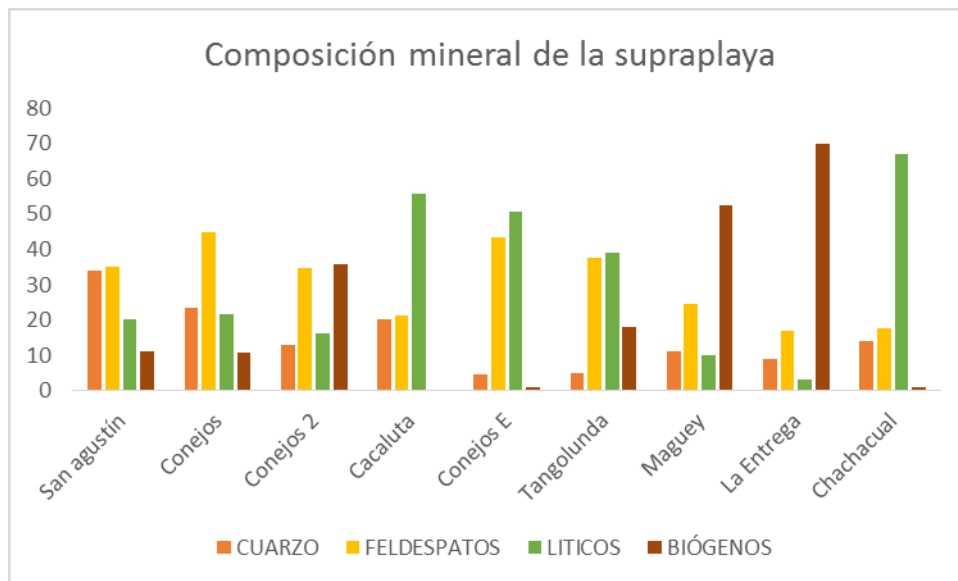
**Figura 112. San Agustín Mesoplaya.** Abundan granos de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y biógenos. También hay presentes líticos ígneos. Se puede observar que predominan granos gruesos y muy gruesos en menor cantidad. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.



**Figura 113. San Agustín Supraplaya.** Abundan granos de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa. También hay presentes líticos ígneos. a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

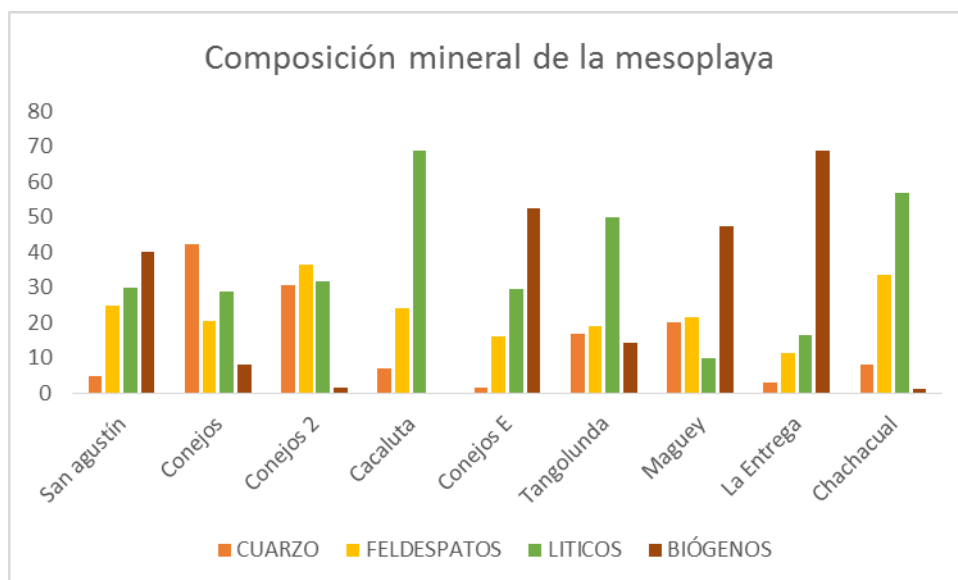
#### 4.1 Comparación mineralógica de las playas por subzonas

Se realizaron gráficas para observar el comportamiento de la composición mineralógica de cada subzona y hacer la comparación de cada una de las playas.



**Figura 114.** Composición mineral de la subzona de supraplaya

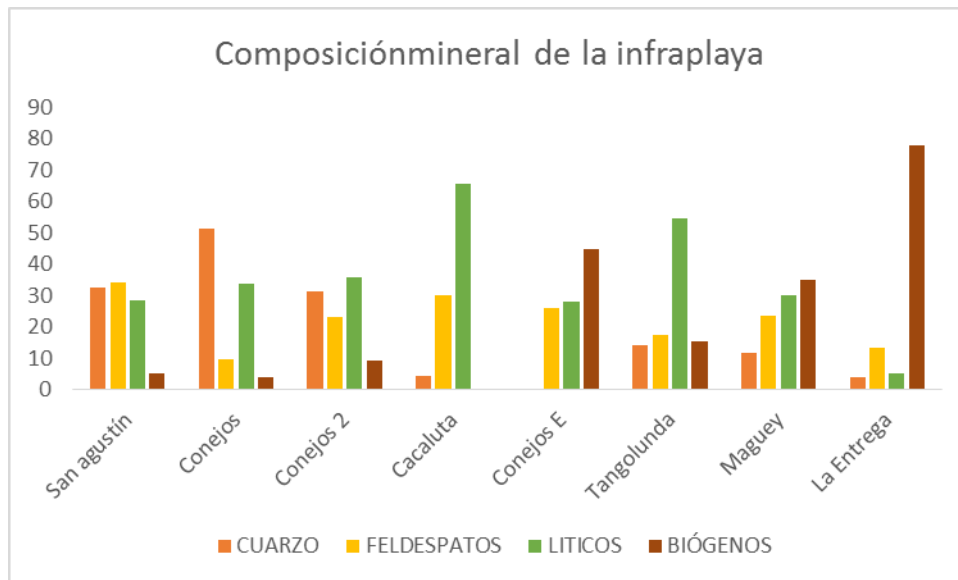
En la subzona de supraplaya se observa que el componente principal en las playas San Agustín y Conejos son los feldespatos, mientras que para Cacaluta, Chachacual, Conejos E y Tangolunda los líticos representan el mayor porcentaje y por último los biógenos son el principal componente en las playas Conejos 2, Maguey y la Entrega.



**Figura 115.** Composición mineral de la subzona de mesoplaya

El cuarzo es el principal constituyente de la subzona de mesoplaya únicamente en la playa Conejos, mientras que en las playas Cacaluta,

Chachacual y Tangolunda los líticos son el material más abundante. El componente principal de las playas Conejos E, La Entrega, Maguey y San Agustín son los biógenos representados por fragmentos de coral, bivalvos y gasterópodos. Por último la playa Conejos 2 está constituida principalmente por feldespatos, aunque presenta porcentajes similares de Cuarzo y líticos.

