



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Sedimentología y composición  
químico-mineralógica de  
arenas de Playas de  
Zihuatanejo, Guerrero.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Geólogo**

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

Yael Domínguez Sánchez

**DIRECTORA DE TESIS**

Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx. 2018

## Agradecimientos

*A mi prestigiosa y gloriosa UNAM por darme todas las facilidades para concluir mi carrera y por permitirme formar parte del grupo de egresados de esta universidad. De igual manera, a mi amada Facultad de Ingeniería.*

*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" de la DGAPA por su apoyo.*

*A mi directora de tesis, Mayumy, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto y darme la confianza para lograr hacer este trabajo.*

*A mis padres, Maru y Omar, por siempre estar ahí cuando los necesito, por todo el apoyo, esfuerzo y todos los consejos que me brindaron, por ser mis guías y mi motivación siempre; simplemente por ser los mejores y porque sin ustedes yo no sería lo que soy ahora.*

*A mi hermano, Oscar, por ser aquella persona que me motiva ser mejor persona y me demuestra día a día que se puede ser brillante con un poco de dedicación; por todas las experiencias que hemos vivido y sobre todo por dejarme ser ese ejemplo de que no se necesita ser un genio para salir adelante y lograr tus metas, tan solo es necesario ser responsable y constante.*

*A Milede, por ser ese ejemplo de fortaleza que se necesita para lograr salir adelante en los momentos más difíciles, por ser mi confidente y esa persona que siempre me hace darme cuenta de mis errores y aciertos, por estar ahí siempre; por marcar un antes y un después en mi vida.*

*A mi abuela Rosa, por cuidar de mi cuando era necesario, por la atención, los consejos brindados y esas pláticas de sus experiencias de vida. A mi abuela Tomy y mi abuelo Chano por sus atenciones y sus enseñanzas.*

*A mis tíos y tías, Israel, Gaby, Lola, Héctor, Abraham, Marleana, Jorge, Arely, Mauro, Maribel, Gil, Lucrecia, Aarón, Oliva, Hugo, Rosalba; así como a primos y primas, Uriel, Rubén, Mauret, Daniela, Damián, Leonel, Rubí, Aarón, Sahira, Paulita, Edward, Hugo, Brenda, Daniela, Itzel, Alan, Aldair, Monse, Alex, por toda su atención, consejos y apoyo.*

*A mi primo Luis, por ayudarme en un proceso muy importante de mi formación académica y de mi vida, brindándome la ayuda para poder realizar mi estancia profesional en otro estado y fuera de mi zona de confort. Además, por las asesorías en algunas materias y por tus consejos; gracias a tus pláticas relacionadas a tu trabajo fue que profundicé y encontré esta carrera.*

*A mis amigos, Erick, Sinuhé, Daniela, Mónica, Gisselle, Gabo, Paz, Fany, Vero, Miriam, Bernabé, Sotelo, Katy, Ferz, Caro, Mariano, Martha, Ro, Said, Santiago, Quique, Manueloko, Sergio, Fer, Andy, Elsa, Samuel, Mariela, Carlos, Leslie, Diego, por recorrer conmigo parte de mi vida estudiantil, así como todas las experiencias dentro y fuera del aula.*

*A mis profesores, por todas las enseñanzas y los conocimientos que me brindaron.*

*Al profesor, M.C. Emiliano Campos Madrigal, por darme la oportunidad de trabajar con él en las materias que imparte, por darme la confianza de poder ayudar y asesorar a los alumnos con los ejercicios y exámenes.*

*Agradezco a mis demás sinodales Dr. Arturo Carranza Edwards, Ing. Alfredo Victoria Morales y M.I. Alejandra Aguayo Ríos; también el apoyo de María Patricia Girón García en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, a los técnicos Santiago Avilés del Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Instituto de Geología y Ricardo Martínez Domínguez del laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.*

*"Somos el resultado de lo que hacemos repetidamente. La excelencia entonces no es un acto, sino un hábito"*

*-Aristóteles*

## **Índice**

1. Resumen.....	3
2. Generalidades.....	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. Área de estudio.....	6
2.3. Fisiografía.....	7
2.4. Hidrografía.....	9
2.5. Clima.....	10
2.6. Geología.....	11
2.7. Antecedentes.....	17
2.8. Objetivos.....	19
2.8.1.General.....	19
2.8.2.Particular.....	19
3. Metodología.....	19
3.1. Trabajo de campo.....	19
3.2. Trabajo de laboratorio.....	23
4. Sedimentología.....	24
4.1. Lavado de muestras.....	24
4.2. Secado de muestras.....	25
4.3. Tamizado.....	26
4.4. Recolección de datos.....	28
4.5. Clasificación de las muestras de acuerdo con sus parámetros estadísticos.....	37
4.6. Parámetros obtenidos de las playas.....	42
5. Petrografía.....	68
5.1. Descripción y conteo de puntos.....	70
6. Geoquímica.....	86
6.1. Fluorescencia de rayos x.....	86
6.2. Elementos mayores.....	88
6.3. Elementos traza.....	89
6.4. Tablas de resultados.....	90
7. Discusión de resultados.....	91
7.1. Sedimentología.....	91
7.2. Petrografía.....	92
7.3. Geoquímica.....	93
8. Conclusiones.....	94
9. Recomendaciones/ comentarios finales.....	95
10. Referencias.....	96

## **1. Resumen**

En este trabajo se analizaron 24 muestras de 8 playas de Zihuatanejo, esto con el fin de determinar las características y parámetros sedimentológicos, petrográficos y geoquímicos. Esto podrá ser de gran ayuda para determinar aquellos factores que influyen en la formación y modificación de las playas en diferentes tiempos; dentro de los factores debemos considerar algunos aspectos que se mencionan en este trabajo, como por ejemplo, el clima, la hidrografía, la morfología y sin duda, la geología.

La información que arrojan los resultados son indicadores de ambientes de formación, así como de la química que se encuentra en la zona, esto es importante porque gracias a la información de la geoquímica se pueden determinar parámetros para generar planes de protección al medio ambiente. Al final, el estudio del área de Zihuatanejo es importante debido a su gran afluencia de turistas, la belleza y la gran demanda de sus playas son indicadores para generar planes de desarrollo cultural, social y de turismo.

### **Abstract**

*In this work, 24 samples from 8 Zihuatanejo beaches were analyzed, in order to determine the sedimentological, petrographic and geochemical characteristics and parameters. This can be of great help to determine those factors that influence the formation and modification of the beaches at different times; within the factors we must consider some aspects that are mentioned in this work, such as, climate, hydrography, morphology and, without doubt, geology. The information that the results show are indicators of training environments, as well as the chemistry found in the area, this is important because, thanks to the information from the geochemistry, parameters can be determined to generate protection plans for the environment. In the end, the study of the area of Zihuatanejo is important due to its great influx of tourists, the beauty and the great demand of its beaches are indicators to generate cultural, social and tourism development plans.*

## **2. Generalidades**

### **2.1. Introducción**

Las playas de Zihuatanejo son un destino turístico muy importante en el estado de Guerrero, varias de estas playas cuentan con arrecifes, diferentes coloraciones y, por lo tanto, diferentes composiciones, las cuales, son parte del atractivo turístico de la zona, además de los diferentes eventos culturales y gastronómicos de la región.

Los estudios geológicos relacionados con las playas permiten establecer estrategias para fomentar o establecer conservación, construcción, desarrollo turístico, etc.; dentro de estos estudios es necesario conocer los parámetros morfológicos, mineralógicos y químicos que pudieran afectar o incluso modificar las características de las playas, es por esto que en este trabajo se hace un análisis de las propiedades sedimentológicas, petrográficas y geoquímicas de las arenas de 8 playas ubicadas en Zihuatanejo, Guerrero.

El ambiente costero, genera un gran interés debido a los diversos procesos geológicos que ahí tienen lugar. Existen autores que han estudiado las variaciones texturales y composicionales de sedimentos del ambiente costero (Carranza- Edwards et al., 2001; Kasper- Zubillaga y Carranza- Edwards, 2005 y 2007; Kasper- Zubillaga, 2007), dichos estudios pueden contribuir de manera importante a la interpretación de paleoambientes.

En las zonas costeras existen interacciones importantes entre océano y continente, debido a que el mar se ve influenciado por el continente y viceversa. En dicha zona se llevan a cabo procesos físicos, químicos, geológicos, biológicos, etc., cuyo alcance resulta variable en el espacio y el tiempo.

Uno de los ambientes de la zona costera es el de playa, el cual es variable incluso en sus límites. Es una franja a lo largo de la línea de costa de sedimento no consolidado (Komar, 1976), que cambia en función de diversos factores ambientales, como climas, corrientes superficiales y el nivel del mar; condiciones espaciales como el relieve, ambiente tectónico y ubicación geográfica; y condiciones temporales en escalas de horas, días, o unidades de tiempo geológico. Además, existen diferencias morfológicas evidentes en las líneas de

costa, que pueden resultar como acantilados de pendientes muy abruptas o como playas de pendientes muy suaves, también pueden desarrollar deltas, islas de barrera, manglares, lagunas costeras, estuarios, dunas costeras, etc., tan amplia es la diversidad de morfologías generadas por la interacción entre el mar y el continente.

La morfología de las costas está relacionada con los procesos de erosión, transporte y depósito de sedimentos; el oleaje continuo desgasta las rocas que se encuentran en la línea de costa y las corrientes litorales se encargan de distribuir los sedimentos, la composición es un reflejo de la fuente de la cual proceden, los sedimentos se depositan en la costa debido principalmente a los procesos de transporte desde la roca que los ha generado, de igual forma, el tamaño de grano es el reflejo de la energía que actúa durante el transporte y en el lugar donde se depositan (Davis y Fitzgerald, 2004)

Las playas desde el punto de vista geológico son el lugar donde se acumulan los sedimentos que están en los alrededores debidos principalmente a la acción del oleaje. Los estudios geológicos relacionados con este ambiente sedimentario permiten establecer estrategias de conservación; dentro de estos estudios es necesario conocer los parámetros morfológicos, mineralógicos y químicos que lo pudieran afectar, es por esto que, sumado a los programas de conservación ecológica por parte del gobierno del estado de Guerrero, en este trabajo se hace un análisis de la sedimentología, la petrografía y la geoquímica de las arenas de 8 playas ubicadas en Zihuatanejo, Guerrero, el cual permitirá generar puntos de comparación para posteriores investigaciones en la zona de estudio.

De acuerdo con Keller (1996) el principal problema ambiental es el crecimiento de la población. Este problema ha crecido en gran cantidad en las regiones cercanas a la zona de estudio. Por eso es importante dar a conocer algunos parámetros y algunos efectos de ciertos elementos tanto para el medio ambiente, como para la salud.

## 2.2. Área de estudio

Zihuatanejo es la cabecera del municipio de Zihuatanejo de Azueta (Fig. 1), ubicado en la Costa Grande de Guerrero. Los límites de este municipio son: al norte, los municipios de Coahuayutla de José María Izazaga y Coyuca de Catalán, al poniente La Unión de Isidoro Montes de Oca y al suroriente Petatlán.

En términos geográficos, Zihuatanejo se localiza al NW del estado de Guerrero sobre la costa del Pacífico a 240 kilómetros del puerto de Acapulco, en el meridiano oeste  $101^{\circ}33'$  y paralelo norte  $17^{\circ}38'$ .

Al norponiente de la cabecera municipal se localiza Ixtapa, que es un complejo turístico creado en la década de los años setenta, con el objetivo de impulsar el turismo en la zona y promover la inversión para el desarrollo regional.

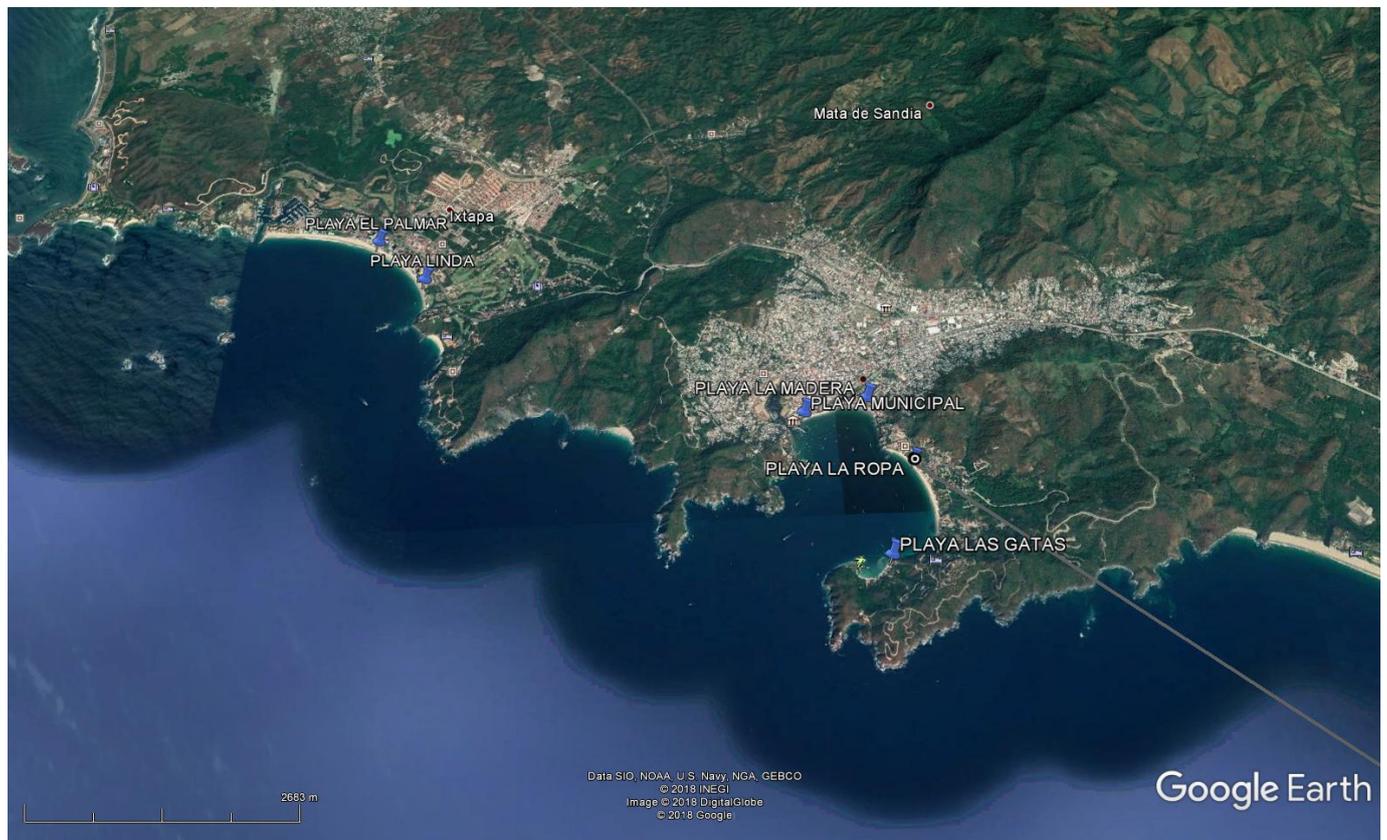


Figura 1. Zona de Estudio, Zihuatanejo; Guerrero. Tomada de Google Earth.

### **2.3. Fisiografía**

El municipio de Zihuatanejo de Azueta forma parte de la zona montañosa del sureste de Guerrero-Oaxaca y se encuentra situado en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (Lugo-Hubp, 1990). Esta provincia se caracteriza por tener una planicie costera muy angosta, con un ancho variable entre 100 m y 15 km, formando un litoral rocoso. Cubre el territorio del estado de Guerrero en su totalidad, prolongándose hasta el Golfo de Tehuantepec y es atravesada por numerosos ríos, los cuales forman cañones en las partes altas que son conocidos como filos. Esta provincia es notable por su alta biodiversidad y el gran número de especies endémicas que posee, así como por importantes yacimientos de oro, plata, plomo y hierro que se ubican en la zona (Fig. 2).

A su vez, esta provincia se subdivide en las subprovincias de Cordillera Costa del Sur y Costa del Sur.

- Subprovincia Cordillera Costa del Sur. Se caracteriza por la presencia de un sistema de toposformas de sierra con orientación NW-SE, integrada por profundos cañones y desfiladeros. Esta subprovincia ocupa el 30.59% de la superficie del municipio de Zihuatanejo de Azueta.
- Subprovincia Costa del Sur. Esta subprovincia abarca el 69% de la superficie municipal. Se caracteriza por sus toposformas de sierra abarcando un 48% de la superficie municipal, seguida de llanura (15.08%), llanura con lomeríos (4.22%) y valle (1.77%). Se caracteriza por la presencia de lomeríos suaves, mientras que en dirección a la línea de costa predomina la planicie con zonas de inundación y bahías relacionadas con el desarrollo de franjas litorales.

El área de estudio se conforma por extensas planicies costeras tales como las zonas de Playa Larga y Playa Blanca en el oriente y Playa Linda en el poniente. Al centro se define por planicies angostas en proximidad a la Bahía de Zihuatanejo y a la Bahía de La Puerta (Ixtapa). En esta zona es posible observar acantilados y costas rocosas con un perfil casi vertical, formando salientes y puntas que se insertan en un esquema de costa mixta, particularmente la zona

de Las Gatas, El Riscalillo, La Majahua y Punta Ixtapa, como se muestra en la figura 1.

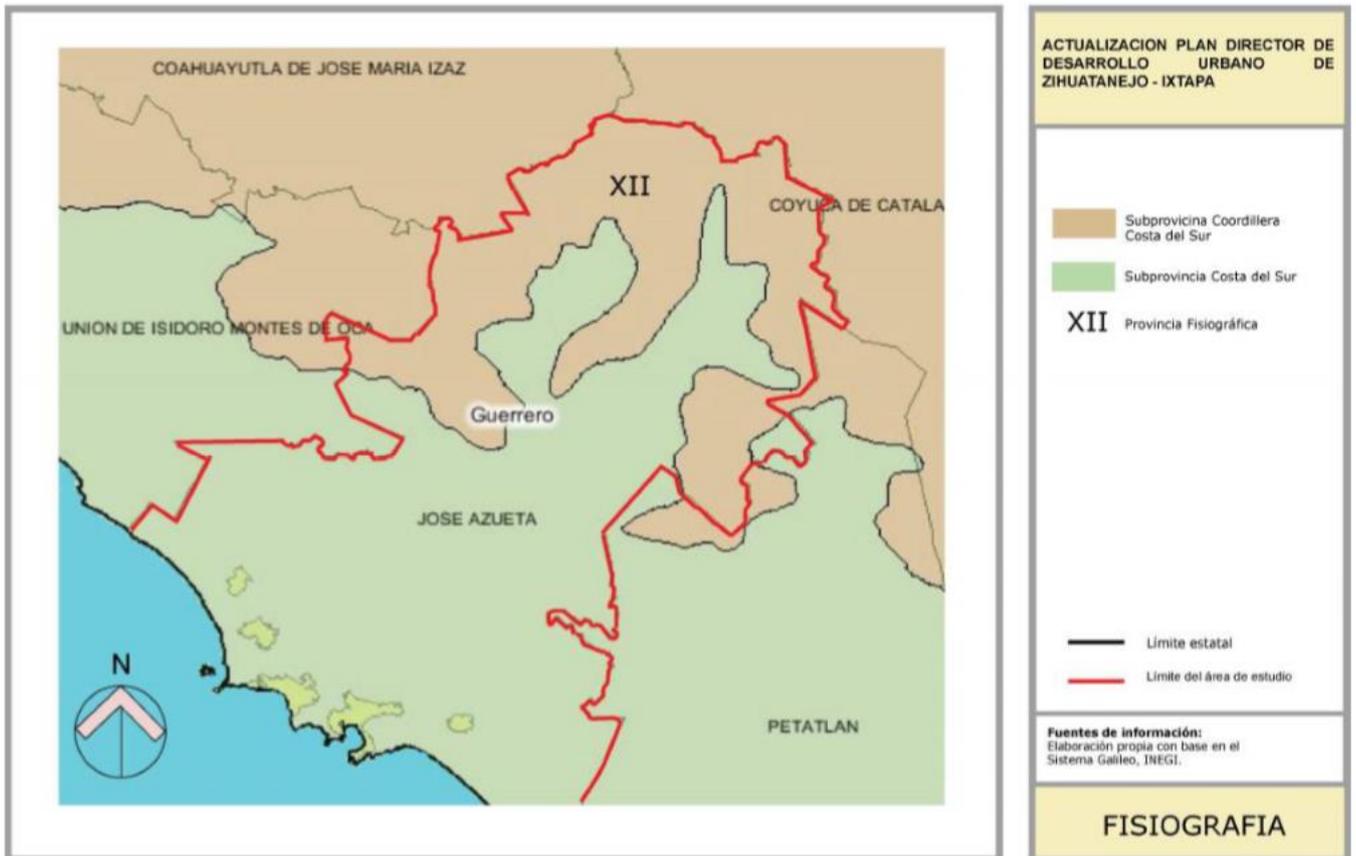


Figura 2. Fisiografía. (Sacado del plan director de desarrollo urbano de Zihuatanejo-Ixtapa)

## **2.4. Hidrografía**

El sistema hidrográfico de la subregión Costa Grande de Guerrero está constituido por las cuencas de captación de los ríos de la vertiente del Pacífico y sus afluentes (Fig. 3). Esta subregión hidrológica se compone por tres cuencas principales:

- Cuenca del río Atoyac, ubicada en el centro de la región, a la cual se integran los ríos Tecpan, Coyuca y La Sabana.
- Cuenca del río Coyuquilla, compuesta por los ríos de Petatlán, Coyuquilla, San Luís y San Jeronimito.
- Cuenca del río Ixtapa, localizada hacia el occidente de la región cerca de los límites con el estado de Michoacán; los ríos más importantes son el Ixtapa y La Unión.

La cuenca del río Ixtapa a su vez se compone por 4 subcuencas de captación: La Salitrera, Las Burbullas y El Posquelite, las que descargan directa o indirectamente en la zona de las lagunas de Ixtapa y del Negro, que funcionan como un vaso de captación para estos escurrimientos naturales de la zona de La Puerta, absorbiendo los escurrimientos del Arroyo El Posquelite.

También forma parte de este sistema hidrográfico la cuenca de captación que conforma la Bahía de Zihuatanejo, así como ríos y corrientes menores que delimitan pequeñas cuencas de captación independientes, como es el caso de los ríos La Cofradía, Lagunillas y Los Llanos. El sistema lagunar costero de la subregión denominado El Potosí, está compuesto por 6 lagunas y 2 esteros, e involucra las lagunas de Playa Blanca y el Potosí, al oriente del área de estudio.