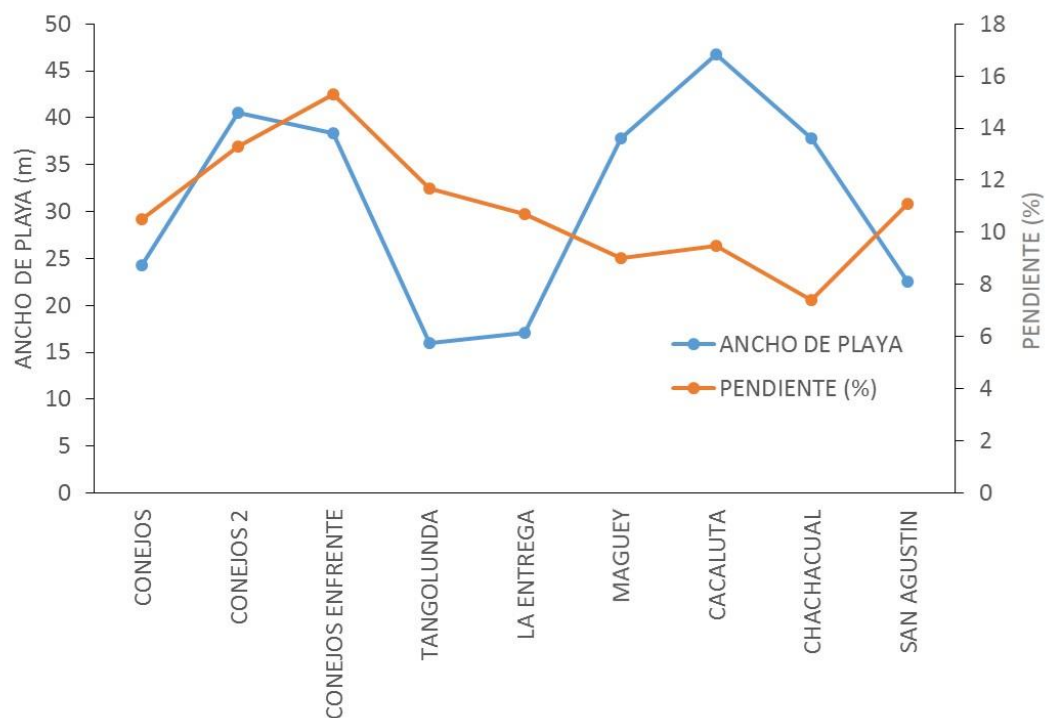


**Figura 116.** Composición mineral de la subzona de mesoplaya

Para la subzona de infraplaya, hay un alto porcentaje de biógenos en las playas Conejos E, Maguey y La entrega. Las playas dominadas por la presencia de líticos son Cacaluta, Conejos 2 y Tangolunda. La playa Conejos se conforma principalmente por cuarzo y la playa San Agustín es similar en porcentaje de cuarzo, biógenos y feldespatos, siendo los últimos los de mayor abundancia.

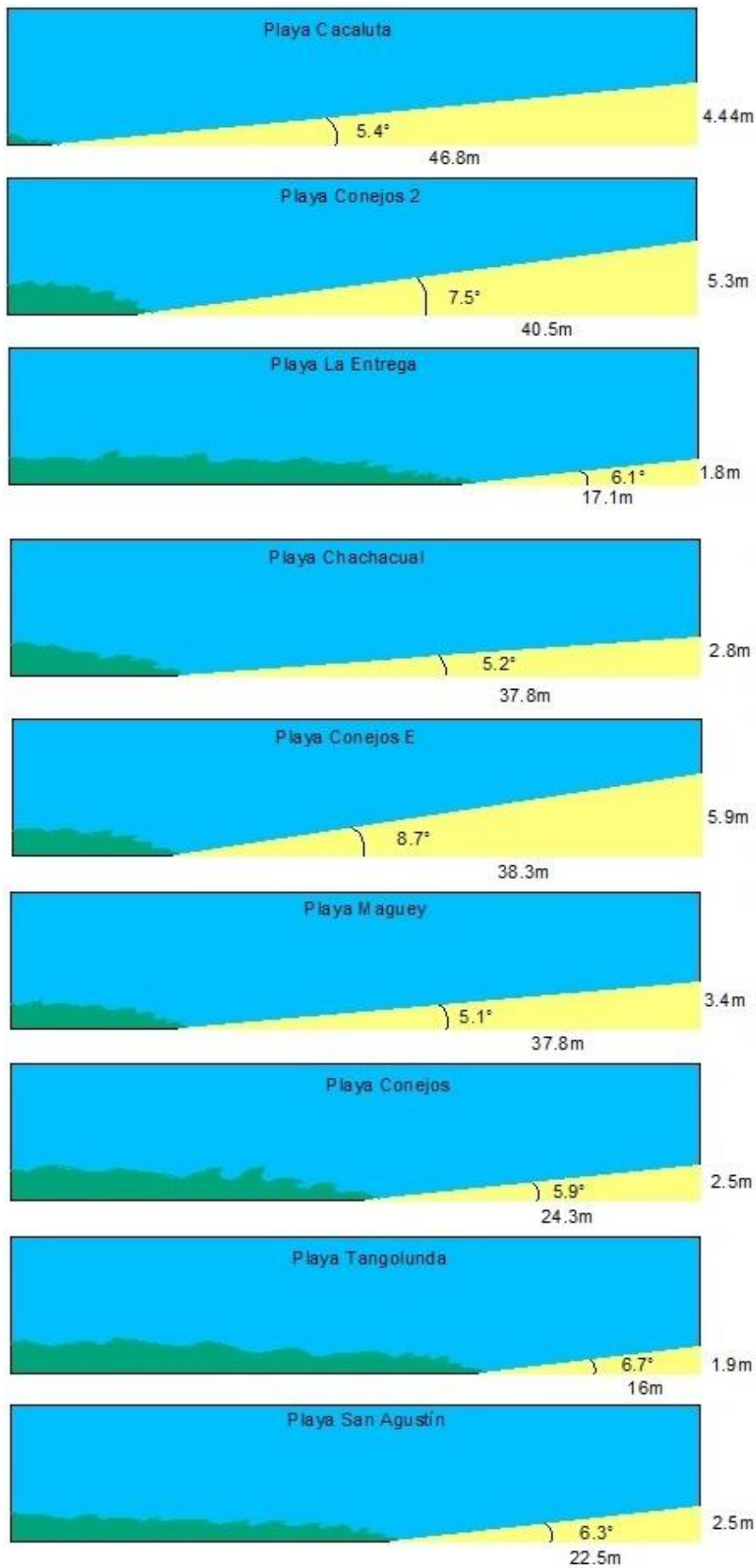
## 4.2 Perfil y morfología de las playas

Se tomaron medidas en campo de la pendiente y ancho de las playas, obteniendo un esquema de la vista de perfil de cada una de ellas. A continuación se muestran los diagramas obtenidos.



**Figura 117.** Gráfica que muestra el ancho de playa y pendiente de cada playa. Las playas más anchas tienden a tener menor pendiente

En la figura 79, se muestra el perfil de las 9 playas, se observa que en las dos playas en las que se tienen registradas anidaciones Cacaluta y Chachacual, las playas tienen pendientes bajas con respecto a las demás, 5.4° la primera y 5.2° la segunda, además de que son las más anchas 46.8 m y 37.8m respectivamente. Para el caso de la playa Maguey, se observa la menor pendiente de todas 5.1° y una anchura considerable 37.8 m, pero en esta playa no se tienen anidaciones de tortuga registradas.



**Figura 118.** En esta figura se muestran los perfiles de playa. Se puede observar que las playas más angostas tienden a tener menor pendiente.

### 4.3 Madurez mineralógica de los sedimentos

*Conejos, Conejos 2 y Conejos E.*



**Figura 119.** Bahía Conejos (playa Conejos, playa Conejos 2 y playa Conejos E) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)

La línea de contacto entre el mar y la tierra se caracteriza por la conformación de bahías alternadas con puntas rocosas y penínsulas montañosas. Algunas de estas bahías con el desarrollo de arrecifes coralinos en su interior, lo que proporciona diferentes componentes mineralógicos en las arenas que constituyen las playas.

Para la playa Conejos los feldespatos son más abundantes en infraplaya y hacia mesoplaya y supraplaya es el cuarzo observándose que la madurez mineralógica es mayor en estas zonas debido a diversos factores la distancia de la roca madre a la playa, los patrones de drenaje y una mayor energía de oleaje, lo cual no es así en la playa Conejos 2, que se encuentra más resguardada del oleaje en donde abundan los feldespatos y los líticos.

Enfrente de la playa Conejos (Conejos E) se tiene un pequeño banco arrecifal que proporciona los biógenos representados por restos de corales, gasterópodos y bivalvos.

*Tangolunda.*



**Figura 120.** Bahía Tangolunda (playa Tangolunda) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)

Tangolunda es una playa en la que el oleaje es moderado, además las condiciones de energía impiden una madurez mineralógica de las arenas y es así que se tiene abundancia en líticos en todas las subzonas de la playa.

*La Entrega.*



**Figura 121.** Bahía Santa Cruz (playa La Entrega) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)



Bahía Santa Cruz es una bahía cerrada y protegida por puntas rocosas, se presentan formaciones coralinas, cuyo retrabajo permite la formación de arenas con abundantes biógenos en infraplaya, mesoplaya y supraplaya que conforman la playa la Entrega.

*Maguey.*



**Figura 122.** Bahía Maguey (playa Maguey) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco>)

La playa Maguey dentro de Bahía Maguey, presenta una gran cantidad de biógenos en su composición mineralógica de todas las subzonas debido a que es una zona de formaciones coralinas.

Cacaluta.



**Figura 123.** Bahía Cacaluta (playa Cacaluta) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)

La Bahía Cacaluta presenta una abundancia en líticos que está relacionada con la presencia de una isla, ubicada frente a ella, aportando constantemente fragmentos de roca y protegiéndola totalmente del oleaje y vientos dominantes, por lo que proporciona buen resguardo en caso del mal tiempo. Año tras año es una playa a la que llegan ocasionalmente tortugas golfinas y aves migratorias, al este se tiene un pequeño paraje para las embarcaciones.

*Chachacual.*



**Figura 124.** Bahía Chachacual (playa Chachacual) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)

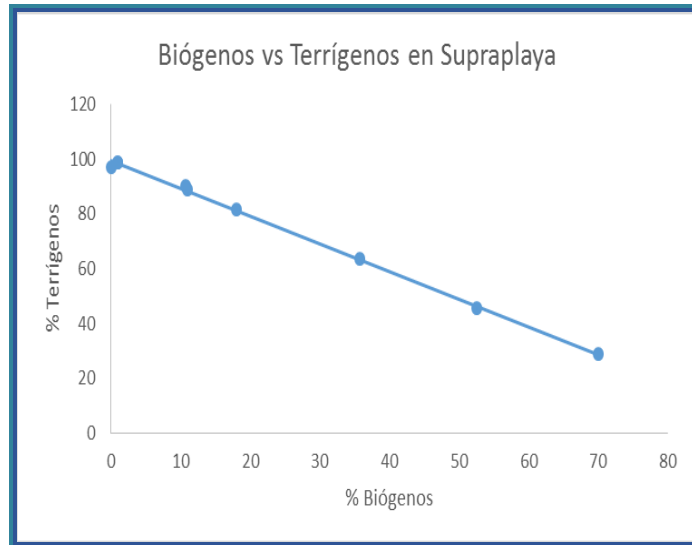
Playa Chachacual es una playa virgen, la única forma de acceder a ella es vía marítima, recibe oleajes moderados y anualmente se observan anidaciones de tortugas en la zona de mesoplaya, la abundancia en líticos en las subzonas de la playa indica condiciones de baja energía asociadas.

*San Agustín.*

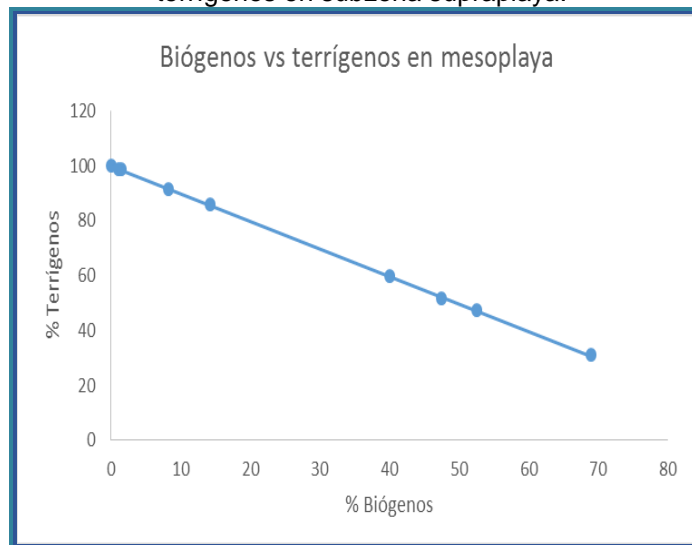


**Figura 125.** Bahía San Agustín (playa San Agustín) tomada de (<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>)

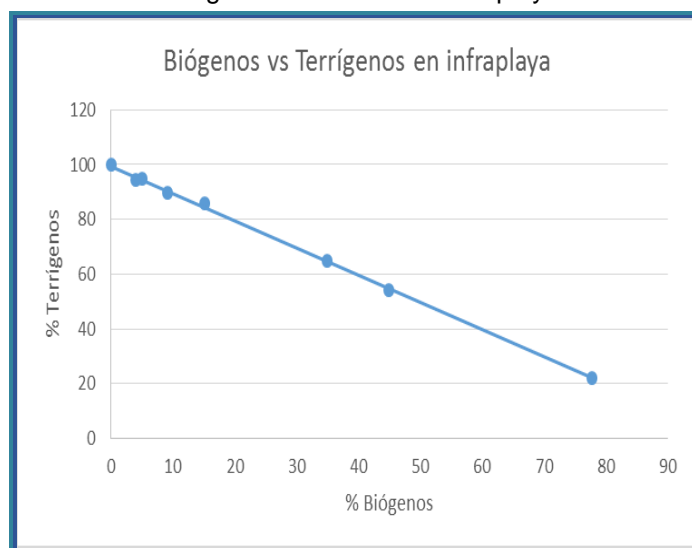
La playa San Agustín, dentro de la Bahía del mismo nombre, está protegida por islas rocosas y farallones, esta protección permite que el principal componente de las arenas sean los feldespatos así mismo cuenta con una gran cantidad de arrecifes que hacen que los biógenos coralinos estén presentes también como principal constituyente en la playa.