La totalidad de cuencas del área de estudio tienen un patrón de escurrimiento superficial, con un recorrido casi lineal directo hacia el litoral del Pacífico y con escasos afluentes de corto desarrollo. Las cuencas se alinean de manera general en el sentido EN-SW, con elevaciones máximas del orden de 1,800 msnm en el parteaguas que divide a este conjunto de cuencas con la del río Balsas, hacia el norte.

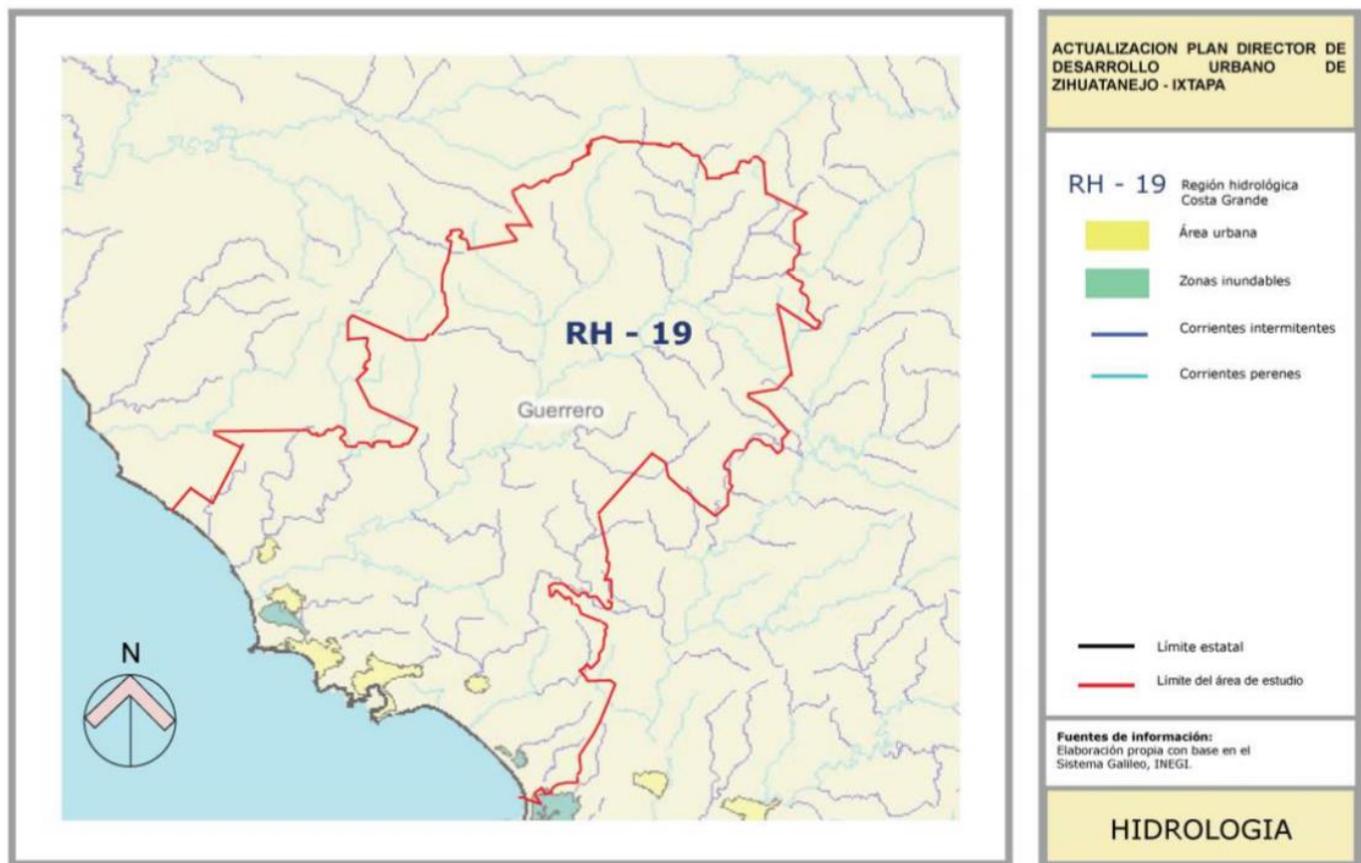


Figura 3. Hidrografía. (Sacado del plan director de desarrollo urbano de Zihuatanejo-Ixtapa)

## 2.5. Clima

El municipio de Zihuatanejo de Azueta pertenece a la región climática Pacífico Sur, cuyas características están en función de la influencia de la Zona Intertropical de Convergencia, lo cual ocasiona una temporada de lluvias en verano que se prolonga por lo general hasta los meses de octubre y noviembre. En esta región se da también la incidencia de ciclones tropicales y vientos dominantes predominantes en dirección sur y suroeste.

El 82% del estado de Guerrero, presenta clima cálido subhúmedo, el 9% es seco y semiseco, el 5% templado subhúmedo, el 3% cálido húmedo y el 1% es templado húmedo.

La temperatura media anual es de 25°C. La temperatura mínima promedio es de 18°C y la máxima de 32°C. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 1 200 mm anuales.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por E. García (1998), el municipio de Zihuatanejo de Azueta tiene un clima predominante tipo cálido subhúmedo, semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano y templado subhúmedo.

## **2.6. Geología**

La zona de estudio se encuentra dentro de la región del subterreno Zihuatanejo en el Terreno Guerrero (Martini, 2010). Esta región de Zihuatanejo, descrita por Martini en el 2010, comprende la zona entre el pequeño pueblo de Feliciano y la ciudad de Zihuatanejo, en el este de Michoacán y el oeste del estado de Guerrero. Cabe destacar que la estratigrafía del Área de Zihuatanejo descrita por Martini está dividida en dos grupos, el suterreno Zihuatanejo y las sucesiones vulcano-sedimentarias que le sobreyacen. Se subdividen las rocas mesozoicas y cenozoicas de esta región en tres conjuntos tectono-estratigráficos, del Cretácico al Paleógeno, que se superponen discordantemente a un basamento pre-cretácico. A continuación, se presenta una descripción litológica de las unidades estratigráficas presentes en la región, desde la base hasta la parte superior (Fig. 4 y 5).

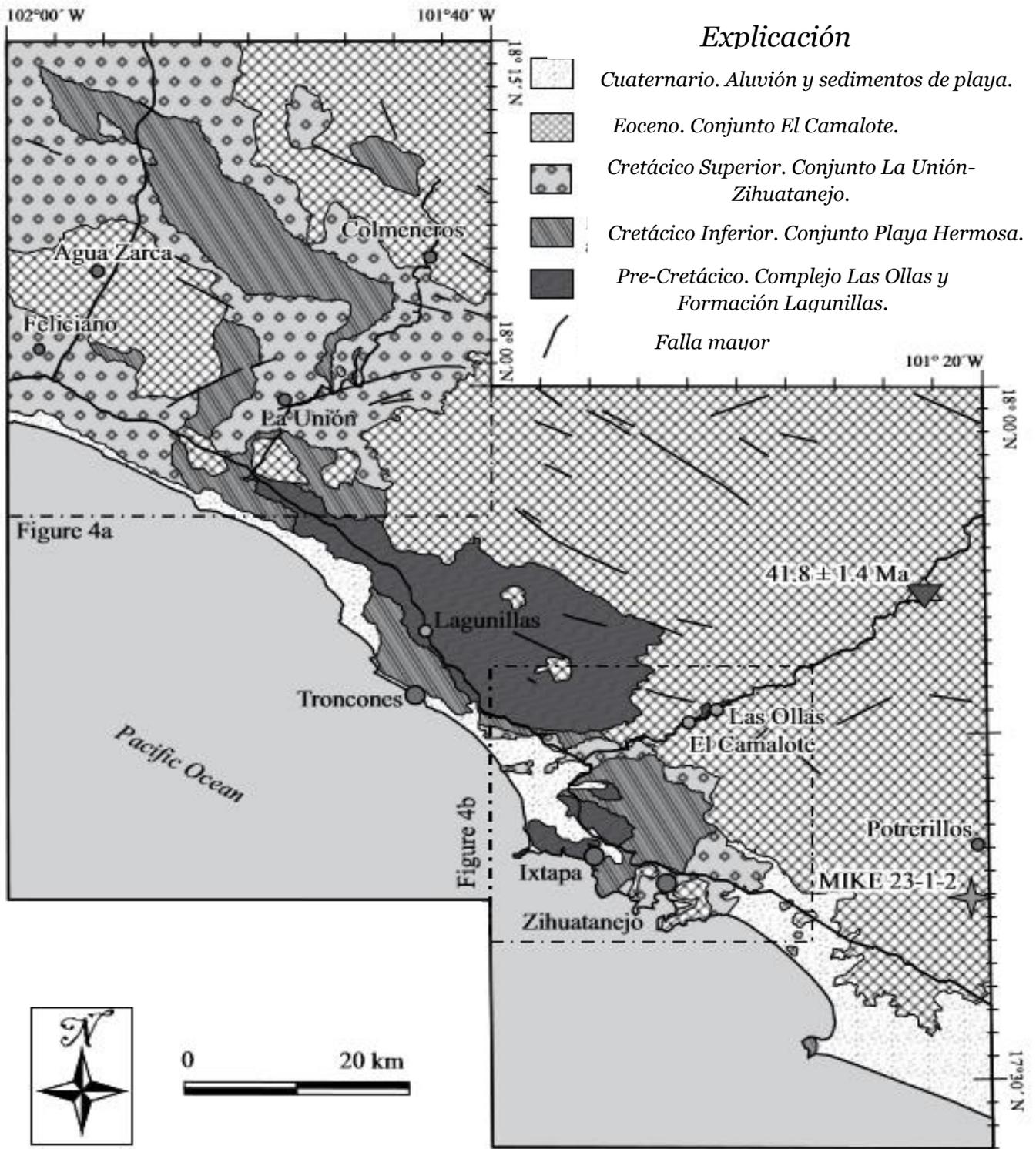


Figura 4. Mapa geológico esquemático del área de estudio, que muestra la extensión y las relaciones de contacto entre las rocas del basamento pre-Cretácico, y los conjuntos Cretácico y Paleógeno. (Martini 2010)

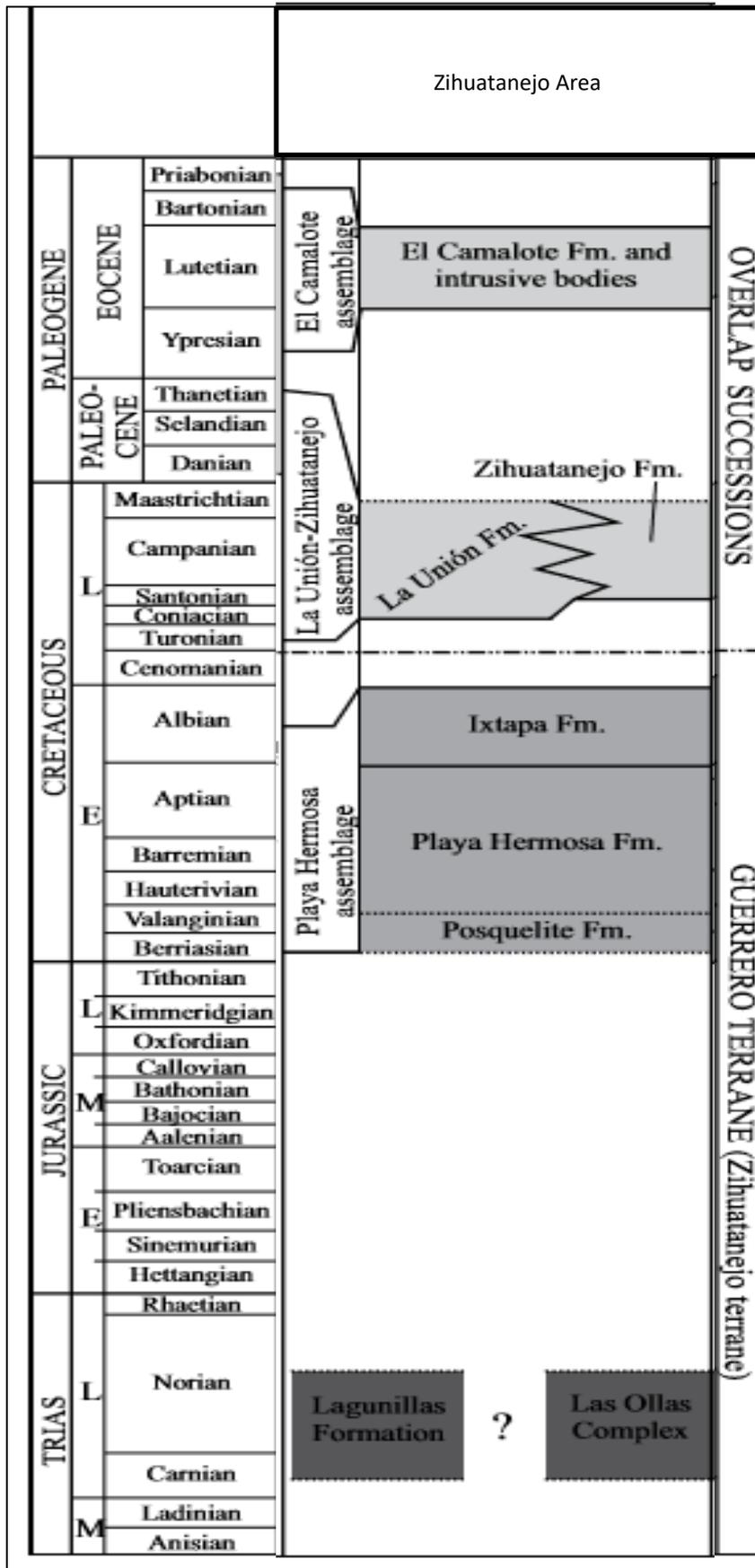


Figura 5. Columna Cronoestratigrafía del Área de Zihuatanejo. (Martini, 2010)

## Subterreno Zihuatanejo

- Rocas del basamento pre-cretácico.

Las rocas más antiguas expuestas en el área de estudio incluyen el Complejo las Ollas y la Formación Lagunillas, gran parte de estas rocas sufrieron metamorfismo antes de la deposición de los conjuntos tectono-estratigráficos Cretácico-Paleógeno. Por lo tanto, representan la base sobre la cual se desarrollaron las sucesiones vulcano-sedimentarias del Cretácico y del Paleógeno (Martini, 2010).

El Complejo las Ollas consta de una serie de capas tectónicas que varían del decámetro al kilómetro, y se compone de anfíbolita y esquisto de actinolita polideformados, cuarcita y filita; localmente contiene bloques y capas de basalto almohadillado, gabro bandeado, anfíbolita, basalto parcial a totalmente serpentizado y cuarcita (Martini, 2010).

La Formación Lagunillas, se compone de una sucesión rítmica de arenisca finamente estratificada rica en cuarzo, lutita y escaso conglomerado matriz soportado, cortada por varios diques de arena (Martini, 2010).

Estas sucesiones sedimentarias de la Formación Lagunillas muestran pliegues isoclinales NW-SE con escala de centímetros a decámetros que no están presentes en los conjuntos que sobreyacen del Cretácico-Paleógeno (Martini, 2010).

- Conjunto de Playa Hermosa

Las rocas de este conjunto tectono-estratigráfico están expuestas a lo largo de una franja NW-SE restringido de manera adyacente a la costa, sobreyacen discordantemente al Complejo las Ollas y la Formación Lagunillas, de la cual afloran solo los pliegues de dirección NW-SE. Martini, subdividió las rocas de este conjunto en tres formaciones diferentes, que son, desde la base hasta la parte superior: Formaciones Posquelite, Playa Hermosa e Ixtapa (Martini, 2010).

- La Formación Posquelite consiste en aproximadamente 100 m de conglomerado polimíctico, alternando rítmicamente con arenisca. Los

conglomerados son soportados por matriz, muy pobremente clasificados, y están compuestos por granos angulosos a subredondeados de metagrano deformado, cuarcita, gneis y esquistos de anfibolita polideformados, que muestran una foliación plegada. Están compuestos principalmente de cuarzo mono y policristalino. También se observan menos cantidades de muscovita detrítica, feldespato y líticos de sílice, arenisca rica en cuarzo, intrusivo félsico, cuarcita foliada y esquisto de cuarzo-muscovita (Martini, 2010). Las areniscas se recristalizan en parte, probablemente debido al metamorfismo de contacto inducido por las intrusiones cercanas del Eoceno (Martini, 2010). Las areniscas son litarenitas de grano fino a medio, angulosas a subangulosas, mal clasificadas.

- La Formación Playa Hermosa consiste en arenisca, intercalada con un conglomerado y flujos de lava subordinados en los niveles estratigráficos superiores. Las areniscas son de grano fino a grueso, los conglomerados son en su mayoría clasto soportado, de escasa a moderada clasificación, compuestos por granos subangulares a subredondeados. Los flujos de lava están restringidos a la parte superior de la Formación Playa Hermosa, los cuales se caracterizan por ser flujos de andesita de 7 metros de espesor aproximadamente (Martini, 2010).
  
- La Formación Ixtapa consiste en aproximadamente 250 metros de caliza masiva, lutita calcárea y brecha calcárea con abundantes rudistas, gasterópodos, bivalvos y corales. Estas rocas experimentaron una fase moderada de acortamiento, que produjo pliegues abiertos verticales en dirección NW-SE, desde la escala métrica hasta la escala kilométrica (Martini, 2010).

#### Sucesiones Post-Cretácicas

- Conjunto La Unión-Zihuatanejo

El conjunto La Unión-Zihuatanejo consiste en rocas marinas suavemente plegadas y superficiales, que se superponen discordantemente a la

Formación Ixtapa. Martini, Dividió las rocas de este conjunto en dos unidades diferentes, las formaciones de La Unión y Zihuatanejo (Martini, 2010).

- Las rocas de la Formación La Unión consiste de una base de un conglomerado soportado por matriz de 2-10 metros de espesor, compuesto por clastos de caliza subangulares a redondeados con rudistas, probablemente derivado de la Formación Ixtapa subyacente; también se han observado clastos rodados subordinados de andesita (Martini, 2010). El conglomerado asciende de manera concordante en rocas volcanoclásticas de grano grueso formadas por conglomerados rojos, alternada con areniscas y lutitas. Las areniscas son arcosas líticas de fino a grueso, subangulares a redondeadas, moderadamente a bien clasificadas y litarenitas feldespáticas. Hacia el sureste, esta sucesión se extiende lateralmente en areniscas rojas de grano grueso a medio, alternando con lutita y conglomerado. Las rocas de la Formación La Unión muestran una dirección NW-SE con tendencia kilométrica, pliegues suaves verticales, y discordantemente se superponen a la caliza plegada de la Formación Ixtapa (Martini, 2010).
  
- La Formación Zihuatanejo consiste en arenisca, intercalada con conglomerado, flujos de lava andesíticos, brecha volcánica y tobas. En la base de esta formación, las areniscas son predominantemente calcáreas, se alternan con las margas y contienen abundante muscovita detrítica. Se estima un espesor mínimo de 700 metros (parte superior erosionada) para esta formación. Las rocas de la Formación Zihuatanejo solo se pliegan suavemente y se sobreponen a la caliza abierta y plegada de la Formación Ixtapa (Martini, 2010).
  
- Conjunto El Camalote  
El conjunto El Camalote se describe para designar todas las rocas ígneas del Eoceno que cortan o cubren discordantemente las unidades mesozoicas.

- La Formación El Camalote consiste en aproximadamente 1.500 metros de rocas volcánicas y volcanoclásticas de capas horizontales que se superponen discordantemente a todas las unidades mesozoicas. Está compuesto por flujos de lava máficos a intermedios masivos, brechas y conglomerados volcanoclásticos. Las lavas son predominantemente andesita, andesita basáltica, basalto y dacita (Martini, 2010).
- Rocas intrusivas del Eoceno

Todas las unidades estratigráficas mesozoicas son cortadas por cuatro batolitos principales. De NW a SE son: los batolitos de Agua Zarca, Colmeneros, Vallecitos de Zaragoza y Zihuatanejo (Figura 4). Son bastante heterogéneos en composición y textura. Varían en composición de gabro a granodiorita, siendo esta última la más abundante. Texturalmente son holocristalinos, faneríticos, y de grano grueso a finamente cristalinos (Martini, 2010).

## **2.7. Antecedentes**

La zona de estudio es muy importante para el estado de Guerrero debido a que las playas de Zihuatanejo tienen gran afluencia de turistas, los estudios de carácter geológico son escasos a un nivel local, sin embargo, a nivel regional existen diversos estudios, y análisis tanto de carácter sedimentológico, como de carácter meramente geológico; existen también trabajos relacionados con el desarrollo turístico, de vivienda y de reservas ecológicas.

El municipio de Zihuatanejo de Azueta dio a conocer en el 2014 su Plan Director de Desarrollo Urbano, en el cual se plasman datos geográficos, fisiográficos, hidrográficos, geológicos, climáticos y ecológicos.

Además, la SECTUR (2014) realizó el estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos, el cual determina la vulnerabilidad de la

zona de Zihuatanejo debido a algunos fenómenos naturales que pueden ocurrir en la zona, como huracanes, inundaciones, tsunamis, entre otros.

A una escala más regional, Carranza-Edwards et al. (2001), analizaron 29 playas del pacífico, su trabajo relaciona la concentración de minerales pesados y las variaciones en metales y elementos de tierras raras.

Los parámetros texturales, mineralogía y química de ciertas playas de Guerrero están documentados en los estudios de las cuencas de La Tigra y Petatlán (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1995), un análisis extenso de la geoquímica y relieve de estas cuencas estima la procedencia de arenas con condiciones topográficas y climáticas, pero con diferencias litológicas en el área fuente.

Carranza-Edwards et al. (1985) realizaron un estudio sedimentológico de la plataforma continental somera de Guerrero. Se caracterizaron muestras de arenas en las que se encontró una composición principalmente de cuarzos, biogénicos, piroxenos, anfíboles, micas, magnetita, ilmenita, fragmentos de rocas ígneas y en menor proporción metamórficas, además, algunos circones en menor cantidad.

Y, por último, cabe destacar los estudios morfo-tectónicos regionales, los cuales fueron realizados por Ramírez-Herrera y Urrutia-Fucuguachi (1999) y Ramírez-Herrera et al. (2007), los cuales usan diversos mapas topográficos, morfológicos, geológicos y batimétricos, para relacionar la morfología de la costa sur de México con la actividad tectónica, así como, la sismicidad de la región.

## **2.8. Objetivos**

### **2.8.1. General**

Determinar las características texturales y químico-mineralógicas de los sedimentos arenosos de 8 playas de Zihuatanejo, Guerrero; para establecer las variaciones entre ellas.

### **2.8.2. Particular**

- Determinar los parámetros sedimentológicos de las arenas que constituyen las playas de la zona de estudio.
- Determinar la composición mineralógica de los sedimentos de las playas.
- Establecer la química de las muestras y evidenciar aquellos elementos que aparecen en mayor proporción.

## **3. Metodología**

### **3.1. Trabajo de campo**

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 realizó un muestreo de 8 playas de Zihuatanejo, Guerrero, ubicadas en 2 bahías diferentes, la de Ixtapa y la de Zihuatanejo. El muestreo se realizó en las siguientes Playas: playa Linda y playa El Palmar en la bahía La Puerta; playa Municipal, playa Las Gatas, playa La Ropa y playa La Madera en la bahía de Zihuatanejo; además se muestrearon otras dos playas con gran afluencia turística e importancia por sus menciones en otros trabajos realizados en la zona de estudio, Barra de Potosí y playa Papanoa (Fig. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13).



*Figura 6. Playa Linda.*



*Figura 7. Playa El Palmar.*



*Figura 8. Playa Municipal.*



*Figura 9. Playa Las Gatas.*



*Figura 10. Playa La Madera.*



*Figura 11. Barra Potosí.*



*Figura 12. Playa Papanoa.*



*Figura 13. Coloración de Playa Papanoa.*

### **3.2. Trabajo de laboratorio**

Con las muestras colectadas en campo se realizaron análisis sedimentológicos, petrográficos y químicos con la finalidad de obtener parámetros e información suficiente para hacer un trabajo fundamentado, y por lo tanto, poder realizar una interpretación. El orden que se siguió en los análisis fue el siguiente:

- Sedimentología. Obtención de parámetros sedimentológicos con objeto de clasificar arenas y poder inferir un mecanismo de transporte. Dicho trabajo se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.
- Petrografía. Identificación de la mineralogía que componen las arenas para poder determinar su clasificación en diagramas ternarios de areniscas con base en los porcentajes presentes obtenidos en el conteo de puntos de cada muestra. Esta actividad se realizó en el cubículo de la Doctora Mayumy Amparo Cabrera Ramírez, en el salón A-400 de la

Facultad de Ingeniería, empleando un microscopio y un contador de puntos.

- Geoquímica. Mediante el método de Fluorescencia de rayos X se determinaron los elementos mayores y traza, en porcentaje y partes por millón respectivamente, de las muestras obtenidas con la finalidad de identificar anomalías, evidenciando o descartando la presencia de elementos que pudieran ser el centro de contaminación de un ecosistema o pudiera ser nocivo para la salud. Este estudio fue realizado en el laboratorio de Fluorescencia de rayos X del Instituto de Geología de la UNAM.

#### **4. Sedimentología**

De una manera muy general y concisa podemos decir que la sedimentología es el estudio de los procesos de formación, transporte y deposición del material que se acumula como sedimento en los ambientes marinos y continentales, el cual después de largo tiempo forma rocas sedimentarias.

La sedimentología estudia con carácter monográfico la génesis de las rocas sedimentarias a partir de la comparación con los sedimentos actuales. (Vera, 1994).

El análisis sedimentológico consistió en los siguientes pasos:

##### **4.1. Lavado de muestras**

Las muestras fueron lavadas dentro de recipientes de vidrio con la finalidad de retirar algún exceso de sales que pudieran afectar los análisis de la arena. Este proceso se llevó a cabo poniendo la muestra directamente al agua de grifo (Fig. 14).



*Figura 14. Lavado de muestras en el Laboratorio de Sedimentología en el ICMYL.*

#### **4.2. Secado de muestras**

Una vez que se lavaron las muestras, se colocaron en una sección del laboratorio, en donde están colocadas una serie de lámparas. Las muestras se pusieron a secar en el laboratorio bajo lámparas durante 24 horas aproximadamente (Fig. 15).



*Figura 15. Secado de las muestras en el ICMyl.*

### **4.3. 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 acuerdo a su tamaño de grano, es decir, de más grueso a más fino.

Para el tamizado de las muestras se utilizaron las siguientes mallas (Tabla 1):

<i>Clasificación de la partícula</i>	<i>Escala <math>\Phi</math></i>	<i>mm</i>	<i>Clase de tamaño Wentworth</i>
<i>GRAVA</i>	-8	256	<i>Bloque</i>
	-7	128	<i>Canto</i>
	-6	64	
	-5	32	
	-4	16	<i>Guijarro</i>
	-3	8	
	-2	4	
	-1	2	<i>Gránulo</i>
<i>ARENAS</i>	0	1	<i>Arena muy gruesa</i>
	1	0.5	<i>Arena gruesa</i>
	2	0.25	<i>Arena media</i>
	3	0.125	<i>Arena fina</i>
	4	0.0625	<i>Arena muy fina</i>

*Tabla 1. Clasificación en la Escala de Wentworth, de acuerdo con el tamaño de partícula (Wentworth, 1922)*

Para este proceso, se obtuvo el peso de la muestra previamente a su tamizado, después se vertió en el tamizador durante 15 minutos. Posteriormente, se vacía cada uno de los tamices sobre una hoja para obtener la cantidad de material retenido, para proceder a pesar esa cantidad e ir anotando los pesos de cada tamiz para corroborar que la pérdida de material no fuera mayor a 0.5 g (Fig. 17). Todos estos datos son recolectados dentro de una tabla para una mejor manipulación.

El proceso de tamizado se llevó a cabo conforme a lo sugerido por Folk (1980), con el rango de tamices de -3.0 a 4.0  $\Phi$  dentro de un ROT-TAP (Fig. 16).



Figura 16. ROT-TAP.



Figura 17. Procedimiento de pesaje de la muestra retenida en el tamiz. 1) tamiz con la muestra. 2) pesaje del recipiente en el que se vierte la muestra para su pesaje. 3) se vierte lo contenido en el tamiz sobre una hoja de papel. 4) se pasa la muestra de la hoja de papel al recipiente. 5) pesaje de la muestra.

#### 4.4. Recolección de datos

Con los pesos finales obtenidos de la sumatoria de los tamices se obtuvieron los siguientes valores: Peso acumulado, %peso y %peso acumulado (Tabla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9).

		PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado	
<b>Playa Linda</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.00	0.00	0.000	0.000
		-0.5	0.03	0.03	0.009	0.009
		0	0.06	0.09	0.019	0.028
		0.5	0.15	0.24	0.046	0.074
		1	2.14	2.38	0.662	0.736
		1.5	16.37	18.75	5.061	5.797
		2	69.31	88.06	21.427	27.224
		2.5	153.71	241.77	47.519	74.743
		3	66.58	308.35	20.583	95.326
		3.5	10.29	318.64	3.181	98.507
		4	4.31	322.95	1.332	99.839
	>4	0.52	323.47	0.161	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.000	0.000	0.000	0.000
		-2.5	0.000	0.000	0.000	0.000
		-2	0.000	0.000	0.000	0.000
		-1.5	0.000	0.000	0.000	0.000
		-1	0.000	0.000	0.000	0.000
		-0.5	0.008	0.008	0.002	0.002
		0	0.008	0.016	0.002	0.005
		0.5	0.010	0.026	0.003	0.008
		1	0.138	0.164	0.043	0.051
		1.5	2.272	2.436	0.707	0.758
		2	21.620	24.056	6.730	7.488
		2.5	150.92	174.976	46.978	54.466
		3	108.26	283.236	33.699	88.165
		3.5	25.76	308.996	8.019	96.184
		4	10.14	319.136	3.156	99.340
	>4	2.12	321.256	0.660	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.00	0.00	0.000	0.000
		-0.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		0	0.00	0.00	0.000	0.000
		0.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		1	0.08	0.08	0.027	0.027
		1.5	0.88	0.96	0.297	0.324
		2	10.78	11.74	3.633	3.957
		2.5	133.68	145.42	45.057	49.014
		3	110.04	255.46	37.089	86.103
3.5		29.51	284.97	9.946	96.050	
4		9.43	294.40	3.178	99.228	
>4	2.29	296.69	0.772	100.000		

Tabla 2. Resultados del tamizado. Playa Linda.

			PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado
<b>Barra Potosi</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.07	0.07	0.020	0.020
		-1.5	0.00	0.07	0.000	0.020
		-1	0.08	0.14	0.023	0.044
		-0.5	0.43	0.57	0.132	0.176
		0	1.12	1.69	0.347	0.523
		0.5	8.44	10.13	2.609	3.132
		1	45.96	56.09	14.208	17.341
		1.5	83.61	139.70	25.848	43.189
		2	72.74	212.44	22.487	65.676
		2.5	69.55	281.99	21.501	87.177
		3	28.91	310.90	8.937	96.115
		3.5	8.92	319.82	2.758	98.872
		4	2.82	322.64	0.871	99.743
	>4	0.90	323.54	0.278	100.022	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.00	0.00	0.000	0.000
		-0.5	0.02	0.02	0.004	0.004
		0	0.07	0.08	0.014	0.018
		0.5	0.50	0.59	0.110	0.128
		1	10.81	11.40	2.353	2.481
		1.5	91.11	102.51	19.833	22.314
		2	173.95	276.46	37.865	60.179
		2.5	146.09	422.55	31.801	91.979
		3	33.19	455.74	7.225	99.204
		3.5	2.60	458.34	0.566	99.770
		4	1.03	459.36	0.223	99.993
	>4	0.03	459.39	0.007	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.04	0.04	0.009	0.009
		-1	0.00	0.04	0.000	0.009
		-0.5	0.00	0.04	0.000	0.009
		0	0.03	0.06	0.007	0.016
		0.5	0.13	0.19	0.033	0.050
		1	3.76	3.95	1.006	1.056
		1.5	28.25	32.20	7.559	8.615
2		103.78	135.98	27.770	36.385	
2.5		186.11	322.09	49.800	86.185	
3		44.48	366.57	11.902	98.087	
3.5		5.33	371.90	1.426	99.513	
4		1.78	373.68	0.476	99.989	
>4	0.04	373.72	0.011	100.000		

Tabla 3. Resultados del tamizado. Barra Potosi.

		PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado	
<b>Playa Las Gatas</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	36.30	36.30	8.884	8.884
		-2.5	28.40	64.69	6.951	15.835
		-2	25.36	90.05	6.207	22.042
		-1.5	38.45	128.50	9.412	31.454
		-1	43.83	172.33	10.728	42.182
		-0.5	59.95	232.28	14.674	56.856
		0	52.14	284.42	12.762	69.619
		0.5	64.93	349.35	15.893	85.512
		1	33.97	383.32	8.315	93.827
		1.5	10.85	394.17	2.656	96.483
		2	7.98	402.15	1.953	98.436
		2.5	5.13	407.28	1.256	99.692
		3	1.06	408.34	0.259	99.951
		3.5	0.01	408.35	0.002	99.953
		4	0.17	408.52	0.042	99.995
	>4	0.02	408.54	0.005	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.35	0.35	0.077	0.077
		-2	0.90	1.25	0.198	0.274
		-1.5	0.99	2.24	0.219	0.493
		-1	1.77	4.01	0.390	0.883
		-0.5	4.63	8.64	1.020	1.904
		0	8.08	16.72	1.781	3.685
		0.5	24.45	41.16	5.388	9.073
		1	68.00	109.16	14.988	24.061
		1.5	110.45	219.61	24.344	48.405
		2	127.98	347.59	28.208	76.613
		2.5	92.22	439.81	20.326	96.939
		3	13.08	452.89	2.882	99.821
		3.5	0.26	453.15	0.057	99.879
		4	0.52	453.67	0.115	99.993
	>4	0.03	453.70	0.007	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.13	0.13	0.033	0.033
		-0.5	0.26	0.39	0.067	0.100
		0	0.58	0.98	0.148	0.248
		0.5	3.05	4.03	0.774	1.022
		1	17.28	21.31	4.381	5.403
		1.5	78.84	100.15	19.995	25.398
2		182.25	282.40	46.222	71.620	
2.5		102.99	385.39	26.120	97.740	
3	8.70	394.09	2.206	99.947		
3.5	0.17	394.26	0.043	99.990		
4	0.02	394.28	0.005	99.995		
>4	0.02	394.30	0.005	100.000		

Tabla 4. Resultado del tamizado. Playa Las Gatas.

		PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado	
<b>Playa La Ropa</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.07	0.07	0.022	0.022
		-1.5	0.13	0.20	0.038	0.061
		-1	0.47	0.67	0.140	0.200
		-0.5	3.93	4.60	1.171	1.371
		0	9.36	13.96	2.791	4.162
		0.5	29.10	43.06	8.678	12.840
		1	59.68	102.74	17.798	30.637
		1.5	56.21	158.95	16.763	47.400
		2	48.25	207.20	14.389	61.789
		2.5	56.93	264.13	16.978	78.767
		3	48.27	312.40	14.395	93.162
		3.5	19.15	331.55	5.711	98.873
		4	3.64	335.19	1.086	99.958
	>4	0.14	335.33	0.042	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.03	0.03	0.007	0.007
		-1	0.23	0.27	0.050	0.056
		-0.5	1.68	1.95	0.357	0.413
		0	2.66	4.61	0.565	0.978
		0.5	9.60	14.21	2.038	3.016
		1	38.26	52.46	8.124	11.140
		1.5	93.91	146.37	19.940	31.080
		2	113.08	259.45	24.011	55.091
		2.5	126.42	385.87	26.843	81.935
		3	64.01	449.88	13.592	95.526
		3.5	18.23	468.11	3.871	99.397
		4	2.75	470.86	0.584	99.981
	>4	0.09	470.95	0.019	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.19	0.19	0.038	0.038
		-1	0.22	0.41	0.044	0.082
		-0.5	1.48	1.89	0.297	0.379
		0	5.82	7.71	1.170	1.548
		0.5	25.99	33.70	5.222	6.770
		1	88.29	121.99	17.739	24.509
		1.5	123.92	245.91	24.898	49.407
		2	105.05	350.96	21.106	70.513
		2.5	84.54	435.50	16.985	87.499
		3	46.59	482.09	9.361	96.859
3.5		13.86	495.95	2.785	99.644	
4		1.72	497.67	0.346	99.990	
>4	0.05	497.72	0.010	100.000		

Tabla 5. Resultado del tamizado. Playa La Ropa.

		PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado	
<b>Playa El Palmar</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.01	0.01	0.003	0.003
		-0.5	0.10	0.11	0.048	0.052
		0	0.23	0.34	0.106	0.158
		0.5	1.09	1.43	0.508	0.667
		1	4.78	6.22	2.222	2.889
		1.5	10.82	17.03	5.027	7.916
		2	24.19	41.22	11.241	19.157
		2.5	99.52	140.74	46.257	65.414
		3	66.59	207.33	30.951	96.365
		3.5	7.53	214.86	3.500	99.866
		4	0.19	215.05	0.090	99.955
	>4	0.10	215.15	0.045	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.03	0.03	0.006	0.006
		-1	0.06	0.09	0.012	0.018
		-0.5	0.33	0.42	0.063	0.080
		0	0.56	0.98	0.107	0.187
		0.5	2.49	3.48	0.473	0.660
		1	8.08	11.56	1.536	2.196
		1.5	24.67	36.23	4.688	6.884
		2	115.57	151.80	21.961	28.845
		2.5	298.45	450.25	56.713	85.558
		3	69.45	519.70	13.197	98.755
		3.5	6.41	526.11	1.218	99.973
		4	0.08	526.18	0.015	99.988
	>4	0.06	526.25	0.012	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	1.62	1.62	0.405	0.405
		-0.5	1.69	3.31	0.422	0.827
		0	1.88	5.19	0.470	1.297
		0.5	3.32	8.51	0.831	2.128
		1	9.77	18.28	2.443	4.571
		1.5	22.56	40.84	5.644	10.214
2		66.28	107.12	16.578	26.792	
2.5		202.38	309.50	50.618	77.410	
3	77.08	386.58	19.279	96.689		
3.5	9.79	396.37	2.449	99.137		
4	1.85	398.22	0.463	99.600		
>4	1.60	399.82	0.400	100.000		

Tabla 6. Resultados del tamizado. Playa El Palmar.

			PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado
<b>Playa Papanoa</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.10	0.10	0.020	0.020
		-1.5	0.18	0.27	0.036	0.056
		-1	0.64	0.91	0.129	0.185
		-0.5	20.78	21.69	4.232	4.418
		0	83.95	105.64	17.097	21.514
		0.5	121.37	227.01	24.717	46.231
		1	63.26	290.27	12.883	59.114
		1.5	28.51	318.79	5.807	64.921
		2	24.93	343.72	5.077	69.998
		2.5	62.54	406.26	12.736	82.734
		3	61.52	467.78	12.529	95.263
		3.5	17.79	485.57	3.623	98.886
		4	0.46	486.03	0.094	98.980
	>4	5.01	491.04	1.020	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.02	0.02	0.003	0.003
		-0.5	0.23	0.25	0.041	0.045
		0	0.92	1.17	0.163	0.208
		0.5	3.14	4.31	0.558	0.766
		1	3.51	7.82	0.623	1.389
		1.5	4.44	12.26	0.788	2.177
		2	22.24	34.49	3.951	6.128
		2.5	322.90	357.39	57.368	63.496
		3	120.85	478.24	21.471	84.967
		3.5	46.52	524.76	8.265	93.232
		4	15.48	540.24	2.750	95.982
	>4	22.62	562.86	4.018	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.08	0.08	0.011	0.011
		-1	0.01	0.09	0.001	0.012
		-0.5	0.14	0.23	0.019	0.032
		0	0.32	0.55	0.044	0.076
		0.5	0.43	0.98	0.059	0.135
		1	0.92	1.90	0.126	0.261
		1.5	1.45	3.35	0.199	0.460
2		4.64	7.99	0.638	1.098	
2.5		100.85	108.84	13.861	14.959	
3		251.09	359.93	34.510	49.469	
3.5		265.90	625.83	36.545	86.014	
4		60.94	686.77	8.376	94.390	
>4	40.82	727.59	5.610	100.000		

Tabla 7. Resultados del tamizado. Playa Papanoa.

			PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado
<b>Playa Municipal</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	1.95	1.95	0.470	0.470
		-1.5	3.45	5.40	0.832	1.302
		-1	5.59	10.99	1.348	2.650
		-0.5	13.95	24.94	3.364	6.013
		0	23.58	48.52	5.685	11.699
		0.5	60.56	109.08	14.602	26.301
		1	86.03	195.11	20.743	47.044
		1.5	43.47	238.58	10.481	57.525
		2	22.78	261.36	5.493	63.018
		2.5	27.90	289.26	6.727	69.745
		3	66.02	355.28	15.918	85.663
		3.5	40.18	395.46	9.688	95.351
		4	11.99	407.45	2.891	98.242
	>4	7.29	414.74	1.758	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.00	0.00	0.000	0.000
		-0.5	1.52	1.52	0.264	0.264
		0	1.60	3.12	0.278	0.541
		0.5	1.63	4.75	0.283	0.824
		1	1.85	6.60	0.321	1.145
		1.5	4.25	10.85	0.737	1.883
		2	18.58	29.43	3.224	5.106
		2.5	176.44	205.87	30.614	35.721
		3	257.49	463.36	44.678	80.398
		3.5	80.38	543.74	13.947	94.345
		4	13.21	556.95	2.292	96.637
	>4	19.38	576.33	3.363	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.17	0.17	0.045	0.045
		-1.5	0.29	0.46	0.074	0.119
		-1	0.39	0.85	0.102	0.221
		-0.5	1.72	2.57	0.449	0.670
		0	3.46	6.03	0.901	1.571
		0.5	13.23	19.27	3.444	5.015
		1	35.97	55.24	9.364	14.379
		1.5	49.39	104.63	12.857	27.237
2		57.06	161.69	14.854	42.091	
2.5		90.58	252.27	23.580	65.671	
3		88.91	341.18	23.146	88.816	
3.5		30.91	372.09	8.047	96.863	
4		0.39	372.48	0.102	96.965	
>4	11.66	384.14	3.035	100.000		

Tabla 8. Resultados del tamizado. Playa Municipal.

			PESOS (g)	peso acumulado	% peso	% acumulado
<b>Playa La Madera</b>	<b>INFRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.59	0.59	0.226	0.226
		-2	0.09	0.68	0.034	0.260
		-1.5	0.26	0.94	0.100	0.360
		-1	0.15	1.09	0.057	0.417
		-0.5	0.16	1.25	0.061	0.478
		0	0.09	1.34	0.034	0.513
		0.5	0.25	1.59	0.096	0.609
		1	0.83	2.42	0.318	0.926
		1.5	2.28	4.70	0.873	1.799
		2	6.77	11.47	2.591	4.390
		2.5	36.30	47.77	13.895	18.285
		3	119.83	167.60	45.868	64.153
		3.5	60.50	228.10	23.158	87.311
		4	2.17	230.27	0.831	88.142
	>4	30.98	261.25	11.858	100.000	
	<b>MESOPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	0.00	0.00	0.000	0.000
		-0.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		0	1.61	1.61	0.467	0.467
		0.5	1.62	3.23	0.470	0.936
		1	1.67	4.90	0.484	1.421
		1.5	2.12	7.02	0.615	2.035
		2	6.32	13.34	1.832	3.868
		2.5	55.76	69.10	16.167	20.034
		3	165.59	234.69	48.010	68.044
		3.5	78.61	313.30	22.791	90.835
		4	2.18	315.48	0.632	91.467
	>4	29.43	344.91	8.533	100.000	
	<b>SUPRAPLAYA</b>	-3	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-2	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1.5	0.00	0.00	0.000	0.000
		-1	1.62	1.62	0.421	0.421
		-0.5	1.74	3.36	0.452	0.872
		0	1.76	5.12	0.457	1.329
		0.5	2.05	7.17	0.532	1.861
		1	3.45	10.62	0.896	2.757
		1.5	8.42	19.04	2.186	4.943
2		28.43	47.47	7.381	12.324	
2.5		164.97	212.44	42.829	55.153	
3		127.83	340.27	33.187	88.341	
3.5		36.26	376.53	9.414	97.754	
4		1.66	378.19	0.431	98.185	
>4	6.99	385.18	1.815	100.000		

Tabla 9. Resultados del tamizado. Playa La Madera.

#### **4.5. Clasificación de las muestras de acuerdo con sus parámetros estadísticos**

Los parámetros granulométricos resultan una herramienta muy útil para poder llevar a cabo análisis paleoambiental y geomorfológico.

La clasificación de partículas de acuerdo con su tamaño es posible debido a que, en la mayoría de las 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).

Los coeficientes estadísticos propuestos por Folk y Ward (1957) y se emplearon en nuestro análisis granulométrico son:

- *Media y Mediana:* son las medidas de la tendencia central. Reflejan la energía cinética media del agente de transporte. Este aspecto tiene influencia por parámetros como velocidad del agente de transporte, forma, gravedad específica, composición y resistencia de los sedimentos durante el transporte.
- *Desviación estándar:* es una medida de dispersión más útil para clasificar arenas de acuerdo con sus diferentes ambientes de depósito; participan parámetros tales como la velocidad del agente de transporte, el grado de turbulencia, propiedades hidrodinámicas, naturaleza de los sedimentos que llegan al ambiente de depósito y el índice de materiales detríticos. (Mckinney y Friedman, 1970).