**Figura 126.** Gráfica biógenos vs terrígenos en subzona supraplaya.



**Figura 127.** Gráfica biógenos vs terrígenos en subzona mesoplaya.



**Figura 128.** Gráfica biógenos vs terrígenos en subzona infraplaya.

En las figuras 126, 127 y 128 se observa una clara tendencia en la que se tiene una relación directa entre la cantidad de biógenos vs terrígenos en las tres subzonas en todas las playas muestreadas.

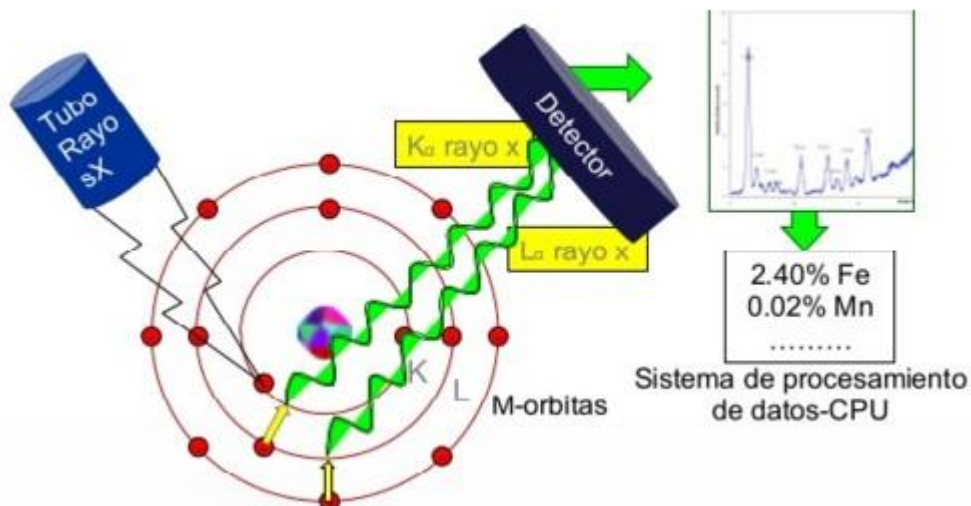
## **5. Geoquímica**

### *5.1 Fluorescencia de Rayos X*

La fluorescencia de rayos X es un método analítico que consiste en provocar que haya una absorción fotoeléctrica en un elemento (figura 129). Para que dicho fenómeno suceda se debe someter al elemento a una fuente de alta energía, es decir rayos X. Dicha energía provocará el rompimiento de la energía de enlace de uno de los electrones más cercanos al núcleo del átomo. Cuando el electrón de un átomo es expulsado, dicho átomo quedará en desequilibrio energético y en consecuencia un electrón de mayor energía (de orbitales más externos) ocupará el lugar que dejó el electrón expulsado (de menor energía). Cuando esto sucede se genera una diferencia de energía, obteniendo como resultado la emisión de energía de rayos X, que puede ser detectada y medida. Dicha emisión de energía es conocida como fluorescencia de rayos X. Cada elemento libera una cantidad específica de energía, lo cual beneficia a quienes están interesados en saber los elementos que componen a una muestra (Meléndez C. y Camacho A., 2009).

Para este estudio es importante conocer los elementos mayores y traza que hay presentes en las playas con la finalidad de verificar, si es que existe, la presencia de elementos anómalos, evidenciando así una posible contaminación.

Es fundamental una buena preparación de muestras para obtener buenos resultados de este análisis. Dicha preparación difiere dependiendo si se van a analizar elementos mayores, los cuales están presentes en más de 1% del porcentaje en peso en la corteza terrestre, ó elementos traza, los cuales están presentes en proporciones menores al 0.01% del porcentaje en peso en la corteza terrestre.



**Figura 129.** Recuperada de <http://es.slideshare.net/OlympusIMS/analizadores-geoquimicos-de-frx>, 12 ago. 2014. En la imagen se muestra el tipo de gráfico obtenido a partir del cual se realizan las interpretaciones de una muestra analizada.

## 5.2 Elementos mayores

El análisis de elementos mayores muestra la presencia de los siguientes elementos en su forma oxidada más común: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P. El porcentaje de error es menor al 1% para éste análisis.

El primer paso de preparación de las muestras fue el secado de las mismas a 110°C durante una hora en estufa. Una vez eliminada la humedad presente, se deben moler las muestras, para lo cual se utilizó un molino de viales de carburo de tungsteno. Se hace un cálculo para obtener la pérdida de material por calcinación y corroborar que la suma de los datos obtenidos en el análisis y el dato obtenido de la pérdida de calcinación nos dé un resultado coherente respecto al 100%.

Se mezclaron de 8 gramos Borato y Tetraborato de Ni en relación 1/1 con 0.4 gramos de la muestra de interés. Posteriormente se colocó el producto obtenido en crisoles de platino y oro, en donde se calentó a 1100°C durante 10 minutos en un sistema automático de fusión operado con microprocesador y tres quemadores (Mod. Fusión, fluxy claisse). Por último se obtuvieron pastillas cristalinas que fueron analizadas en el espectrómetro secuencial de

Fluorescencia de rayos X *Rigaku ZSX Primus II*, del Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.



**Figura 130.** En la imagen de la parte izquierda se muestra la estufa que se utilizó para el secado de las muestras. En la imagen de la parte derecha se muestra el molino de bolas de tungsteno. Tomadas en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.

### 5.3 Elementos traza

Los elementos traza que se analizaron son los siguientes: Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Th y Pb. Los errores estimados en este análisis es menor a 4%.

Se debe realizó el mismo procedimiento de secado que en los elementos mayores, después se hizo una mezcla de 0.4 g de muestra, 0.7142 g de Yoduro de Litio y 8 g de fundente, dicha mezcla se colocó en una prensa hidráulica durante 25s a una compresión de 20ton. Por último las tabletas obtenidas se colocaron en el espectrómetro secuencial de Fluorescencia de rayos X *Rigaku ZSX Primus II*, del Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.



**Figura 131.** Sistema automático de fusión operado con microprocesador y tres quemadores (Mod. Fusión, fluxy claisse). Tomada en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.



**Figura 132.** Espectrómetro secuencial de Fluorescencia de rayos X Rigaku ZSX Primus II.

#### 5.4 Datos obtenidos

El objetivo principal de realizar estudios geoquímicos de contenido de elementos mayores y traza fue identificar similitudes y diferencias de las nueve playas analizadas en este trabajo, así como efectuar comparaciones con los datos de análisis geoquímicos obtenidos de playa la Escobilla (Quintero , 2010) a fin de reconocer patrones de distribución de elementos mayores y traza y su vínculo con la anidación de tortugas.

En las tablas 32 y 33 se observa se marca en color verde para cada elemento, el valor más alto para un elemento de todas las playas, en color azul se resaltan los valores de la playa la escobilla y en color amarillo se resaltan los valores que podrían ser fundamentales en la geoquímica de las playas con respecto a su similitud con playa la Escobilla y así determinar si es que existe un patrón determinante en la geoquímica de dichas playas que favorece la anidación de tortugas.