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

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

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

A partir de los resultados obtenidos del tamizado (Tabla 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9), se graficó el valor de  $\phi$  contra el valor del peso en porcentaje acumulado (Figura 18) 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 19).

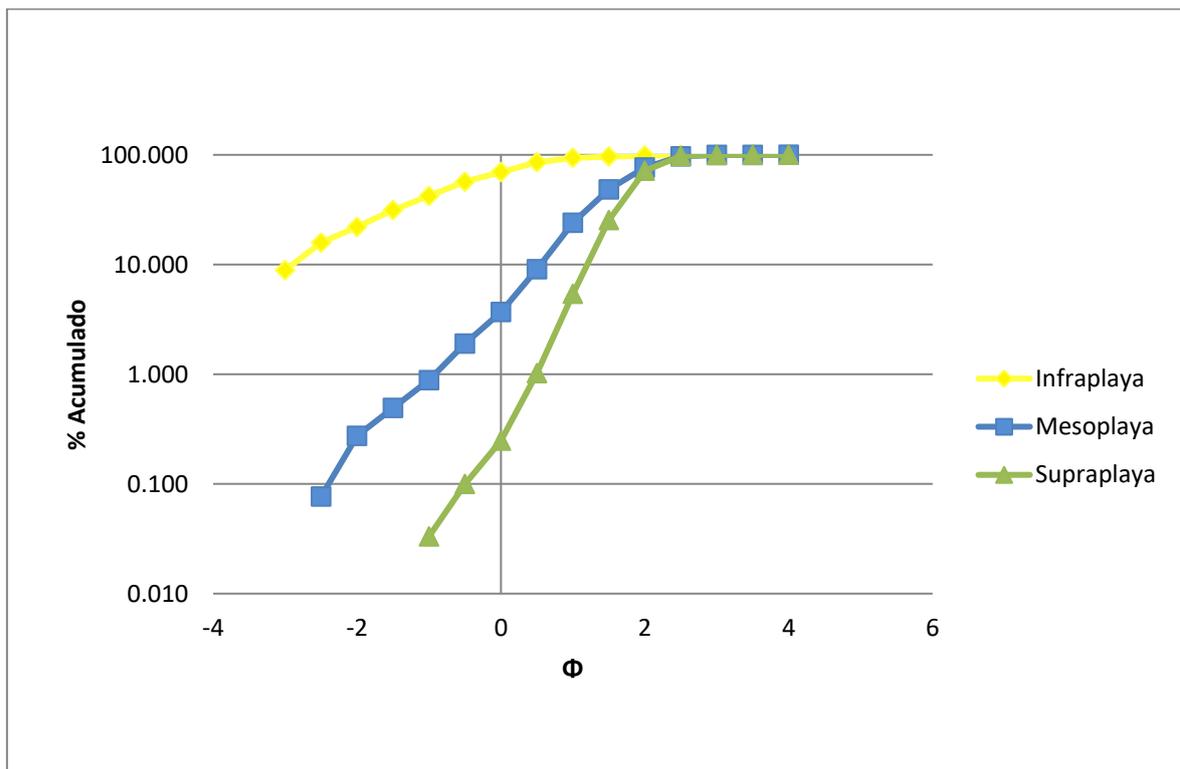


Figura 18. Gráfica que representa los valores de  $\phi$  contra el porcentaje de peso acumulado en escala logarítmica. Mediante esta gráfica se obtienen los valores de  $\phi$  utilizados en las ecuaciones 1, 2 y 3.

(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 ( $Sk_{\phi}$ ) = $\frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$
	(5) Curtosis ( $K_G$ ) = $\frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$

Figura 19. Ecuaciones para calcular parámetros sedimentológicos (Folk, 1974).

Para obtener el valor de la desviación estándar (Fig. 20), se utilizó la ecuación (3) (Fig.19), 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.

<b>&lt; 0.35</b>	<b>Muy bien clasificada</b>
<b>0.35 - 0.50</b>	<b>Bien clasificada</b>
<b>0.50 - 0.71</b>	<b>Moderadamente bien clasificada</b>
<b>0.71 - 1.0</b>	<b>Moderadamente clasificada</b>
<b>1.0 - 2.0</b>	<b>Mal clasificada</b>
<b>2.0 - 4.0</b>	<b>Moderadamente mal clasificada</b>
<b>&gt; 4.0</b>	<b>Extremadamente mal clasificada</b>

Figura 20. Clasificación de partículas de acuerdo a la desviación estándar (Folk, 1980).

Además, el valor de la asimetría (Fig. 21) obtenido mediante la ecuación (4) (Fig.19), 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).

<b>1.0 a 0.3</b>	<b>Muy asimétrica - finos</b>
<b>0.3 a 0.1</b>	Asimétrica - finos
<b>0.1 a -0.1</b>	Simétrica
<b>-0.1 a -0.3</b>	Asimétrica - gruesos
<b>-0.3 a -1.0</b>	Muy asimétrica - gruesos

*Figura 21. Clasificación de muestras de acuerdo con 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) (Fig.19). 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 (Fig. 22).

<b>&lt; 0.67</b>	<b>Muy platicurtica</b>
<b>0.67 - 0.90</b>	Platicurtica
<b>0.90 - 1.11</b>	Mesocurtica
<b>1.11 - 1.50</b>	Leptocurtica
<b>1.50 - 3.00</b>	Muy leptocurtica
<b>&gt; 3.0</b>	Extremadamente leptocurtica

*Figura 22. Clasificación de una muestra con respecto al valor de la curtosis (Folk, 1980).*

Por otro lado, se realizaron las curvas de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media (Mz) con el fin de observar el comportamiento de las muestras, estos diagramas muestran como la clasificación está relacionada con el tamaño de grano (Fig. 23).

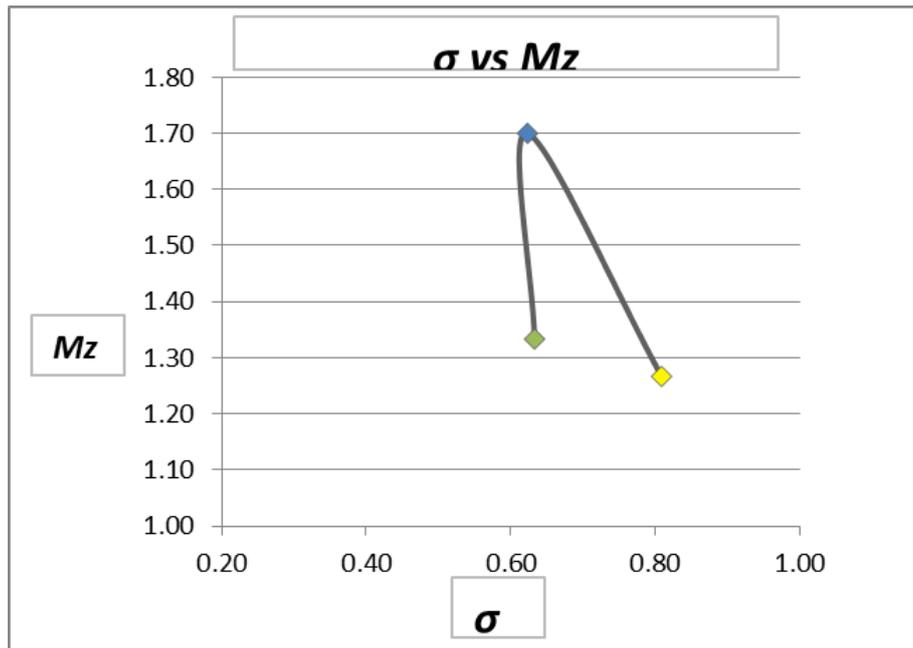


Figura 23. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ )

Para clasificar el mecanismo de transporte de partículas, se usó la gráfica que compara la escala phi y el porcentaje acumulado (Fig. 24).

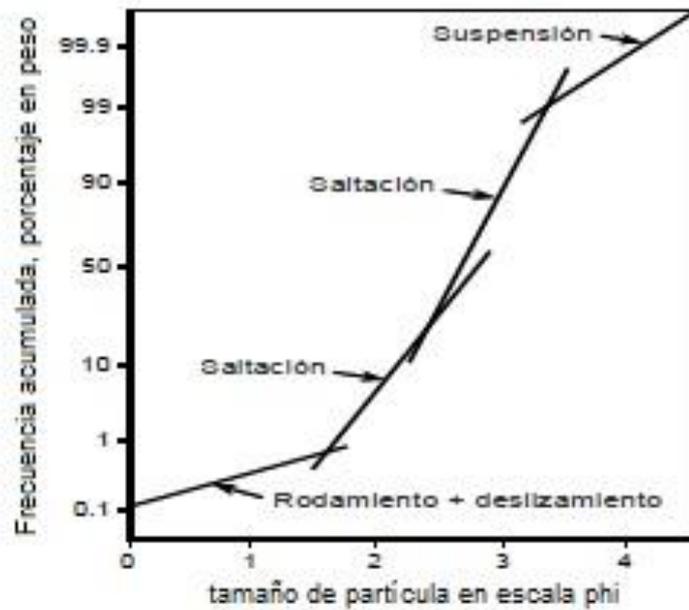


Figura 24. Clasificación del mecanismo de transporte de partícula a partir de la escala phi y la frecuencia acumulada (Modificado de Visher, 1969).

#### 4.6. Parámetros obtenidos de las playas

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

##### PLAYA LINDA

Playa Linda varía de arenas medias en la zona de infraplaya a arenas finas en meso y supraplaya; son arenas muy bien clasificadas en infraplaya a bien clasificada en meso y supraplaya; la simetría es muy variable, en infraplaya presenta mucha asimetría hacia gruesos, en mesoplaya muestra asimetría hacia finos y en supraplaya es muy asimétrica hacia finos. Se observa una curtosis platicurtica en infra y mesoplaya cambiando a muy platicurtica en la zona de supraplaya. (Fig. 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31)

##### - Infraplaya

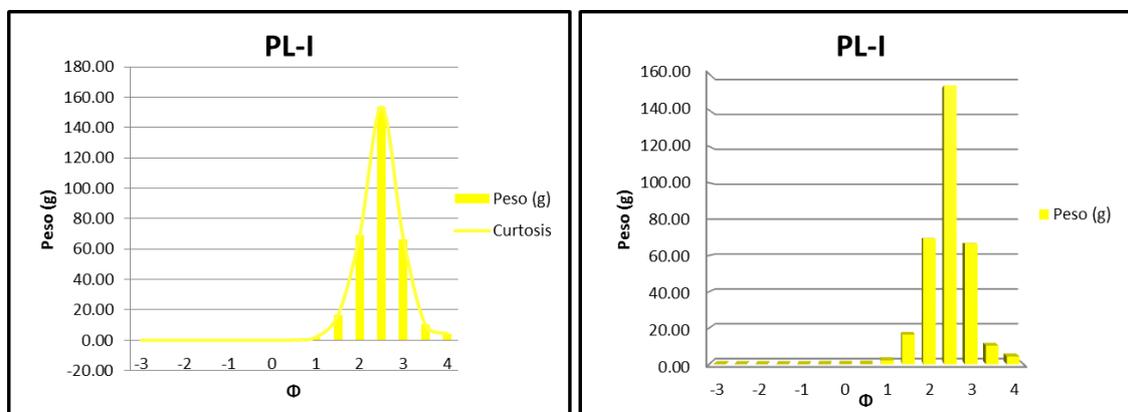


Figura 25. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa linda Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
<b>Mz <math>\phi</math></b>	1.95	Arena media
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	0.31	Muy bien clasificada
<b>Asimetría</b>	-0.05	Muy asimétrica- gruesos
<b>Curtosis</b>	0.89	Platicurtica

Figura 26. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa Linda.

- Mesoplaya

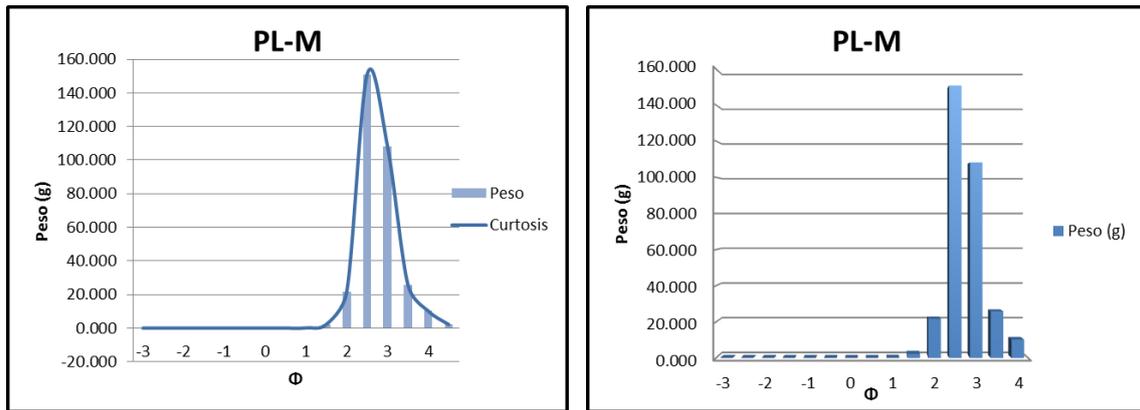


Figura 27. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa linda Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.37	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.43	Bien clasificada
Asimetría	0.29	Asimétrica- finos
Curtosis	0.68	Platicurtica

Figura 28. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa Linda.

- Supraplaya

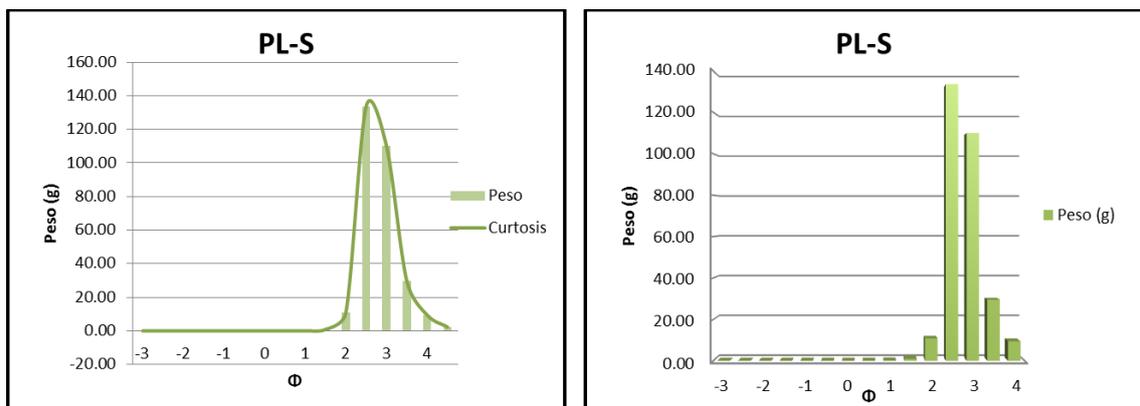


Figura 29. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa linda Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.43	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.39	Bien clasificada
Asimetría	0.41	Muy asimétrica- finos
Curtois	0.58	Muy platicurtica

Figura 30. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa Linda.

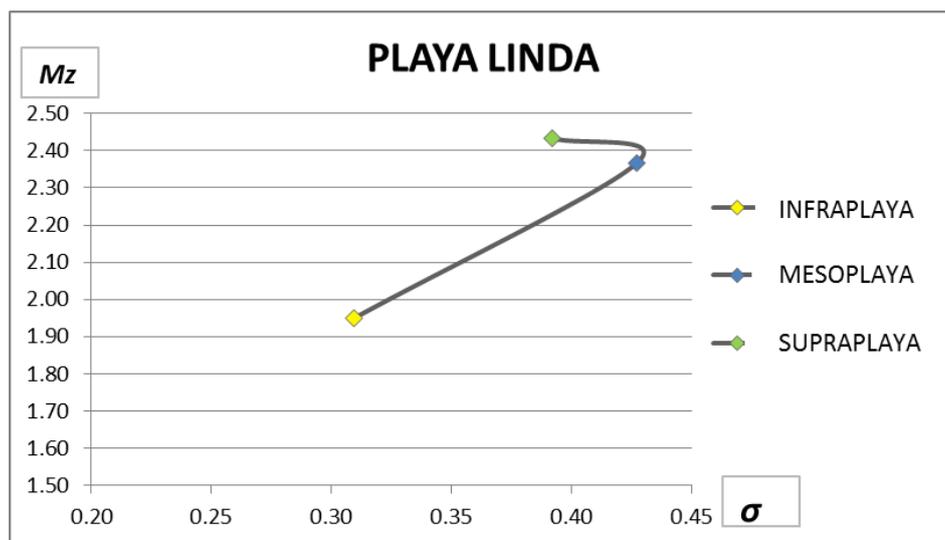


Figura 31. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), playa Linda.

El mecanismo de transporte de playa Linda ocurre de manera similar en las tres zonas de la playa, es principalmente por saltación, sin embargo, en menos proporción hubo rodamiento y suspensión. (Fig. 32)

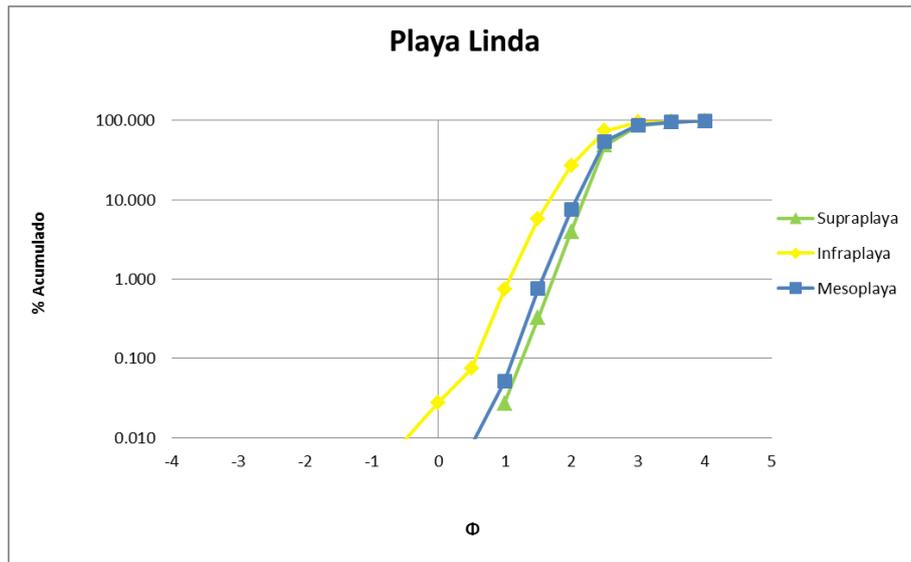


Figura 32. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa Linda.

## PLAYA LAS GATAS

Playa Las Gatas varía de gravas en la zona de infraplaya a arenas medias en meso y supraplaya; son arenas moderadamente bien clasificadas en infra y mesoplaya a bien clasificada en supraplaya; la simetría es variable, en infraplaya presenta mucha asimetría hacia finos, en mesoplaya muestra asimetría hacia gruesos y en supraplaya es muy asimétrica hacia gruesos. Se observa una curtosis muy platicúrtica en infraplaya cambiando a platicúrtica en la zona de meso y supraplaya. (Fig. 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39)

- Infraplaya

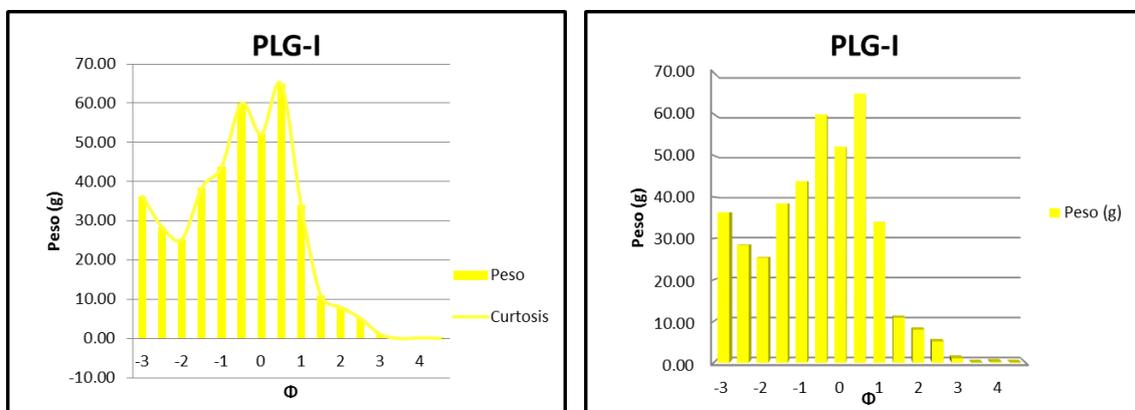


Figura 33. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Las Gatas Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	-1.30	Grava
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.86	Moderadamente clasificada
Asimetría	0.72	Muy asimétrica- finos
Curtosis	0.18	Muy platicurtica

Figura 34. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa Las Gatas.

- Mesoplaya

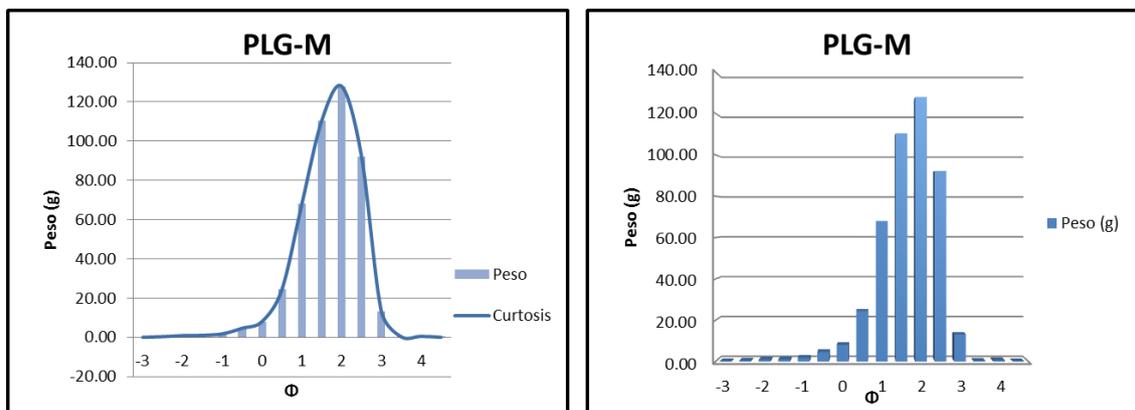


Figura 35. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Las Gatas Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.40	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.59	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.26	Asimétrica- gruesos
Curtosis	0.78	Platicurtica

Figura 36. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa Las Gatas.