**Resultado de elementos mayores**

Elemento	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3t	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Playa	74.512	0.015	9.93	0.379	0.013	0.671	4.979	2.367	3.176	0.037
Co	81.354	0.002	9.823	0.373	0.013	0.435	1.487	2.145	3.751	0.019
CoE	58.17	0.039	11.216	0.519	0.015	0.763	13.563	3.203	1.787	0.042
T	75.416	0.011	9.415	0.31	0.01	0.501	4.9	2.327	3.151	0.028
E	41.686	0.026	6.781	0.254	0.009	0.62	25.287	2.342	1.558	0.048
M	55.266	0.078	10.018	0.484	0.012	0.855	15.989	2.84	1.698	0.059
Ca	81.931	0.048	9.809	0.329	0.011	0.432	1.665	2.431	2.687	0.023
Ch	76.691	0.056	12.035	0.412	0.012	0.645	3.155	2.98	2.522	0.038
SA	81.61	0.03	8.972	0.516	0.013	0.569	2.32	2.846	1.866	0.037
<b>Escobilla</b>	<b>71.623</b>	<b>1.001</b>	<b>10.837</b>	<b>4.283</b>	<b>0.067</b>	<b>1.851</b>	<b>3.840</b>	<b>2.890</b>	<b>1.861</b>	<b>0.125</b>

**Tabla 32.** Resultado de análisis de Fluorescencia de Rayos X de elementos mayores.

**Resultado de elementos traza**

Elemento	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Playa	51	413	860	9	37	15	<5	<3	30	3	6	<4	<2	49
Co	57	188	1026	9	20	2	<5	<3	30	<2	14	<4	4	14
CoE	32	988	503	7	72	5	<5	<3	28	<2	15	<4	4	11
Co2	60	396	826	10	43	<1	<5	<3	22	3	10	<4	3	15
T	29	3126	453	4	182	<1	<5	<3	13	<2	4	<4	<2	9
E	35	1634	462	7	114	2	<5	<3	22	<2	3	<4	5	12
M	52	235	860	9	36	<1	<5	7	66	<2	18	<4	4	12
Ca	51	395	750	9	52	18	<5	<3	30	<2	6	<4	3	16
Ch	32	354	760	6	46	<1	<5	<3	34	<2	14	<4	3	8
SA	59	519	766	56	178	34	72	62	111	45	19	85	4	5
<b>Escobilla</b>	<b>59</b>	<b>519</b>	<b>766</b>	<b>56</b>	<b>178</b>	<b>34</b>	<b>72</b>	<b>62</b>	<b>111</b>	<b>45</b>	<b>19</b>	<b>85</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

**Tabla 33.** Resultado de análisis de Fluorescencia de Rayos X de elementos menores.

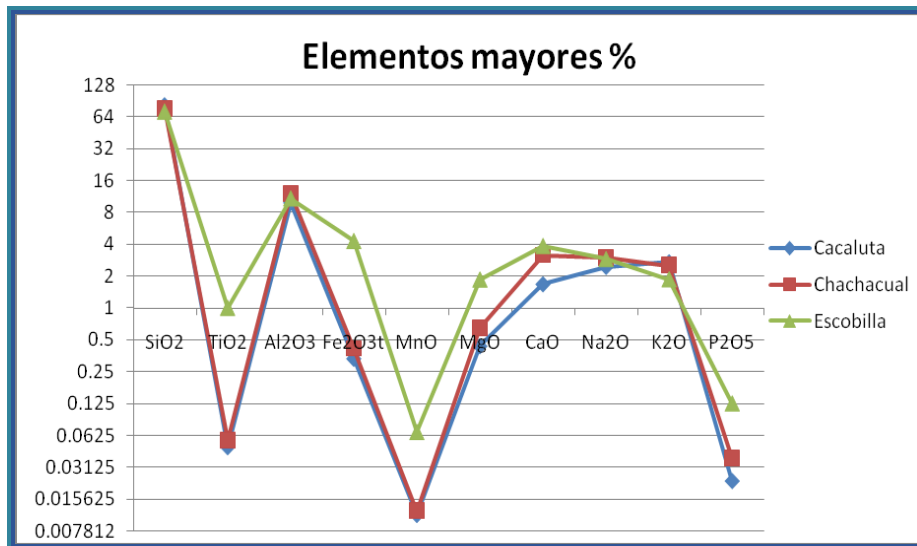
De la Tabla 33 , resultado de elementos mayores, podemos observar que entre las 9 playas estudiadas el valor más alto de  $\text{SiO}_2$  lo tiene playa Cacaluta con un porcentaje de 81.93%, dicho porcentaje no es alto con respecto a los porcentajes de otras playas como San Agustín que tiene 81.61%, pero si lo es con respecto a playas como la Entrega que tiene 41.68%. Los valores más altos de  $\text{TiO}_2$  lo tienen las playas Maguey y Chachacual con 0.07% y 0.05% respectivamente. Una vez más la playa Chachacual registró el valor más alto de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  con 12.03% y playa Conejos 2 contiene el 11.21%. Los valores de hierro reportado como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  lo tienen la playa Conejos 2 y la playa San Agustín con 0.51% y 0.41% respectivamente. Para el  $\text{MnO}$ , no hay una playa que realmente muestre un porcentaje alto con respecto a las demás, la playa Conejos 2 tiene por poco el porcentaje más alto con 0.01%. El valor más alto de  $\text{MgO}$  lo tiene la playa Maguey con 0.85%. La playa con mayor presencia de  $\text{CaO}$  es La Entrega con un porcentaje del 25.28%. La playa Conejos 2 presenta el 3.20% de  $\text{Na}_2\text{O}$  que es el valor más alto registrado. El valor más alto de  $\text{K}_2\text{O}$  lo tiene la playa Conejos E con un porcentaje del 3.75%. Por último, para el  $\text{P}_2\text{O}_5$ , el valor más alto registrado fue el de la playa Maguey con 0.59%.

Realmente podría concluirse que el porcentaje de elementos mayores no presenta una semejanza clara con respecto a playa la Escobilla, la playa Maguey, Co2 y Chachacual son las que más se asemejan en los porcentajes obtenidos.

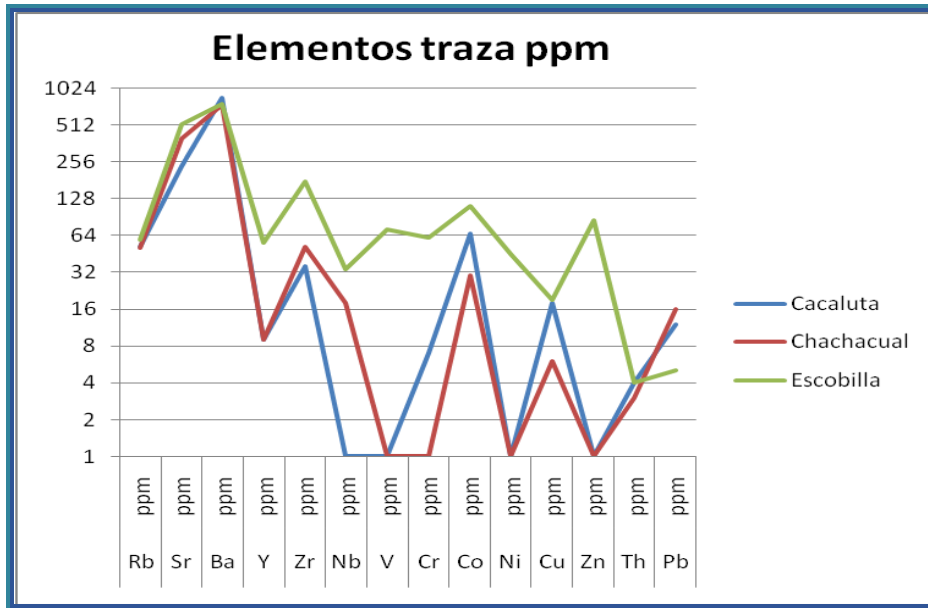
De la Tabla 34 , Resultado de elementos traza, con respecto al Rb el valor más alto lo tiene la playa Tangolunda con 60ppm, para el elemento Sr el valor más alto obtenido es el de la playa La Entrega el cual es muy alto 3126 ppm, lo cual supera en casi el doble al segundo valor más alto de 1634 ppm de la playa Maguey. La playa CoE presenta el valor de Bario más elevado de 1026 ppm. El valor del elemento Y lo presenta la playa Tangolunda aunque no por mucho el cual es de 10ppm. En cuanto al Zr el valor más alto pertenece a la playa La Entrega con 182 ppm. El Nb se presenta en mayor cantidad en la playa Chachacual con 18 ppm y en la playa Conejos con 15 ppm. El elemento V presenta menos de 5 ppm para todas las playas. El valor más alto de Cr lo

tiene la playa Cacaluta con 7 ppm, todas las demás playas presentan valores menores a 3 ppm. Esta misma playa presenta el valor más alto de Co con 66 ppm. Los valores más altos de Ni aunque no por mucho son presentados por las playas Conejos y Tangolunda con 3 ppm. El valor más alto de Cu es de 18 ppm en playa Cacaluta. Todas las playas presentaron menos de 4 ppm en el elemento Zn. La playa Maguey presentó el valor más alto de Th con 5 ppm. El valor más alto de plomo se observa en la playa Conejos con 49 ppm.

En los elementos traza se observa una similitud con respecto a playa la Escobilla, la cual presenta una abundancia clara de elementos con respecto a las demás playas, excepto en los elementos Pb, Rb, Sr, Ba, Th y Zr.



**Figura 134.** Gráfica de elementos mayores de las playas Cacaluta y Chachacual comparadas con la gráfica de playa la Escobilla.



**Figura 135.** Gráfica de elementos mayores de las playas Cacaluta y Chachacual comparadas con la gráfica de playa la Escobilla.

Tabla Resumen						
Playa	Subzona	Ancho y m	Clasificación sedimentológica	Ambiente	Clasificación	Elementos abundantes
Cacaluta, registro de tortugas	Supraplaya		Arena muy gruesa, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica-gruesos, leptocurtica.		Litoarenita	
	Mesoplaya	46.8 m, 5.4°	Arena gruesa, bien clasificada, simétrica, mesocurtica.	Playa	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> - <b>Elementos traza:</b> Cr, Co, Cu y Th.
	Infraplaya		Arena muy gruesa, bien clasificada, muy asimétrica-gruesos, leptocurtica.		Litoarenita	
Chachacual, registro de tortugas	Supraplaya		Arena fina, muy bien clasificada, asimétrica-gruesos, mesocurtica.		Litoarenita	
	Mesoplaya	37.8 m, 5.2°	Arena gruesa, muy bien clasificada, simétrica, muy leptocurtica.	Playa	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO y Na <sub>2</sub> O . <b>Elementos traza:</b> Ba y Nb.
	Infraplaya		-		-	
Conejos	Supraplaya		Arena gruesa, moderadamente bien clasificada,asimétrica-gruesos, mesocurtica.		Arcosa	
	Mesoplaya	24.3 m, 5.9°	Arena muy gruesa, muy bien clasificada, simétrica, mesocurtica.	Playa	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> - <b>Elementos traza:</b> Sr, Nb, Ni y Pb.
	Infraplaya		Arena muy gruesa, moderadamente bien clasificada,asimétrica-gruesos, leptocurtica.		Litoarenita	
Conejos E	Supraplaya		Arena gruesa, moderadamente bien clasificada,asimétrica-finos, leptocurtica.		Litoarenita	
	Mesoplaya	38.3 m, 8.7°	Arena gruesa, bien clasificada, asimétrica-gruesos, platicurtica.	Playa	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> K <sub>2</sub> O. <b>Elementos traza:</b> Rb, Ba y Th.
	Infraplaya		Arena gruesa, moderadamente clasificada,asimétrica-finos, Mesocurtica.		Litoarenita	
Conejos 2	Supraplaya		Arena gruesa, bien clasificada, asimétrica-gruesos, platicurtica.		Arcosa	
	Mesoplaya	40.5 m, 7.5°	Arena gruesa, bien clasificada, asimétrica-finos, leptocurtica.	Playa	Arcosa	<b>Elementos mayores:</b> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O. <b>Elementos traza:</b> Cu y Th.
	Infraplaya		Arena muy gruesa, moderadamente clasificada, muy asimétrica-gruesos, leptocurtica.		Litoarenita	
La Entrega	Supraplaya		Arena media, bien clasificada, simétrica, platicurtica.		Arcosa	
	Mesoplaya	17.1 m, 7.1°	Arena gruesa, moderadamente bien clasificada, simétrica, leptocurtica.	Eólico	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> CaO y P <sub>2</sub> O. <b>Elementos traza:</b> Sr y Zr.
	Infraplaya		Arena gruesa, moderadamente clasificada, muy asimétrica-finos, mesocurtica.		Litoarenita	

Maguey	Supraplaya		Arena media, moderadamente bien clasificada, simétrica, platicurtica.		Arcosa	
	Mesoplaya	37.8 m, 7.1°	Arena media, bien clasificada, muy asimétrica-finos, leptocurtica.	Eólico	Arcosa	<b>Elementos mayores:</b> TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, Na <sub>2</sub> O y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . <b>Elementos traza:</b> Th.
	Infraplaya		Arena gruesa, moderadamente bien clasificada, muy asimétrica-guesos, leptocurtica.		Litoarenita	
Tangolunda	Supraplaya		Arena gruesa, moderadamente clasificada, muy asimétrica-finos, leptocurtica.		Litoarenita feldespática	
	Mesoplaya	16 m, 6.7°	Arena muy gruesa, bien clasificada, muy asimétrica-finos, muy leptocurtica.	Eólico	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> - <b>Elementos traza:</b> Rb, Y y Ni.
	Infraplaya		Arena muy gruesa, moderadamente clasificada, muy asimétrica-gruesos, mesocurtica.		Litoarenita	
San Agustín	Supraplaya		Arena gruesa, bien clasificada, asimétrica-gruesos, platicurtica.		Arcosa	
	Mesoplaya	22.5 m, 6.3°	Arena gruesa, muy bien clasificada, asimétrica-gruesos, mesocurtica.	Turbidita	Litoarenita	<b>Elementos mayores:</b> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> O y K <sub>2</sub> O. <b>Elementos traza:</b> Ba, Co y Pb.
	Infraplaya		Arena muy gruesa, mal clasificada, muy asimétrica-gruesos, extremadamente leptocurtica.		Arcosa	
Escobilla, registro de tortugas	Supraplaya	40 m promedio y pendientes	Arena media a gruesa		Cuarzoarenita	<b>Elementos mayores:</b> TiO <sub>2</sub> , MnO, MgO y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .
	Mesoplaya	muy variables a lo largo de la	Arena media a gruesa	-	subarcosa	<b>Elementos traza:</b> Y, Th, Nb, V, Cr, Co, Ni, Cu y Zn.
	Infraplaya	playa	De arena fina a gruesa			