- Supraplaya

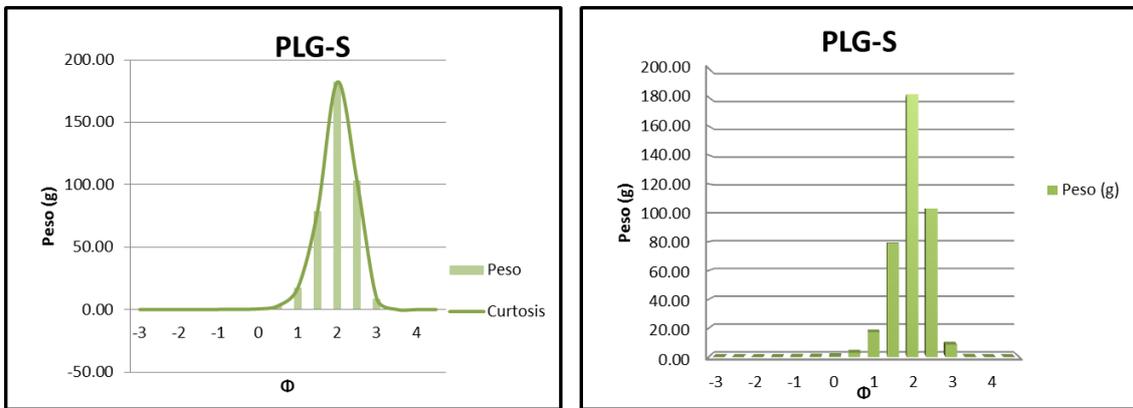


Figura 37. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Las Gatas Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.67	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.41	Bien clasificada
Asimetría	-0.32	Muy asimétrica- gruesos
Curtosis	0.88	Platicurtica

Figura 38. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa Las Gatas.

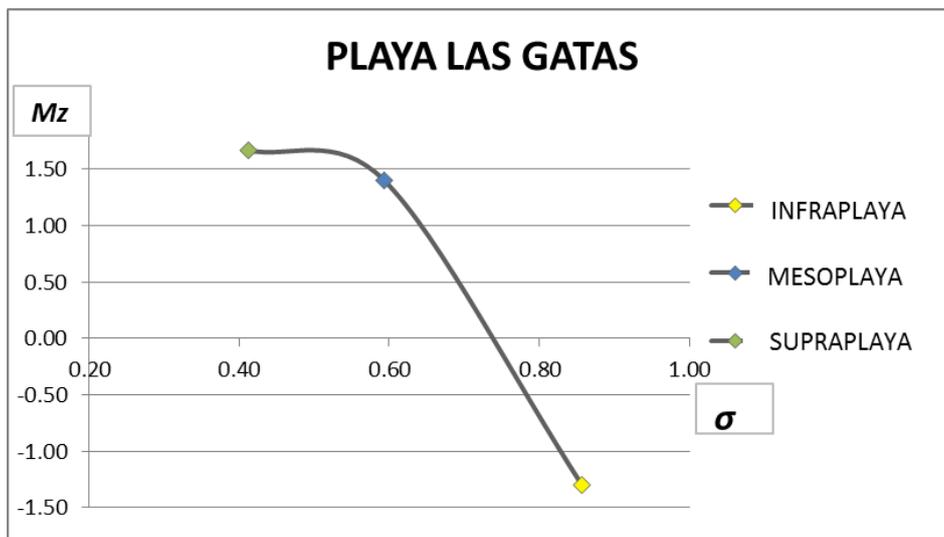


Figura 39. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media (Mz), playa Las Gatas.

El mecanismo de transporte en playa Las Gatas es por saltación y suspensión principalmente en las zonas de meso y supraplaya, aunque también hay rodamiento en supraplaya, sin embargo, en la zona de infraplaya únicamente hubo transporte por suspensión. (Fig. 40)



Figura 40. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa Las Gatas.

## PLAYA MUNICIPAL

Playa Municipal varía de arenas medias en la zona de infraplaya, arenas finas en la zona de mesoplaya y arenas medias en supraplaya; son arenas mal clasificadas en infraplaya, bien clasificadas en mesoplaya y moderadamente clasificadas en supraplaya; la simetría es variable, en infraplaya presenta asimetría hacia finos, en mesoplaya muestra asimetría hacia gruesos y en supraplaya es muy asimétrica hacia gruesos. Se observa una curtosis muy platicúrtica en las tres zonas de la playa, infra, meso y supra. (Fig. 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47)

- Infraplaya

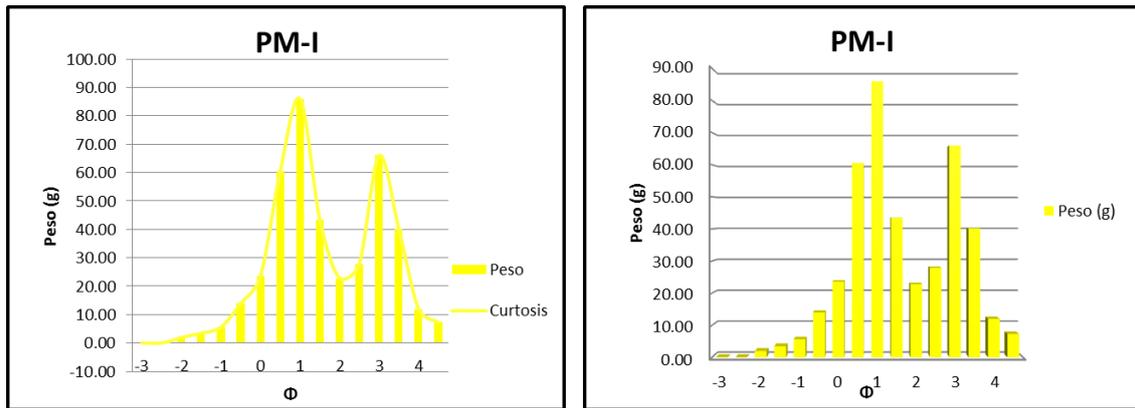


Figura 41. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Municipal Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.25	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.17	Mal clasificada
Asimetría	0.19	Asimétrica- finos
Curtosis	0.57	Muy platicurtica

Figura 42. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa Municipal.

- Mesoplaya

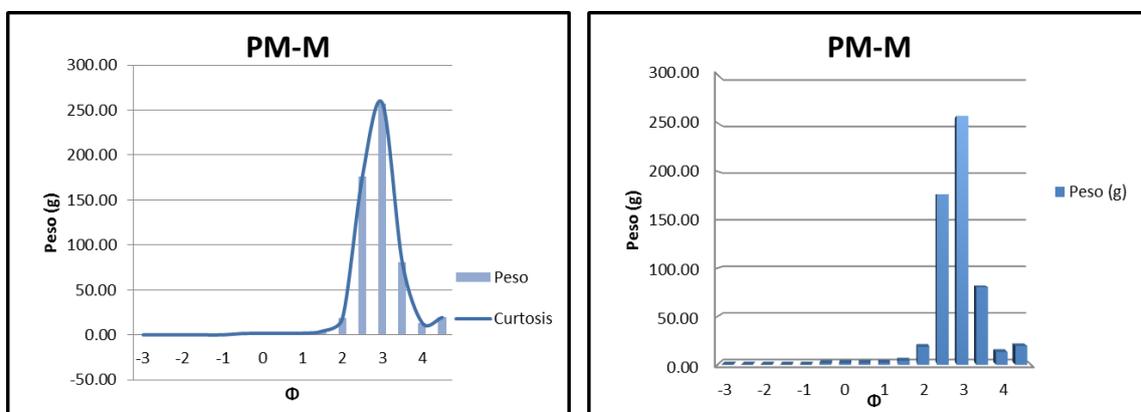


Figura 43. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Municipal Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.57	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.40	Bien clasificada
Asimetría	-0.29	Asimétrica- gruesos
Curtosis	0.59	Muy platicurtica

Figura 44. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa Municipal.

- Supraplaya

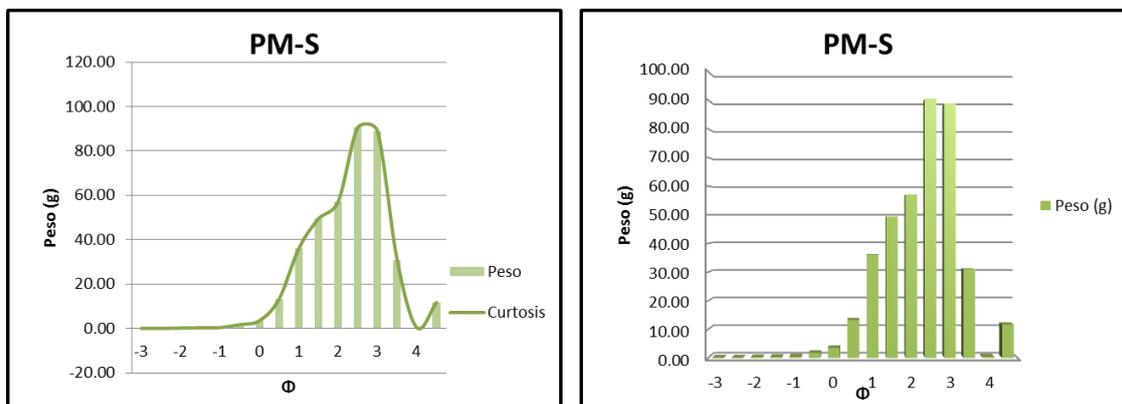


Figura 45. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Municipal Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.87	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.82	Moderadamente clasificada
Asimetría	-0.36	Muy asimétrica- gruesos
Curtosis	0.65	Muy platicurtica

Figura 46. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa Municipal.

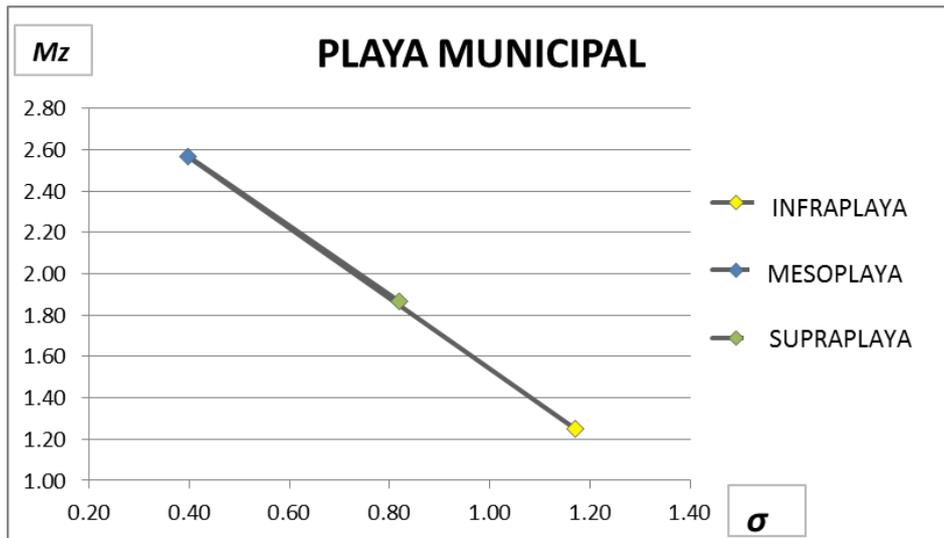


Figura 47. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), playa Municipal.

El mecanismo de transporte en playa Municipal es por saltación en las tres zonas de la playa. (Fig. 48)

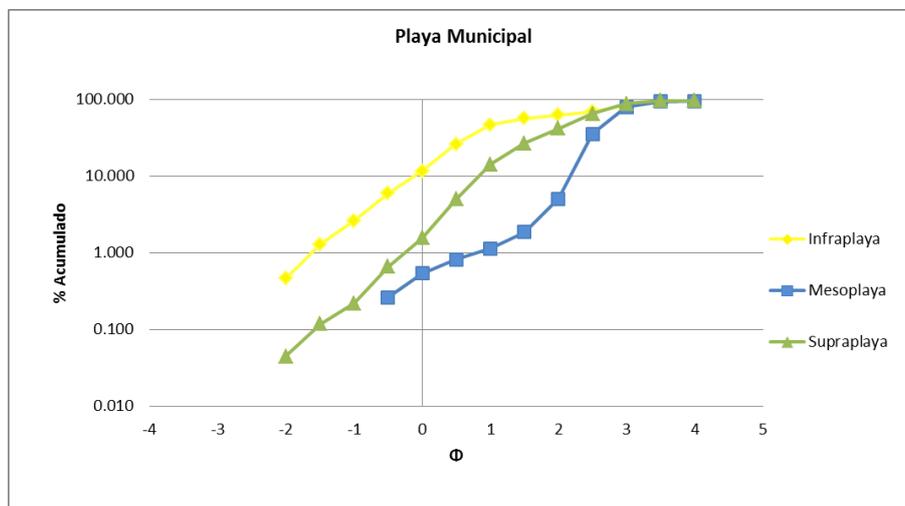


Figura 48. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa Municipal.

### BARRA POTOSÍ

Barra Potosí varía de arenas medias en la zona de infra y mesoplaya a arenas finas en la zona supraplaya; son arenas moderadamente bien clasificadas en infraplaya, así como bien clasificadas en meso y supraplaya; la simetría es

asimétrica hacia gruesos en las tres zonas de la playa. Se observa una curtosis platicurtica en infra y mesoplaya, mientras que en supraplaya es mesocurtica. (Fig. 49, 50, 51, 52, 53, 54 y 55)

- Infraplaya

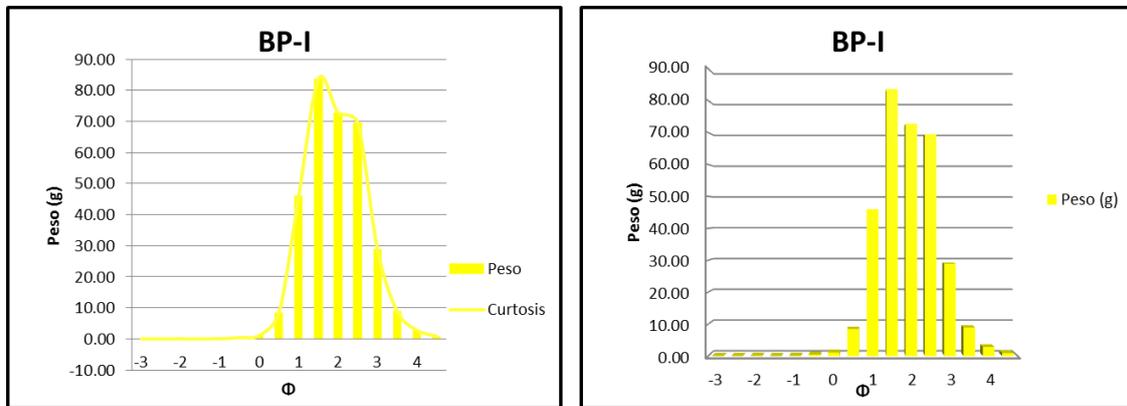


Figura 49. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Barra Potosí Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.63	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.65	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.11	Asimétrica- gruesos
Curtosis	0.67	Platicurtica

Figura 50. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Barra Potosí.

- Mesoplaya

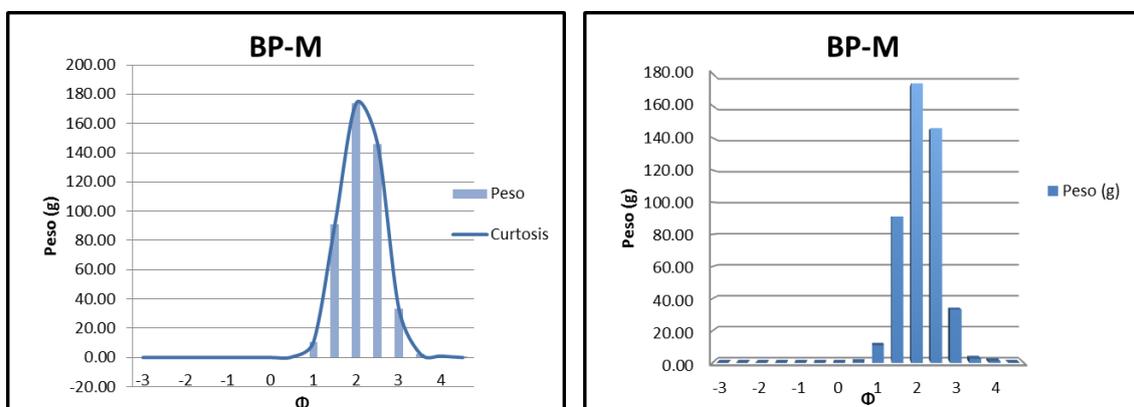


Figura 51. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Barra Potosí Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.80	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.39	Bien clasificada
Asimetría	-0.30	Asimétrica- gruesos
Curtosis	0.85	Platicurtica

Figura 52. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Barra Potosí.

- Supraplaya

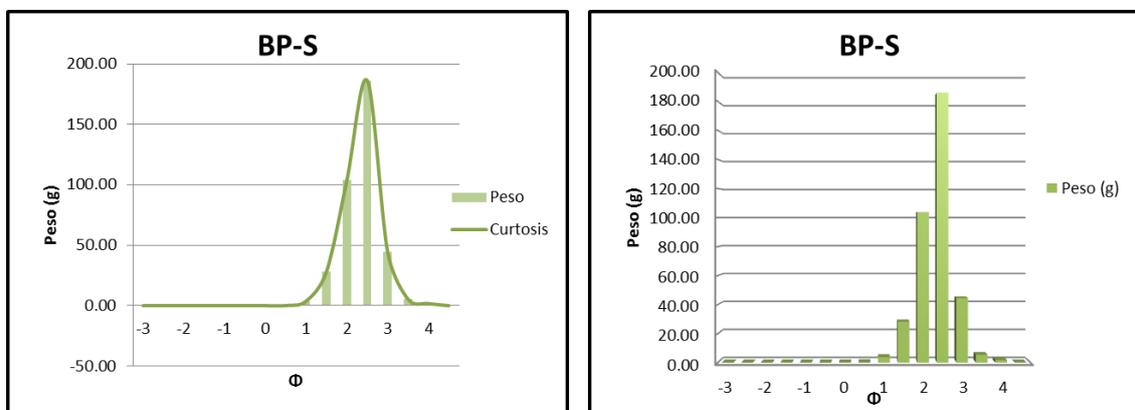


Figura 53. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Barra Potosí Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.03	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.44	Bien clasificada
Asimetría	-0.13	Asimétrica- gruesos
Curtosis	0.94	Mesocurtica

Figura 54. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Barra Potosí.

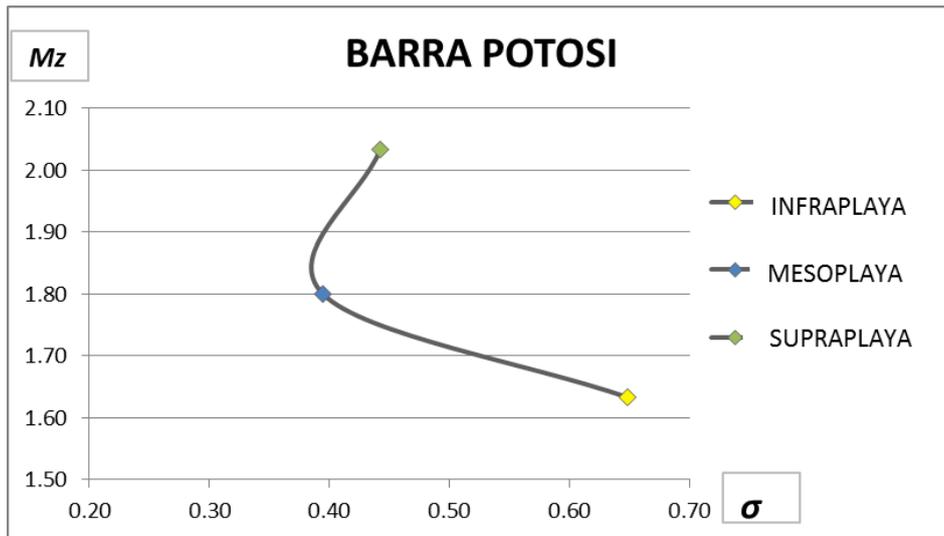


Figura 55. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), Barra Potosí.

El mecanismo de transporte en Barra Potosí es por saltación y suspensión principalmente en las tres zonas de la playa, aunque también hay rodamiento en meso y supraplaya, (Fig., 56)

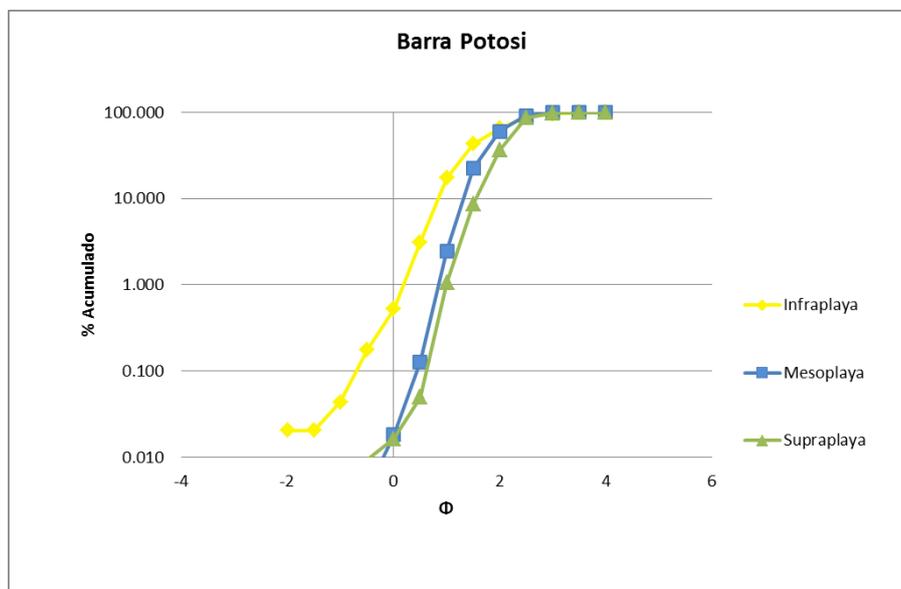


Figura 56. Curvas acumulativas de las tres zonas de Barra Potosí.

## PLAYA PAPANOA

Playa Papanoa varia de arenas gruesas en la zona de infraplaya a arenas finas en las zonas de meso y supraplaya; son arenas mal clasificadas en infraplaya y bien clasificadas en meso y supraplaya; la simetría es variable, en infra y mesoplaya presenta mucha asimetría hacia finos, mientras que en supraplaya es asimétrica hacia gruesos. Se observa una curtosis muy platicurtica en infraplaya, platicurtica en mesoplaya y leptocurtica en supraplaya. (Fig. 57, 58, 59, 60, 61, 62 y 63)

### - Infraplaya

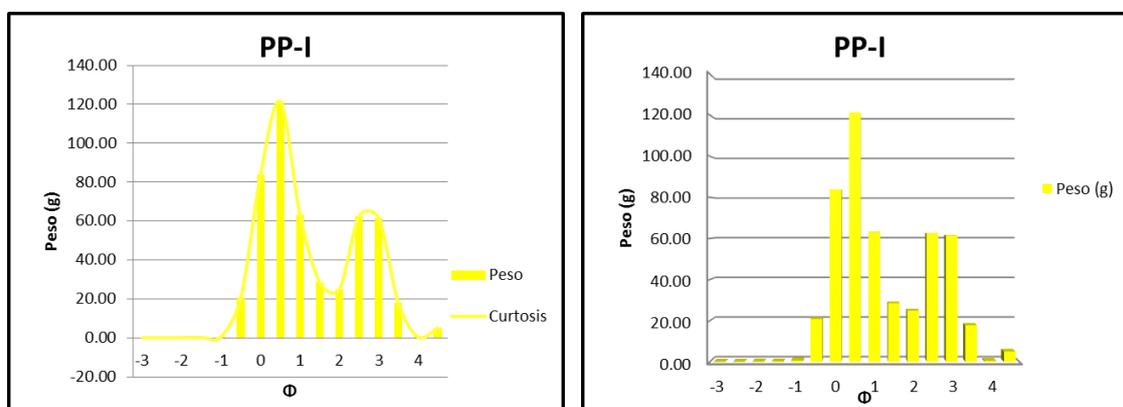


Figura 57. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Papanoa Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	0.77	Arena gruesa
Desviación estándar ( $\sigma$ )	1.07	Mal clasificada
Asimetría	0.39	Muy asimétrica- finos
Curtosis	0.54	Muy platicurtica

Figura 58. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa Papanoa.

- Mesoplaya

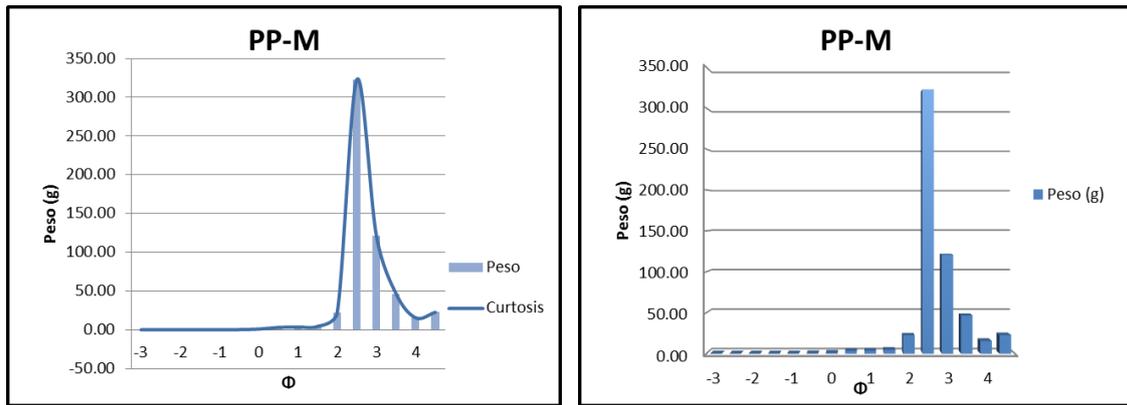


Figura 59. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Papanoa Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.27	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.39	Bien clasificada
Asimetría	0.42	Muy asimétrica- finos
Curtosis	0.82	Platicurtica

Figura 60. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa Papanoa.

- Supraplaya

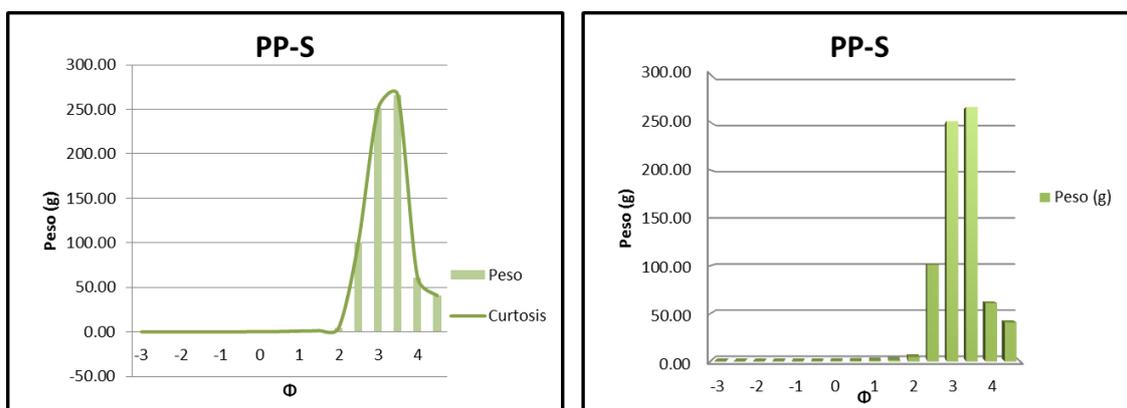


Figura 61. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa Papanoa Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
<b>Mz <math>\phi</math></b>	2.80	Arena fina
<b>Desviación estándar (<math>\sigma</math>)</b>	0.45	Bien clasificada
<b>Asimetría</b>	-0.16	Asimétrica- gruesos
<b>Curtosis</b>	1.23	Leptocurtica

Figura 62. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa Papanoa.

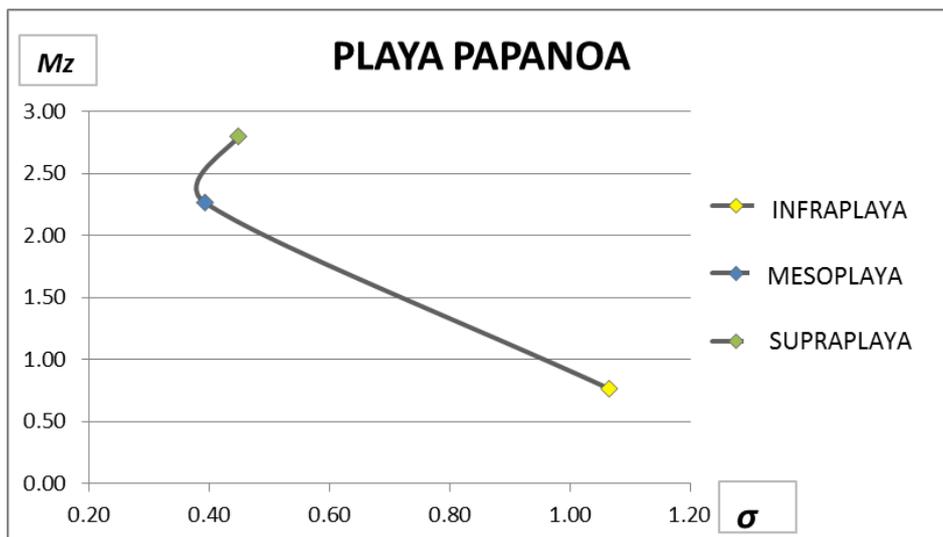


Figura 63. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media (Mz), playa Papanoa.

El mecanismo de transporte en playa Papanoa es por saltación y suspensión principalmente en las zonas de infra y mesoplaya, mientras que la zona de supraplaya es principalmente por rodamiento y en menor proporción por saltación y suspensión. (Fig. 64)

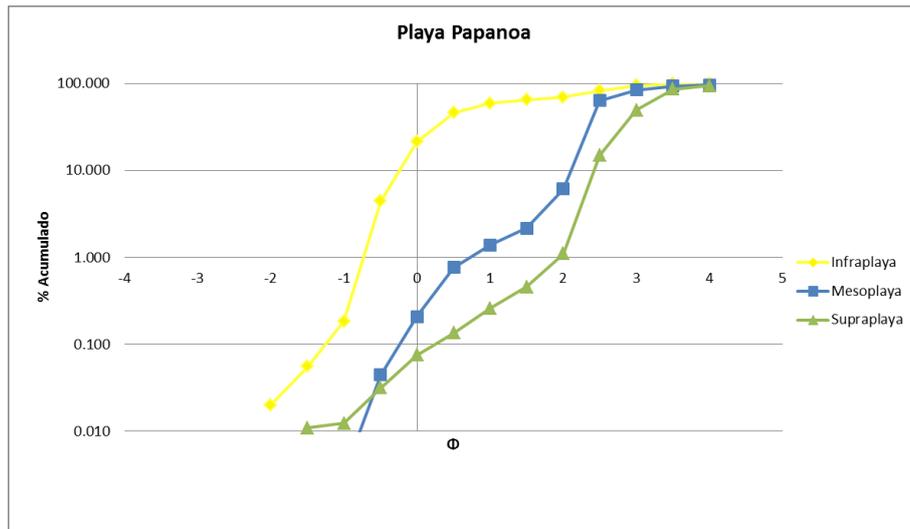


Figura 64. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa Papanoa.

### PLAYA LA MADERA

Playa La Madera presenta arenas finas en las tres zonas de infra, meso y supraplaya; son arenas bien clasificadas en infra, meso y supraplaya; la simetría es variable, en infra y mesoplaya presenta asimetría hacia gruesos, mientras que la zona de supraplaya presenta simetría. Se observa una curtosis mesocurtica en infra y mesoplaya, mientras que en supraplaya es platicurtica. (Fig. 65, 66, 67, 68, 69, 70 y 71)

#### - Infraplaya

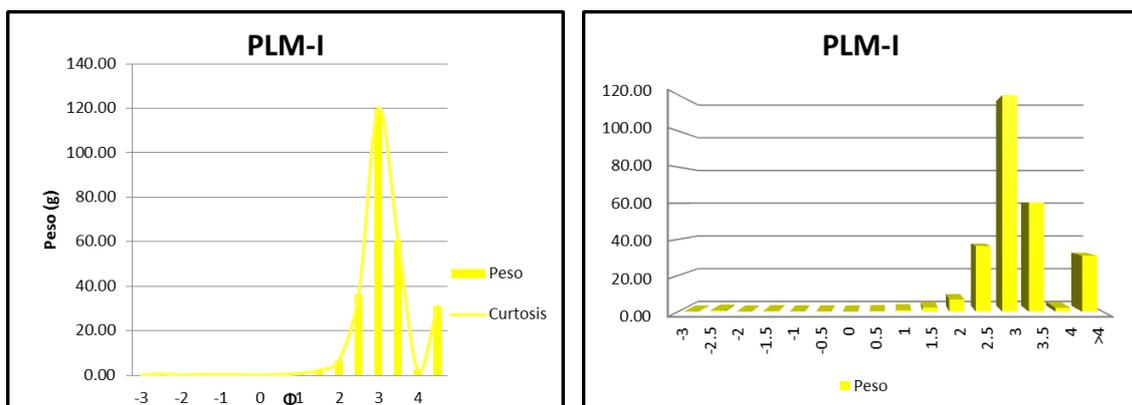


Figura 65. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Madera Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.75	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.48	Bien clasificada
Asimetría	-0.17	Asimétrica- gruesos
Curtosis	1.08	Mesocurtica

Figura 66. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa La Madera.

- Mesoplaya

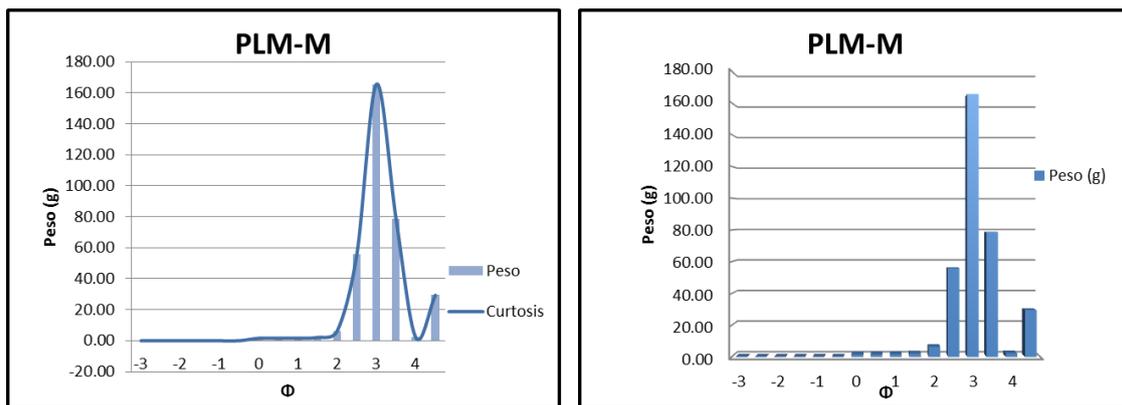


Figura 67. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Madera Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.67	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.44	Bien clasificada
Asimetría	-0.25	Asimétrica- gruesos
Curtosis	1.09	Mesocurtica

Figura 68. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa La Madera.

- *Supraplaya*

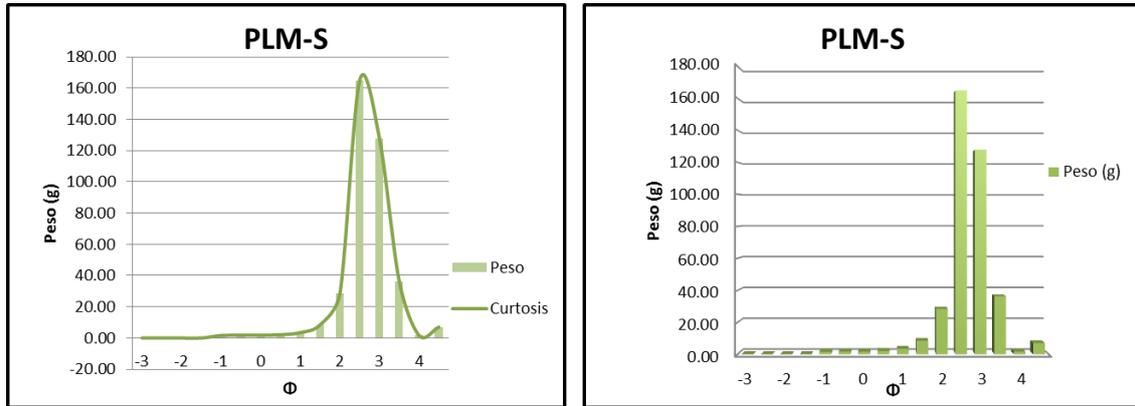


Figura 69. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Madera Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.33	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.45	Bien clasificada
Asimetría	0.09	Simétrica
Curtosis	0.77	Platicurtica

Figura 70. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa La Madera.

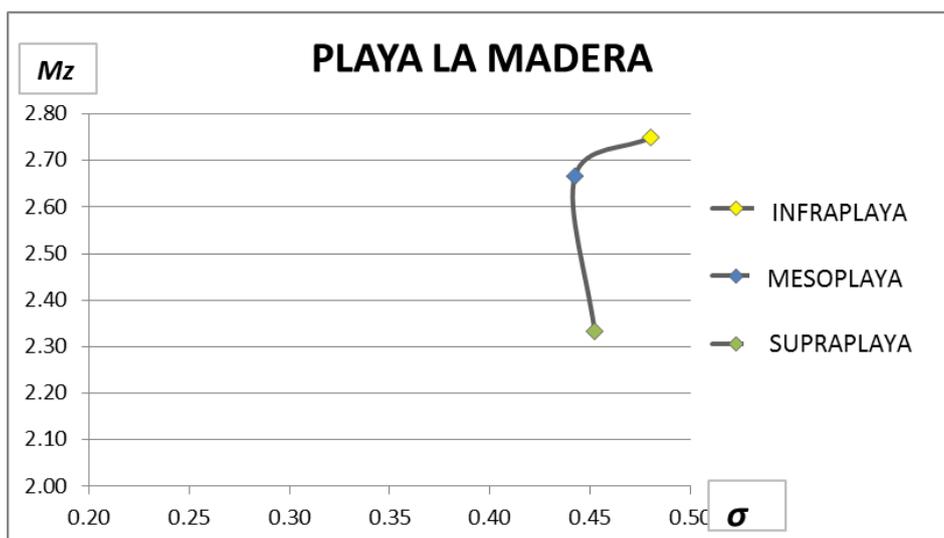


Figura 71. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), playa La Madera.

El mecanismo de transporte en playa La Madera es por saltación principalmente en las tres zonas de playa, aunque también hay rodamiento en infraplaya y suspensión en las tres zonas de playa. (Fig. 72)



Figura 72. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa La Madera.

### PLAYA LA ROPA

Playa La Ropa presenta arenas medias en las tres zonas de infra, meso y supraplaya; son arenas moderadamente clasificadas en infraplaya, moderadamente bien clasificadas en meso y supraplaya; la simetría es variable, en infraplaya se presenta asimetría hacia finos, en mesoplaya mucha asimetría hacia gruesos y en supraplaya presenta asimetría hacia finos. Se observa una curtosis muy platocurtica en infraplaya, así como platocurtica en meso y supraplaya. (Fig. 73, 74, 75, 76, 77, 78 y 79)

- *Infraplaya*

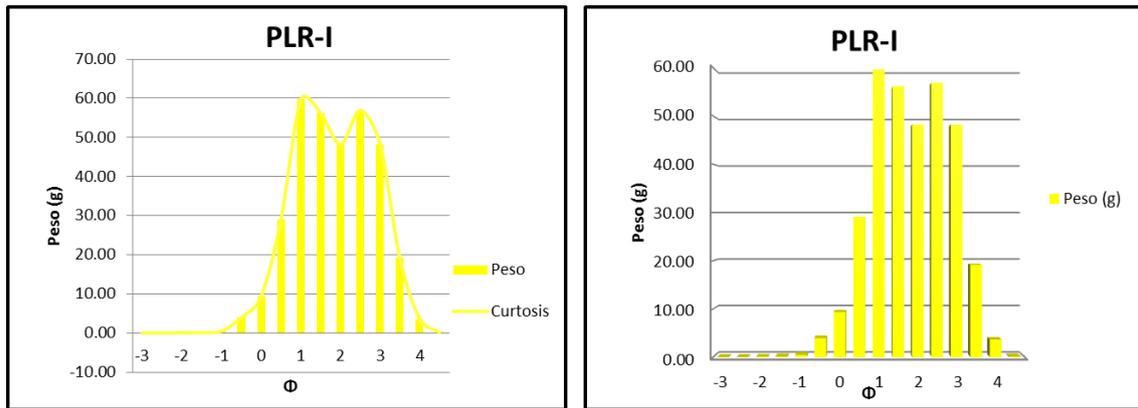


Figura 73. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Ropa Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.27	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.81	Moderadamente clasificada
Asimetría	0.16	Asimétrica- finos
Curtosis	0.61	Muy platicurtica

Figura 74. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa La Ropa.

- *Mesoplaya*

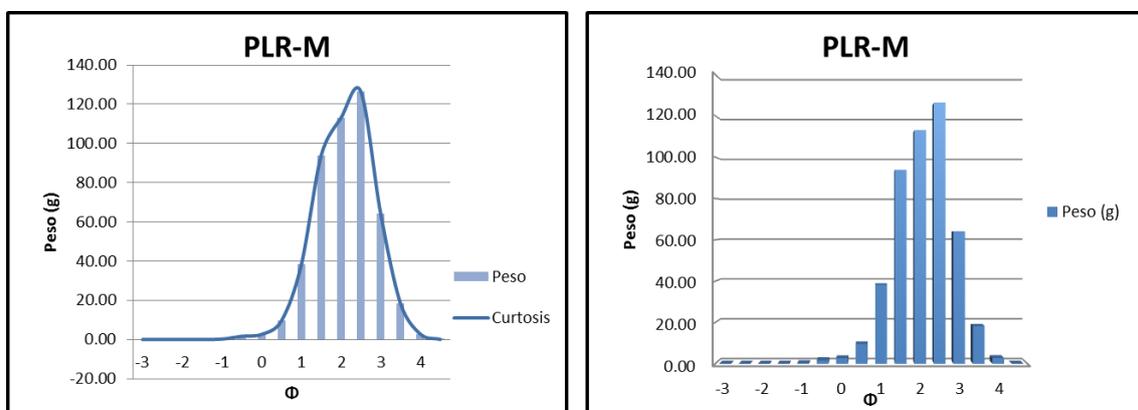


Figura 75. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Ropa Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.70	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.62	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	-0.34	Muy asimétrica- gruesos
Curtosis	0.79	Platicurtica

Figura 76. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa La Ropa.

- Supraplaya

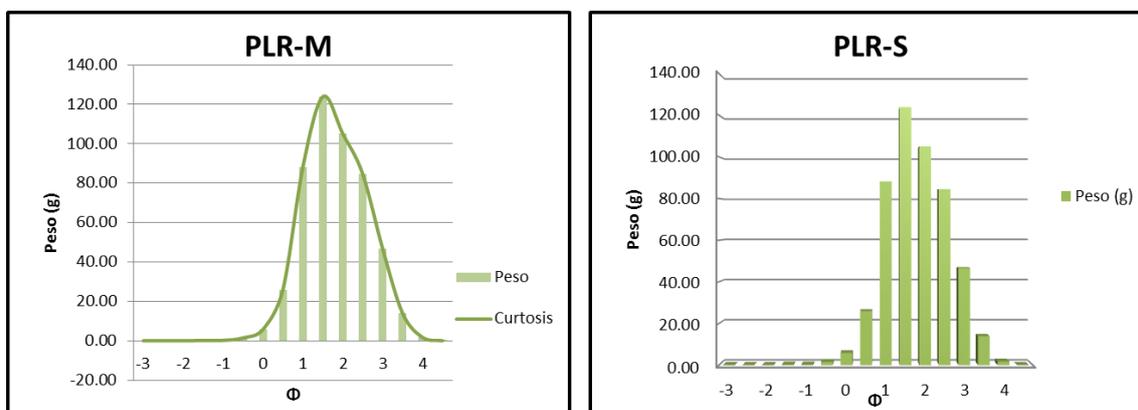


Figura 77. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa La Ropa Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	1.33	Arena media
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.63	Moderadamente bien clasificada
Asimetría	0.30	Asimétrica- finos
Curtosis	0.82	Platicurtica

Figura 78. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa La Ropa.