**Tabla 34.** Tabla resumen de las 9 playas estudiadas y playa la Escobilla analizada por Quintero E 2010.

## 6. Implicaciones ecológicas y ambientales

### 6.1 Anidación de tortugas

En nuestro país se tiene un total de 864 especies de reptiles contadas hasta este momento, dicha cantidad nos coloca en el segundo país a nivel mundial con mayor diversidad de este grupo después de Australia. Las tortugas pertenecen a este grupo, en México se cuenta con 5 de las 6 especies que existen en el mundo.

El estado de Oaxaca cuenta con dos playas que son un importante lugar para el desove de tortugas que son playa La Escobilla y playa El Morro Ayute. Playa La Escobilla es el santuario de tortugas más importante de México y uno de los

más importantes a nivel mundial. Debido a su cercanía relativa con las playas estudiadas en este documento, se ha decidido hacer una comparación entre las características más importantes de dicho santuario y las dos playas en las que se ha registrado presencia de tortugas, Cacaluta y Chachacual.

De acuerdo con Quintero E. 2010, playa la escobilla presenta una pendiente no muy pronunciada, predominan ángulos de entre 4° y 6.5°, la anchura de la playa varía de entre 80 m y 25 m, predominando un ancho de entre 60 m y 70 m. Las dos playas de este estudio con presencia de tortugas presentan un ángulo de 5.4° y 5.2° y un ancho de 46.8 m y 37.8 m para Cacaluta y Chachacual respectivamente.

Se compone principalmente de arenas medias y homogéneas en las partes de mesoplaya y supraplaya, lo cual, el autor lo atribuye a la bioturbación generada por dichos organismos durante las arribazones. Las arenas de playa Cacaluta principalmente son gruesas y bien clasificadas en la subzona de mesoplaya y arenas muy gruesas y bien clasificadas en la subzona de supraplaya. La playa Chachacual presenta arenas gruesas muy bien clasificadas en mesoplaya y en supraplaya presenta arenas finas muy bien clasificadas.

La petrografía de playa la Escobilla presenta principalmente granos de cuarzo a diferencia de las playas Cacaluta y Chachacual que están conformadas principalmente de líticos. Las partículas del santuario contienen un mayor grado de madurez, a diferencia de las partículas que hay presentes en las playas analizadas en este trabajo, en las que aún hay un alto porcentaje de líticos. Es importante mencionar que los líticos están principalmente constituidos por cuarzo y feldespatos y su procedencia se atribuye principalmente a granodioritas.

Los análisis geoquímicos para elementos mayores presentan para la playa la Escobilla un alto contenido en Hierro con respecto a las playas Cacaluta y Chachacual, 4.28% contra 0.32% y 0.41% respectivamente. El porcentaje de Sodio, Potasio y Calcio son los que presentan mayor similitud entre las tres playas. El Aluminio presenta, aunque no tan marcada, un porcentaje similar

entre las tres playas. Se puede decir que las playas que presentan mayor similitud con La Escobilla son Chachacual, Conejos 2 y Maguey.

Se observó que en la playa la Escobilla los metales de transición se presentan en grandes cantidades con respecto a las 9 playas analizadas en este trabajo. Por otra parte la concentración de Estroncio, Bario y Rubidio son menores en La Escobilla que en muchas de las 9 playas de bahías de Huatulco. Playa Cacaluta es la que presenta mayor similitud en cuanto a los porcentajes de elementos traza al igual que playa Conejos.

## *6.2 Contaminación en arenas*

El análisis geoquímico nos dio valores interesantes en cuanto a elementos traza. Los valores de Estroncio son muy elevados con respecto a las demás playas en playa La Entrega 3126 ppm y Maguey 1634 ppm. Se podría atribuir al alto contenido de carbonatos que hay en ambas playas, ya que el Estroncio y el Calcio son muy similares y existe un alto índice de sustitución entre ambos elementos. El isótopo Sr90 es nocivo para la salud, ya que se adhiere a los huesos sustituyendo al calcio y pueden presentarse enfermedades como cáncer en los huesos o desórdenes en los mismos.

La playa conejos presenta el mayor porcentaje de Plomo con 49 ppm, la procedencia de dicho elemento es desconocida.

## **7. Conclusiones**

Mantener un equilibrio constante es fundamental para una buena interacción entre el humano y los ecosistemas. Estudios como el presente, son importantes para el conocimiento de características que en un momento determinado pudieran prevenir situaciones desfavorables tanto para la flora y fauna, evitando así un perjuicio a las necesidades de los seres humanos.



Las playas analizadas tienen un rol muy importante para la vida silvestre, en el Parque Nacional Huatulco se tienen diversas especies, las cuales juegan a su vez un papel importante en la cadena alimenticia de la cual el hombre necesita que esté en un equilibrio constante para su beneficio. Por otra parte la economía de Oaxaca depende en gran proporción del turismo y ecoturismo, personas de todo el mundo llegan a costas oaxaqueñas en busca de cultura y diversión. Por ésta y muchas razones más es importante conocer los factores que pudieran ayudar no únicamente a mantener, sino también de ser posible mejorar las condiciones de la región.

Por último concluimos que la ausencia de tortugas en las 7 playas conjuntas a Cacaluta y Chachacual se debe a diversos factores:

- El área de dichas playas es muy pequeña, lo cual podría afectar los nidos de tortugas debido a la actividad del oleaje.
- La pendiente de las playas y el ancho son al parecer los factores más importantes. Playa la Escobilla presenta una pendiente promedio de  $6^\circ$  y un ancho promedio de 60 m. Cacaluta y Chachacual presentan  $5.4^\circ$ , 46.8m y  $5.2^\circ$  y 37.8 m respectivamente. Playa Conejos tiene un ángulo de  $5.1^\circ$  y un ancho de 37.8 m, pero su composición geoquímica es desfavorable.
- Las características sedimentológicas son también importantes pero no esenciales para la anidación de tortugas. Se sabe que preferentemente dichos organismos prefieren arenas medias bien clasificadas. Las arenas de playa Cacaluta principalmente son gruesas y bien clasificadas en la subzona de mesoplaya y arenas muy gruesas y bien clasificadas en la subzona de supraplaya. La playa Chachacual presenta arenas gruesas muy bien clasificadas en mesoplaya y en supraplaya presenta arenas finas muy bien clasificadas.
- Del resultado de los análisis geoquímicos, observamos que el hierro y los metales de transición en playa la Escobilla se presentan en cantidades mayores con respecto a las 9 playas que fueron estudiadas. Estudios realizados por Lohmann K. & Lohmann C. (1996; 2001)

sugieren que las tortugas marinas se orientan mediante el campo electromagnético de la Tierra, por lo tanto es recomendable realizar estudios especializados para saber si la presencia de elementos magnéticos influyen en la orientación de dichos organismos y por lo tanto la presencia o no de los mismos en lugares específicos. Playa Chachacual tiene relativamente altas cantidades de hierro con respecto a las demás playas pero la playa Cacaluta tiene un porcentaje similar a las playas restantes. Playa Maguey, La Entrega y Conejos presentan gran similitud con playa la Escobilla, pero también presentan altas cantidades en los elementos Estroncio y Plomo que podrían ser no favorables para cualquier tipo de organismo.