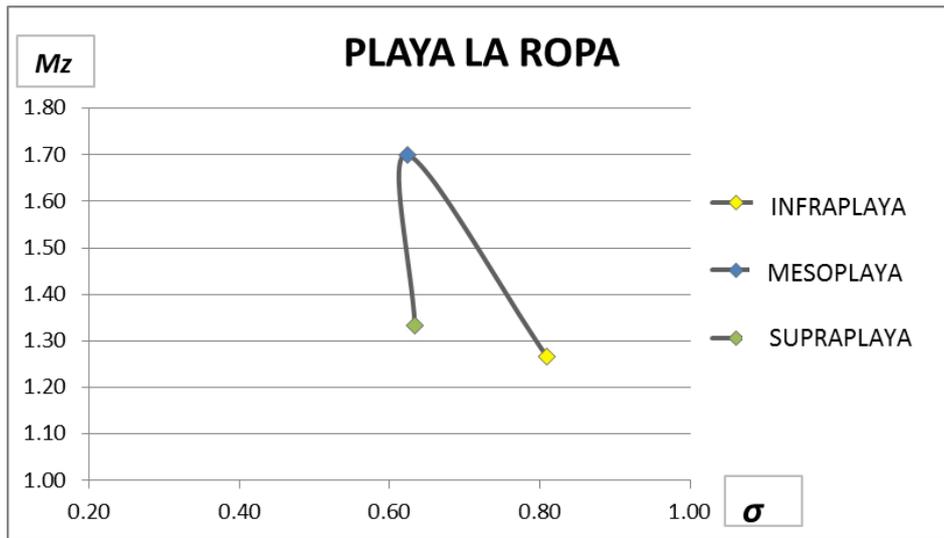


Figura 79. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), playa La Ropa.

El mecanismo de transporte en playa La Ropa es por saltación en las tres zonas de playa, con poco transporte por suspensión en las tres zonas. (Fig. 80)

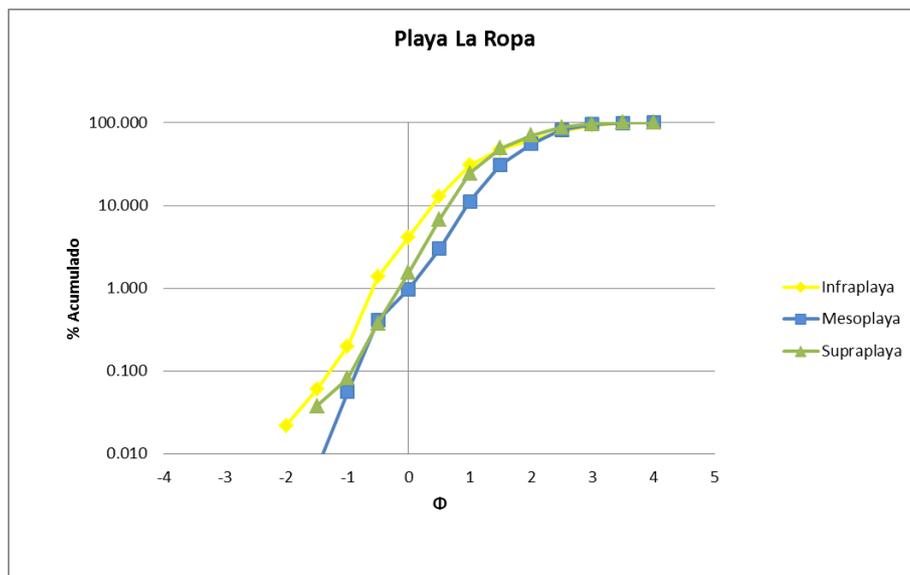


Figura 80. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa La Ropa.

## PLAYA EL PALMAR

Playa El Palmar presenta arenas finas en las tres zonas de infra, meso y supraplaya; son arenas bien clasificadas en infra, meso y supraplaya; la simetría es variable, infraplaya presenta simetría, mientras que meso y supraplaya mucha asimetría hacia gruesos. Se observa una curtosis mesocurtica en infra y supraplaya, así como leptocurtica en mesoplaya. (Fig. 81, 82, 83, 84, 85, 86 y 87)

### - Infraplaya

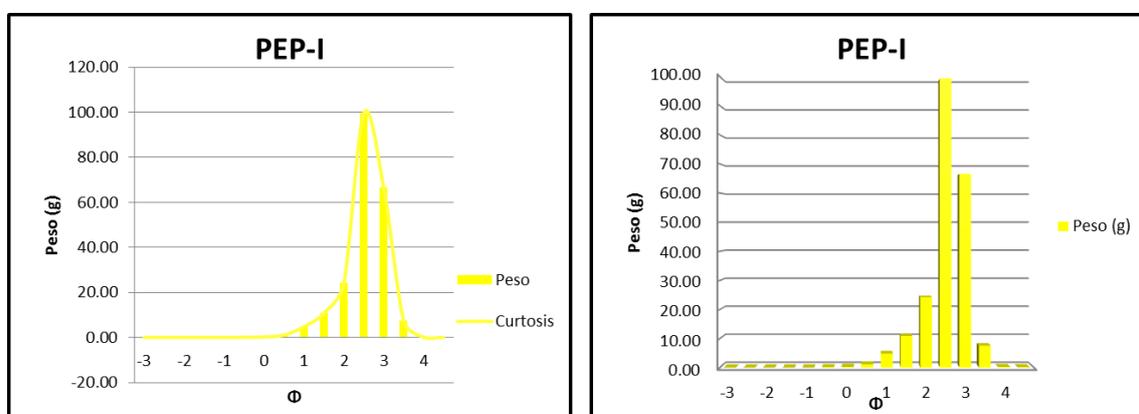


Figura 81. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa El Palmar Infraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.23	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.44	Bien clasificada
Asimetría	-0.03	Simétrica
Curtosis	0.90	Mesocurtica

Figura 82. Parámetros sedimentológicos de la zona de infraplaya en Playa El Palmar.

- Mesoplaya

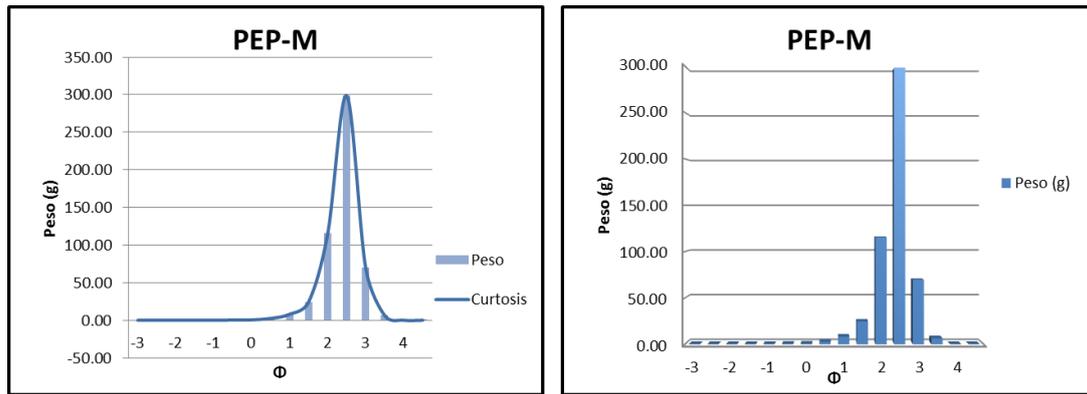


Figura 83. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa El Palmar Mesoplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.00	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.35	Bien clasificada
Asimetría	-0.40	Muy asimétrica- gruesos
Curtosis	1.23	Leptocurtica

Figura 84. Parámetros sedimentológicos de la zona de mesoplaya en Playa El Palmar.

- Supraplaya

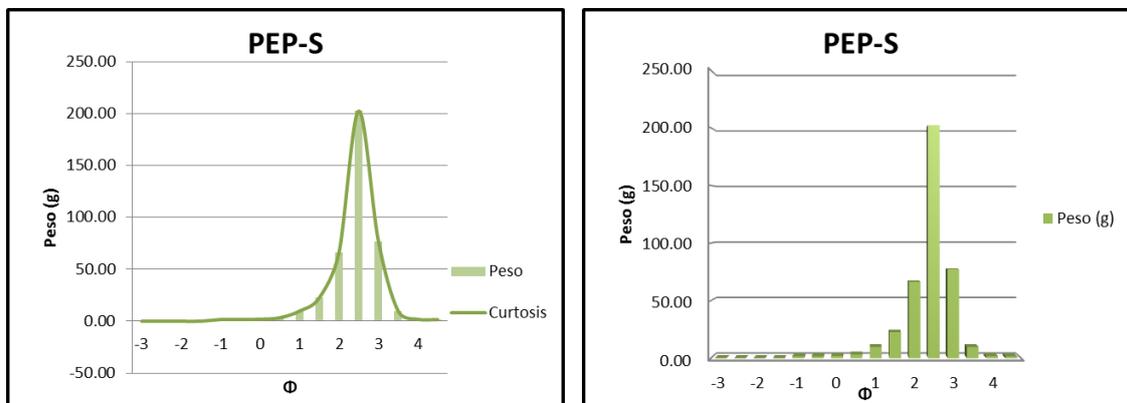


Figura 85. Del lado izquierdo se presenta de manera gráfica la curtosis y del lado derecho la representación gráfica del tamaño vs el peso individual. Playa El Palmar Supraplaya.

Parámetro	Valor	Clasificación
Mz $\phi$	2.07	Arena fina
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.40	Bien clasificada
Asimetría	-0.34	Muy asimétrica- gruesos
Curtosis	1.00	Mesocurtica

Figura 86. Parámetros sedimentológicos de la zona de supraplaya en Playa El Palmar.

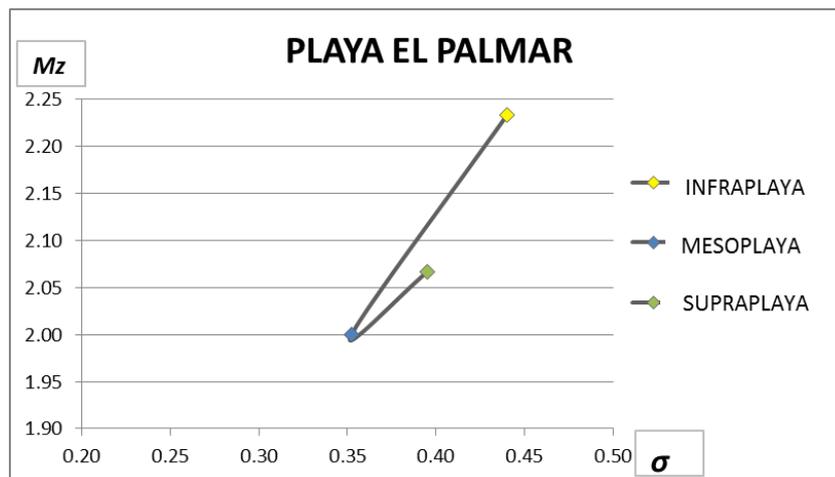


Figura 87. Diagrama de desviación estándar ( $\sigma$ ) vs media ( $Mz$ ), playa El Palmar.

El mecanismo de transporte en playa El Palmar es por saltación y suspensión en las tres zonas de playa, aunque también hay rodamiento en las zonas de infra y mesoplaya. (Fig. 88)

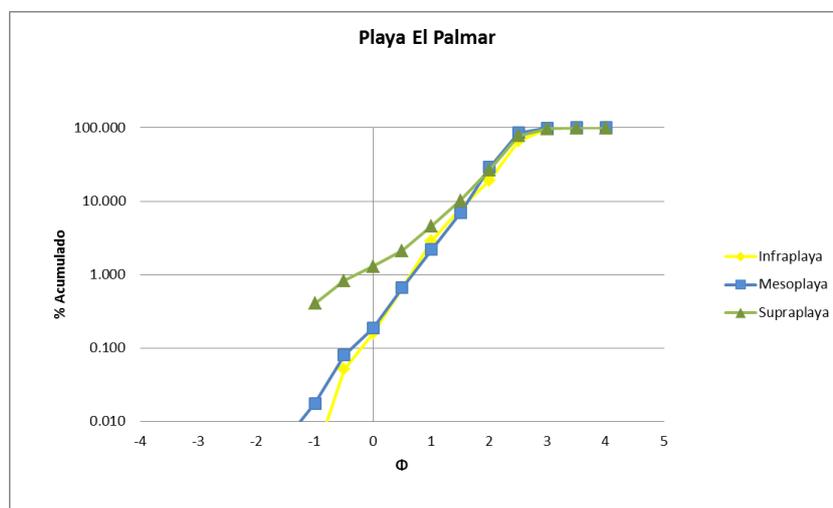


Figura 88. Curvas acumulativas de las tres zonas de playa El Palmar.

## 5. Petrografía

La Petrografía es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma (SGM, 2017).

En total se analizaron 24 láminas delgadas, se registró la mineralogía observada y se hizo un conteo de puntos tomando en cuenta lo siguiente (Fig. 89):

<b>ELEMENTOS</b>	<b>CLAVE</b>
<b>CUARZO</b>	<b>QZ</b>
<b>FELDESPATOS</b>	<b>FDS</b>
<b>FRAGMENTOS DE ROCA</b>	<b>Fr</b>
<b>BIOGENICOS</b>	<b>BIO</b>
<b>FERROMAGNESIANOS</b>	<b>FM</b>
<b>EPIDOTA</b>	<b>EPI</b>
<b>CLORITA</b>	<b>CL</b>
<b>OPACOS</b>	<b>OPA</b>

Figura 89. Elementos tomados en cuenta para la clasificación de las muestras.

Una vez realizado el conteo de puntos, con ayuda del software “ProSIM Ternary Diagram”, se hicieron diagramas ternarios para la clasificación mineralógica de las arenas por cada subzona, utilizando el diagrama de clasificación de Pettijohn, 1973 que se muestra a continuación (Fig. 90).

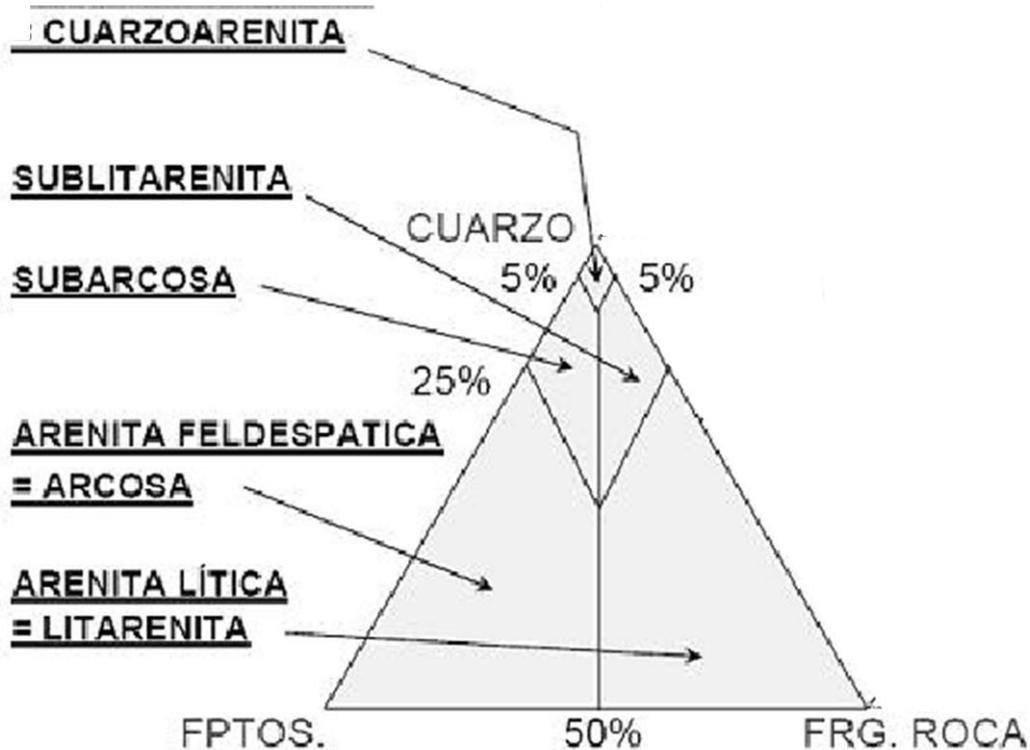


Figura 90. Clasificación arenitas modificado de Pettijohn, 1973. Tomada de: <http://www.geomecanica.org/didacticMat/rocasSedimentarias/index.html>

Para utilizar el diagrama de Pettijohn se debe verificar en una lámina 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 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 sin matriz, utilizamos el diagrama de clasificación de *Arenitas*.

## 5.1. Clasificación y conteo de puntos

### PLAYA PAPANOA

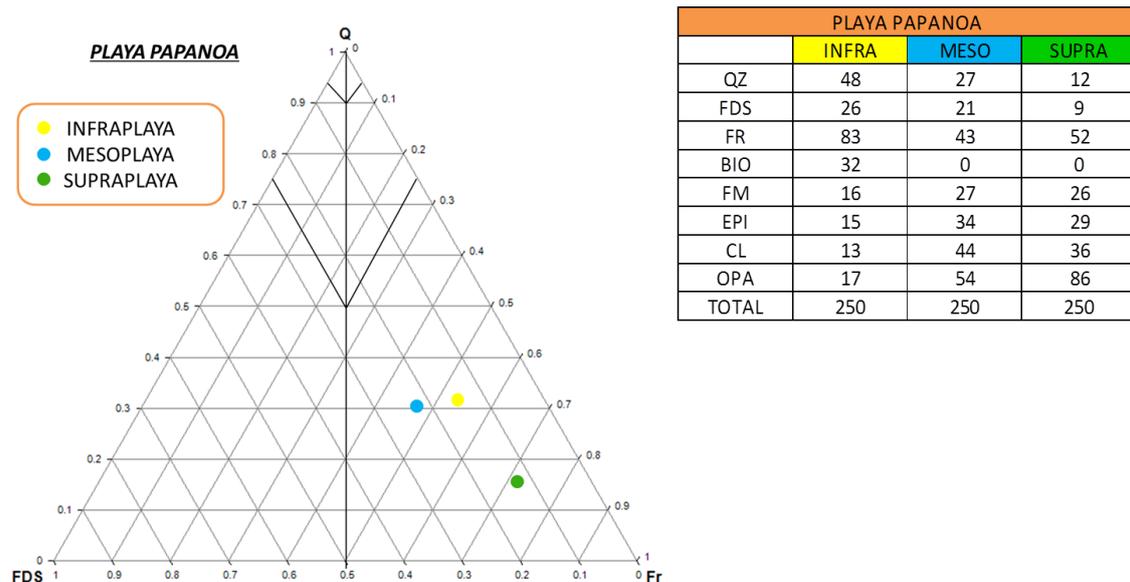


Figura 91. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa Papanoa.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 91)

Esta playa se compone principalmente de minerales opacos en su zona de Mesoplaya y Supraplaya, además en las tres zonas se observan cantidades importantes de epidota y clorita, esto se destaca de manera importante de las otras playas que se muestrearon; también se encontraron fragmentos de roca, cuarzo, feldespatos, y solamente en la zona de Infraplaya se observaron biogenos. (Fig. 92, 93 y 94)

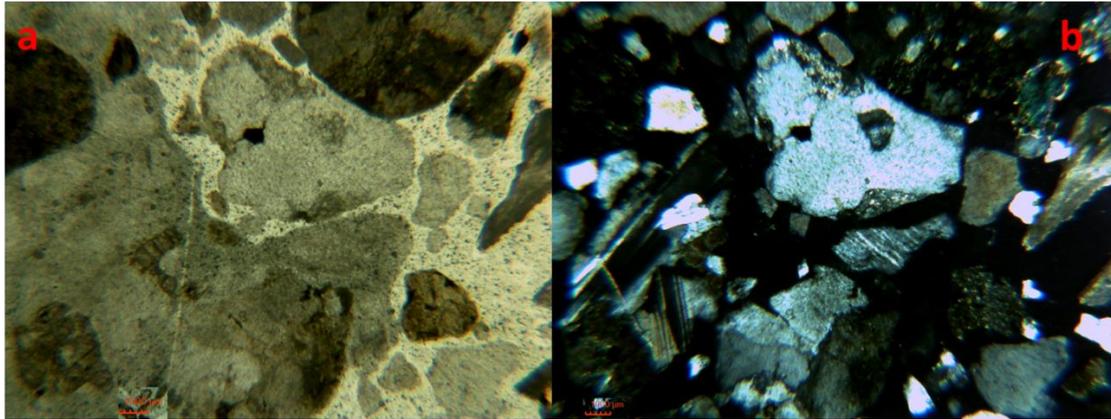


Figura 92. Campo de la muestra. Playa Papanoa Infraplaya donde se observan fragmentos de roca subangulosos a subredondeados con algunos biógenos hacia la parte derecha (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

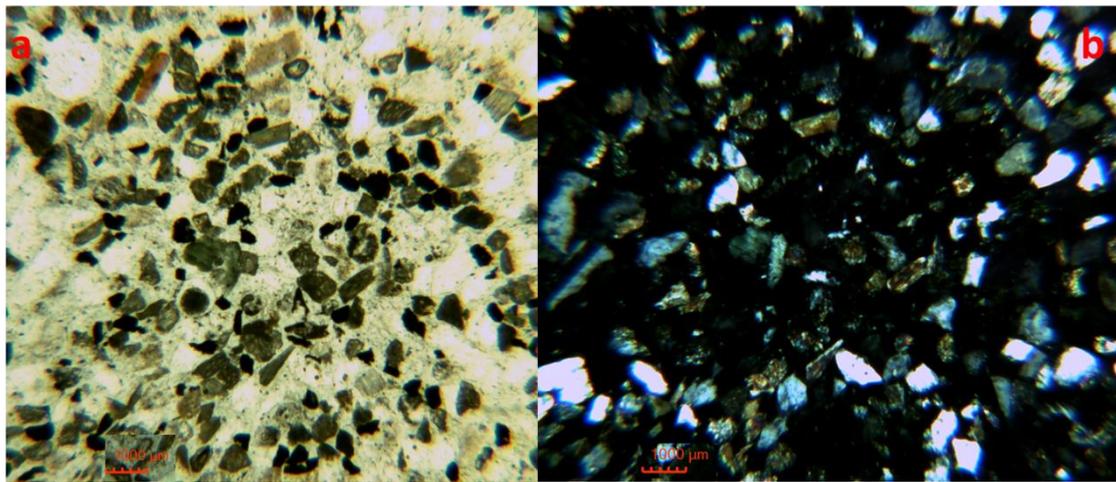


Figura 93. Campo de la muestra. Playa Papanoa Mesoplaya donde se observan minerales opacos, así como epidota identificada con alta birrefringencia en el campo b (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