### *Recomendaciones*

Se sugiere realizar un muestreo de fondo, colectando un mayor número muestras en puntos específicos para poder hacer una buena interpretación con respecto a los contenidos de Estroncio y Plomo en las playas La Entrega, Maguey y Conejos y concluir si es debido a actividad antropogénica o si dichos valores se presentan de manera natural en esas zonas.

Para complementar estudios como éste se recomienda que se realicen estudios sobre la geoquímica de las aguas que aportan ríos cercanos y estudios sobre las fuentes de alimento, depredadores y condiciones favorables para las tortugas que hay presentes en las 9 playas y en la Escobilla.

## Referencias

Altuzar, P. Fundamento Teórico de la Fluorescencia de Rayos-(WDFRX), [http://xml.ier.unam.mx/xml/ms/Doctos/FUNDAMENTOS\\_FRX.pdf](http://xml.ier.unam.mx/xml/ms/Doctos/FUNDAMENTOS_FRX.pdf).

CONABIO., (1996), "Regiones prioritarias para la conservación en México", Biodiversitas, 2 (9), México.

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturalmente Protegidas) 2003. Programa de manejo Parque Nacional Huatulco. Conanp-Semarnat. Documento oficial en PDF consultado el 28 de Enero de 2015: [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/pdf/programas\\_manejo/huatulco.pdf](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/huatulco.pdf).

CONANP., 2005. Decreto del Parque Nacional Huatulco. Documento oficial en PDF consultado el 6 de febrero de 2016: [www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Huatulco%202000.ppt](http://www.conanp.gob.mx/sig/decretos/parques/Huatulco%202000.ppt). p: 55. 024jul98.pdf.

Fernández, E. y Gómez, S., (1985), Arqueología de Huatulco, Oaxaca: Memoria de la primera temporada de campo del proyecto arqueológico Bahías de Huatulco, Colección Científica, Serie Arqueología, Instituto Nacional de Antropología e Historia-Secretaría de Educación Pública, México

Folk, R., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Texas.

Friedman GM., Sanders JR. 1978. Principles of Sedimentology. Wiley: New York

<http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioHuatulco.pdf>, 01-11-15

IUCN., 2015. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2015-3. Recuperado el 14 de agosto de 2015 de: <http://www.iucnredlist.org>

Jabbour, G. Márquez, R. & Guerra I. 2009. Un modelo para la clasificación de areniscas, *Ciencia e Ingeniería*, 30 (3), 219-228.

Lohmann, K. J. & Lohmann, C. M. F., 1996. Detection of magnetic field intensity by sea turtles. *Nature*, 380: 59-61.

Lohmann, K. J., Cain, S. D., Dodge, S. A. & Lohmann, C. M. F., 2001. Regional magnetic fields as navigational markers for sea turtles. *Science*, 294: 364-366.

Lozano, R., Verma, P.S., Girón, P., Velasco, F., Morán, D., Viera, F. y Chávez, G., 1996. Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas, Instituto Nacional de Geoquímica *INAQ 2*, 237-242

Meléndez, C. y Camacho, A. 2009. Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X, Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas.

Ducea, M., Gehrels, G., Shoemaker, S., Ruiz, J. y Valenca, A., 2004. Geologic evolution of the Xolapa Complex, southern Mexico: Evidence from U-Pb zircon geochronology. *GSA bulletin 116 (7/8)* 1016-1025.

Morales, H., (1998), "Análisis de paisaje en el corredor turístico de Bahías de Huatulco", Tesis de licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México

Morán, D., Martiny, B., Tolson, G., Solís, G., Alba, L., Hernández, M., et al., 2000. Geocronología y características geoquímicas de las rocas magmáticas terciarias de la Sierra Madre del Sur, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, LVIII*, 27-58.

Mortimer, J., 1990. The influence of beach sands characteristics of the nesting behavior and clutch survival of green turtles (*Chelonia mydas*); *COPEIA*, 3, 802-817.

Ortega, F., 1981. La evolución tectónica Premisisípica del sur de México, UNAM, Instituto de Geología, 5, 140-157.

Ortega, F., Elías M., Morán D., Solari L., Luna L. & Schaaf P., 2014. A Review of batholiths and other plutonic intrusions of Mexico, *Gondwana Research* 26. 834 - 868.

Pérez, R. Solari, L. Gómez, A & Martens, U., 2009. Evolución geológica mesozoica del Complejo Xolapa al norte de Acapulco, sur de México: implicaciones para las reconstrucciones paleogeográficas, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (1).

Pritchard, P. C. H. y J. A. Mortimer., 2000. "Taxonomía, morfología externa e identificación de las especies", en K. L. Eckert et al. (eds.), Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Washington, D. C.: Grupo Especialista en Tortugas Marinas UICN/CSE

Quintero, E., 2010. Análisis sedimentológico y geomorfológico de una playa de anidación de tortugas en el Pacífico Sur Mexicano, La Escobilla, Oaxaca. (Tesis de Maestría) UNAM, México.

Ramírez A. 2005. Las bahías de Huatulco, Oaxaca, México: ensayo geográfico-ecológico. Ciencia y Mar IX (25): 3-20 obtenido de <http://www.umar.mx/revistas/25/articulo25.pdf> con fecha 4 de abril de 2016

RAMÍREZ-LUNA, S. y N. A. BARRIENTOS-LUJÁN. (1999), "Diversidad de invertebrados bentónicos de las zonas coralinas del corredor costero: Puerto Escondido Bahías de Huatulco, Oaxaca", Universidad del Mar, México, (informe técnicocientífico)

Rodríguez, D., 2012. Disponibilidad del agua y riesgo hidrológico en los escurrimientos de la cuenca del Río Copalita, con un modelo estocástico (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.

Solari, A., Keppie, D., Ortega, F., Cameron, K. y López, R., 2004. ~990 Ma peak granulitic metamorphism and amalgamation of Oaxaquia, Mexico: U–Pb zircon geochronological and common Pb isotopic data, Rev. mex. cienc. Geol, 21 (2) 212-225.

Stancyk S.E. y Ross J.P., 1978. Analysis of sand from Green Turtle nesting beaches on Ascencion Island. *COPEIA*, 1, 93-99.

Tolson, G., 2005. La falla Chacalapa en el sur de Oaxaca: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 1, 111-122.

UNIVERSIDAD DEL MAR. (2000), Diagnóstico preliminar en la porción marina del Parque Nacional Huatulco, Universidad del Mar, Oaxaca, México.

Verma, P.S., Lozano, R., Girón, P. y Velasco, F., 1996. Calibración preliminar de fluorescencia de Rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas, Instituto Nacional de Geoquímica *INAQ* 2, 237-242.