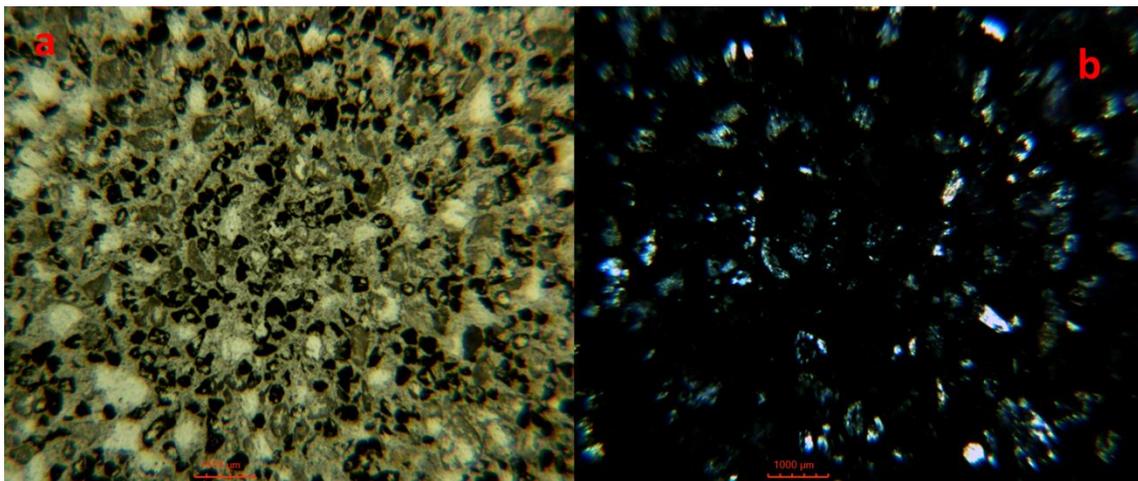


Figura 94. Campo de la muestra. Playa Papanoa Supraplaya donde se observa una gran cantidad de minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

## PLAYA LAS GATAS

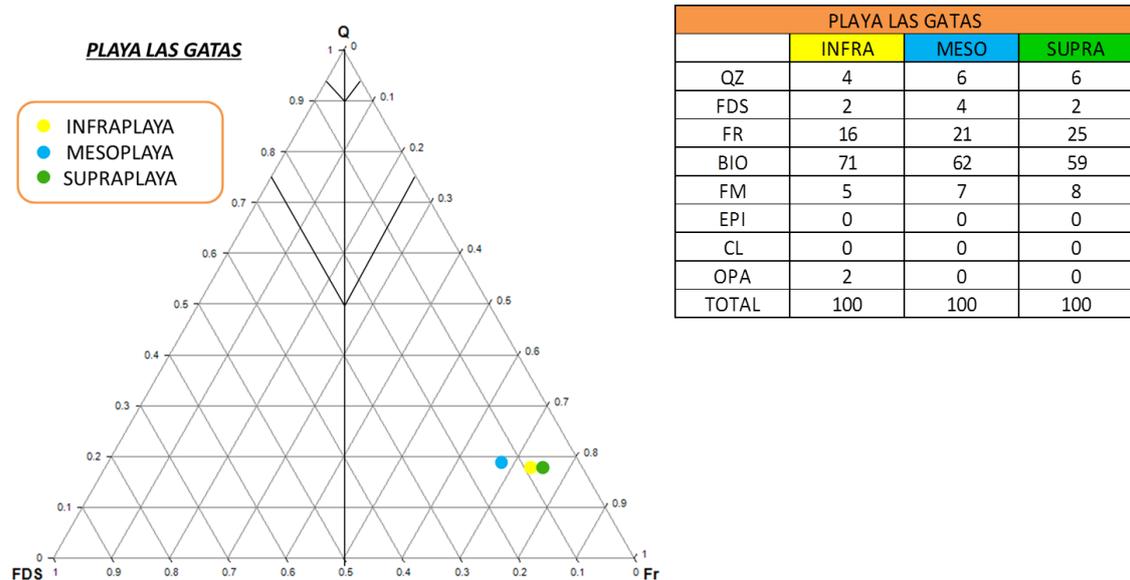


Figura 95. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa Las Gatas.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita, a pesar de ser una muestra que se compone principalmente de biógenos. (Fig. 95)

En las láminas delgadas se observa que esta muestra se compone en su mayoría de biógenos, y los demás componentes son cuarzo, fragmentos de roca, feldespatos y ferromagnesianos. (Fig. 96, 97 y 98)

Debido a la gran abundancia de biógenos, se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.

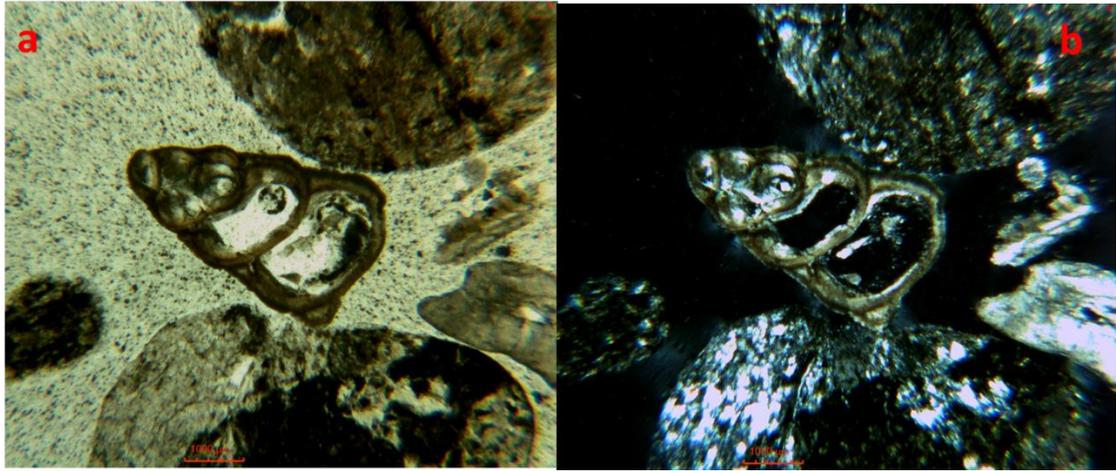


Figura 96. Campo de la muestra. Playa Las Gatas Infraplaya donde se observan fragmentos de organismos con gran detalle (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

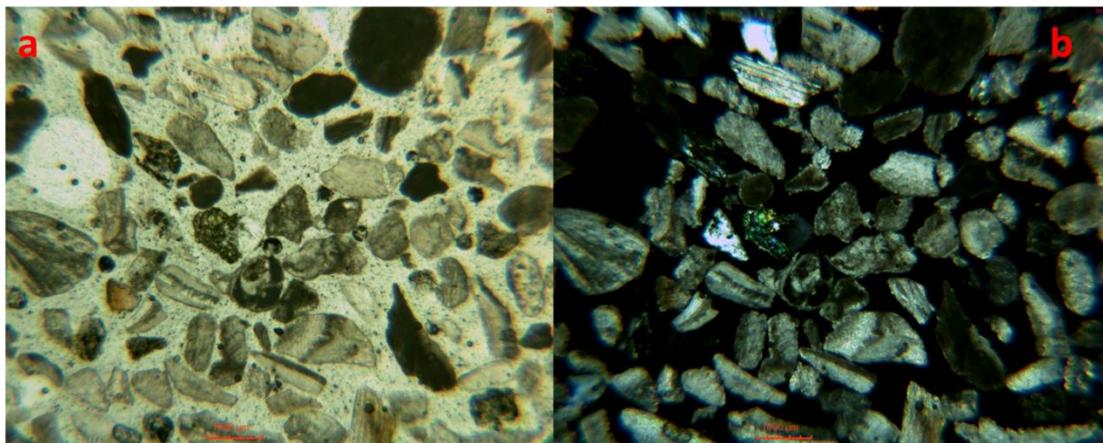


Figura 97. Campo de la muestra. Playa Las Gatas Mesoplaya donde se observa gran abundancia de biógenos y epidota al centro del campo (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

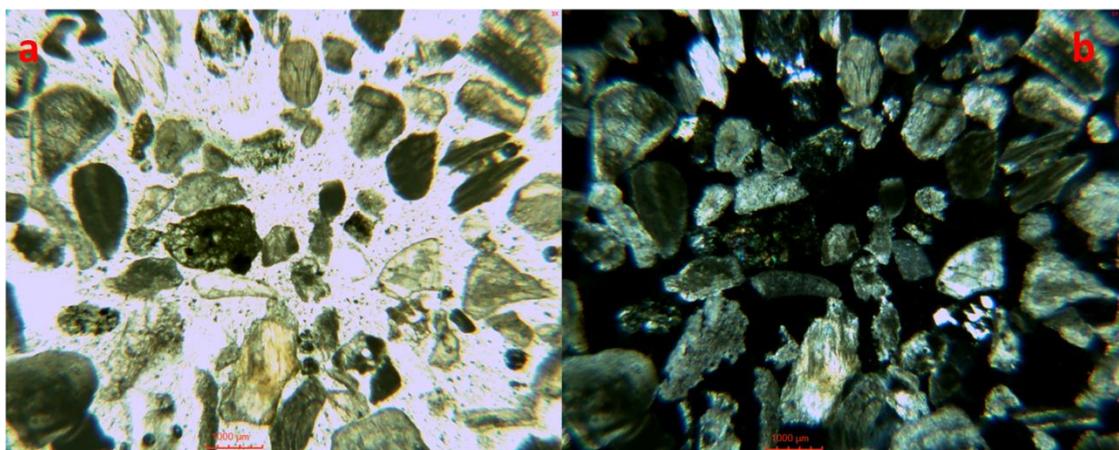


Figura 98. Campo de la muestra. Playa Las Gatas Supraplaya donde se observa gran cantidad de biógenos y epidota al centro de la imagen (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

## PLAYA LINDA

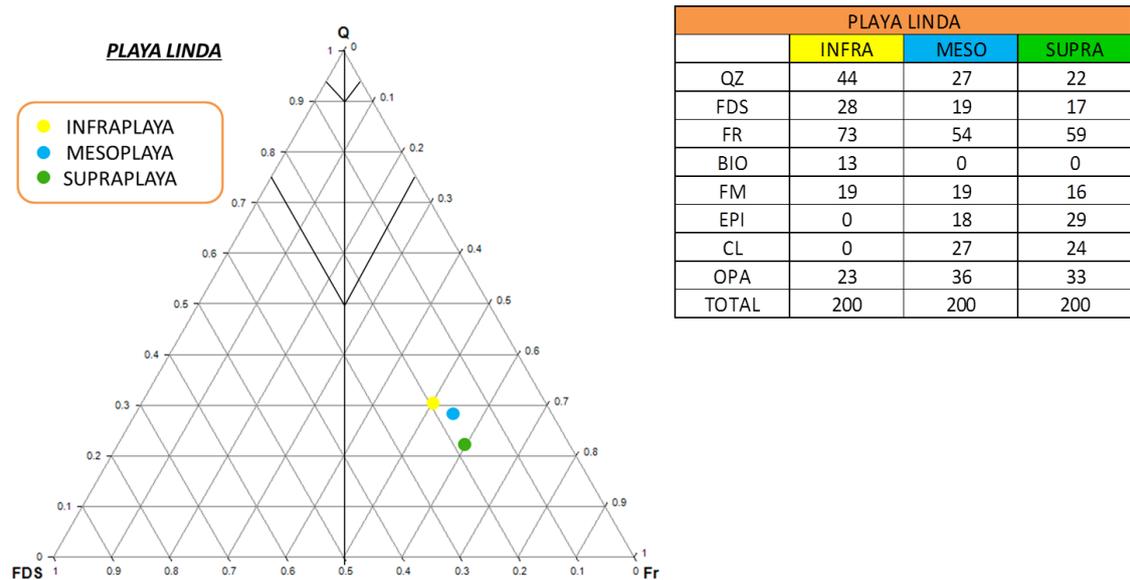


Figura 99. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa Linda.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 99)

A pesar de no tener una cantidad tan grande de opacos es una playa que no tiene basta cantidad de biógenos, a pesar de eso es una playa que se compone de una cantidad notable de fragmentos de roca, además se observaron ferromagnesianos, epidotas, cloritas, cuarzos y feldespatos. (Fig. 100, 101 y 102)

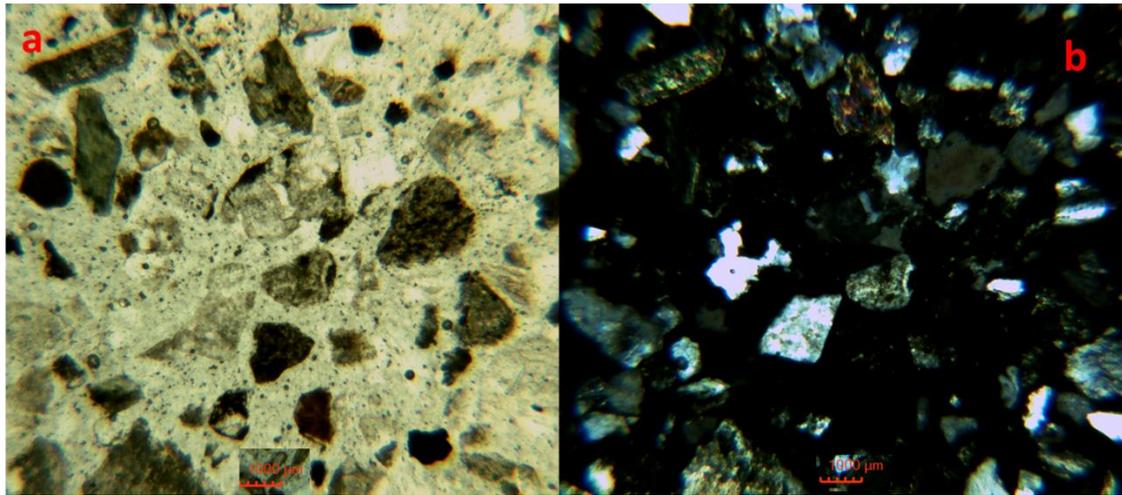


Figura 100. Campo de la muestra. Playa Linda Infraplaya donde se observan fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, cuarzo y epidota, así como algunos minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

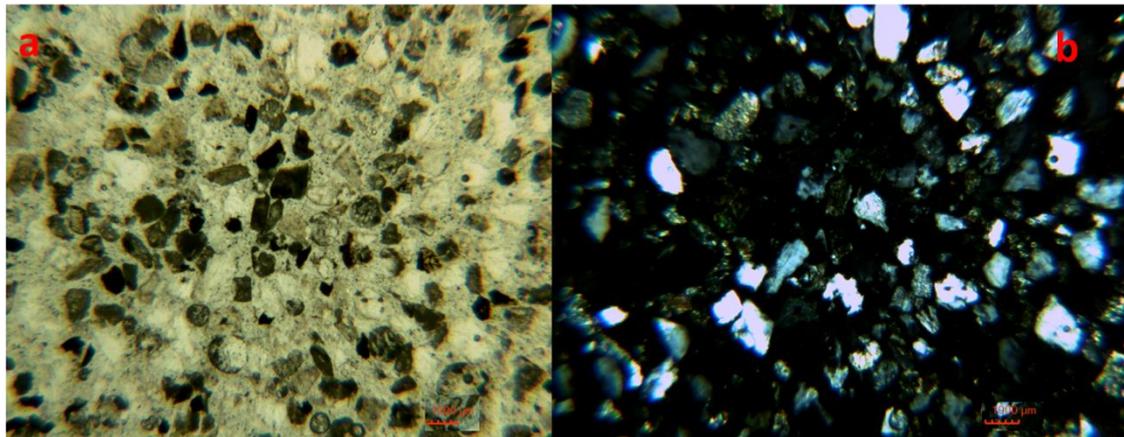


Figura 101. Campo de la muestra. Playa Linda Mesoplaya donde se observan fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, cuarzo y epidota, así como algunos minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

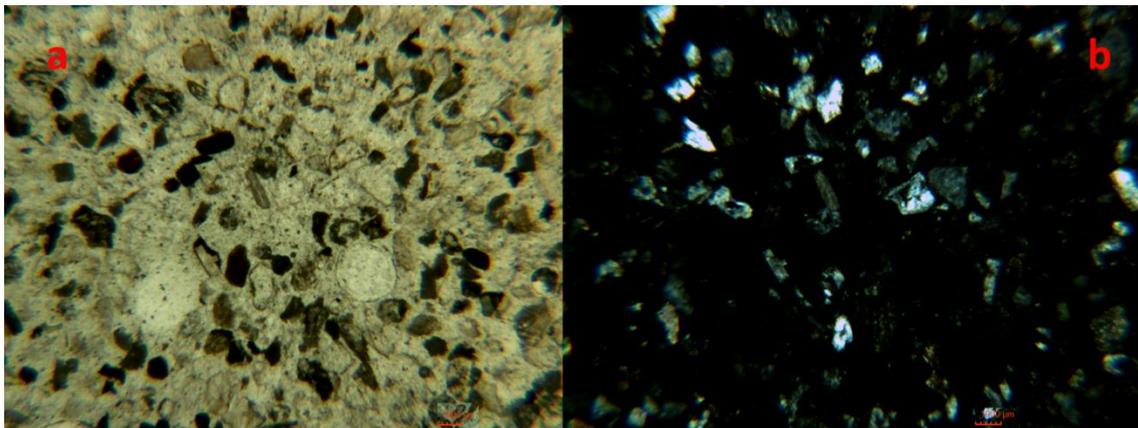


Figura 102. Campo de la muestra. Playa Linda Supraplaya donde se observan fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, cuarzo y epidota, así como algunos minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

## BARRA POTOSÍ

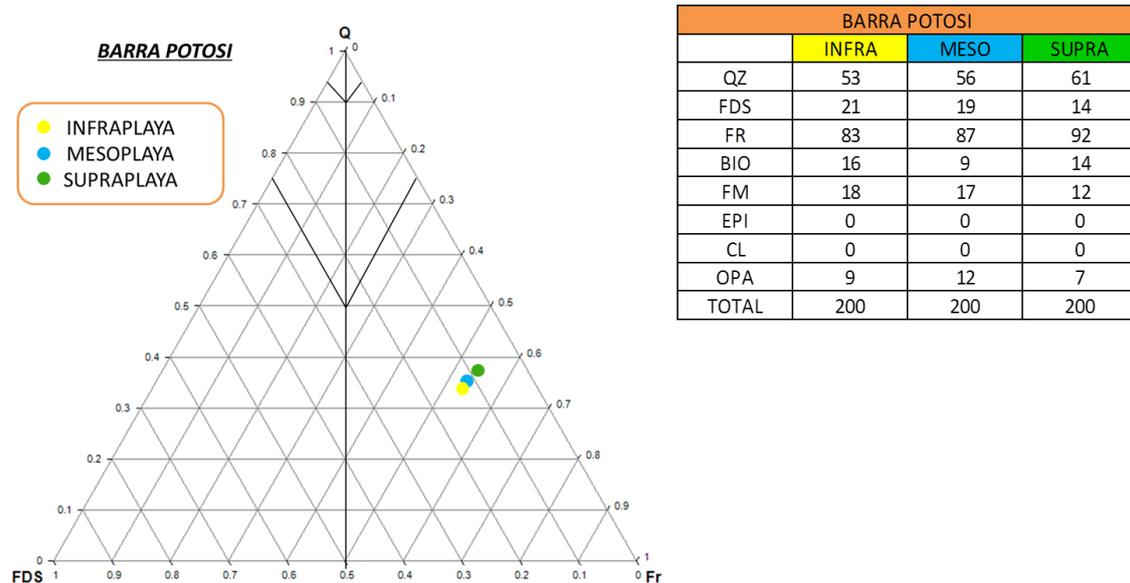
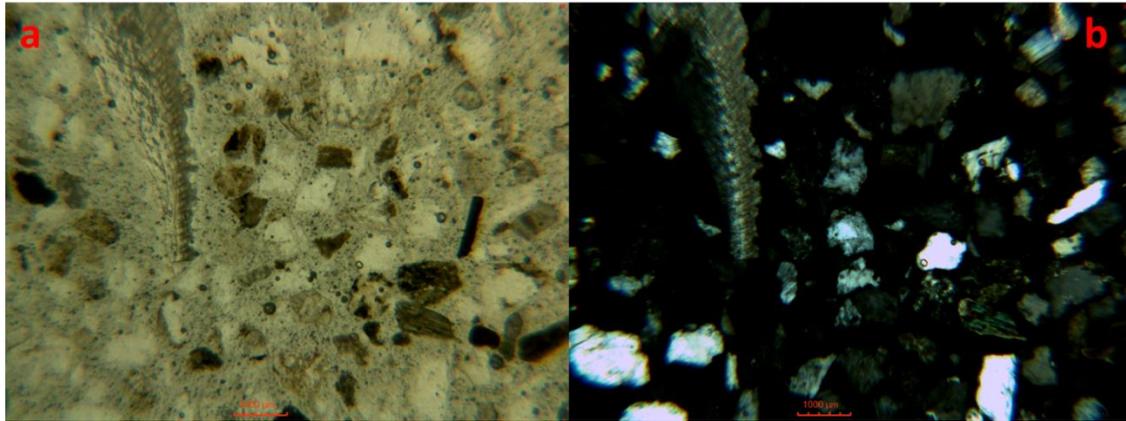


Figura 103. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Barra Potosí.

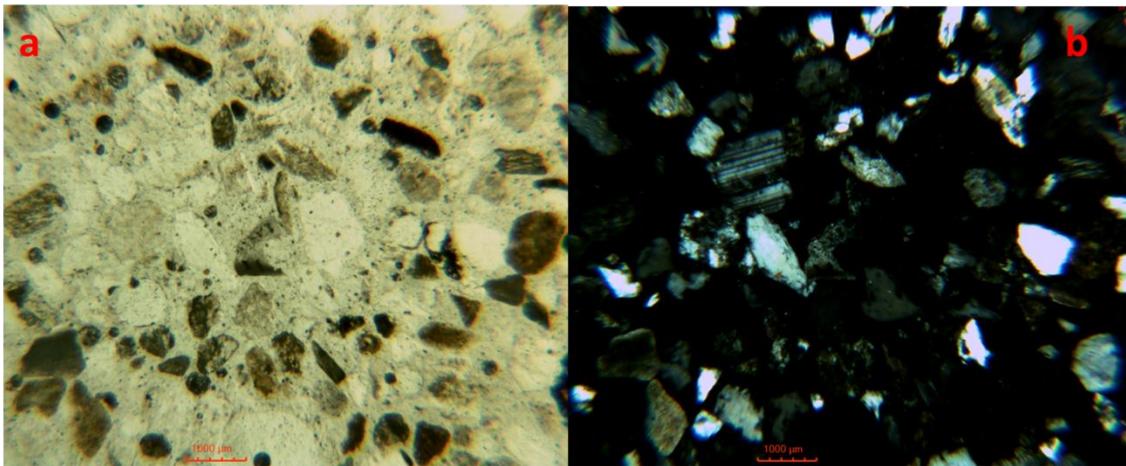
Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 103)

En esta playa se observa que se compone en su mayoría de fragmentos de roca y cuarzo, los demás componentes son feldespatos, biógenos, pocos minerales opacos y ferromagnesianos. (Fig. 104, 105 y 106)

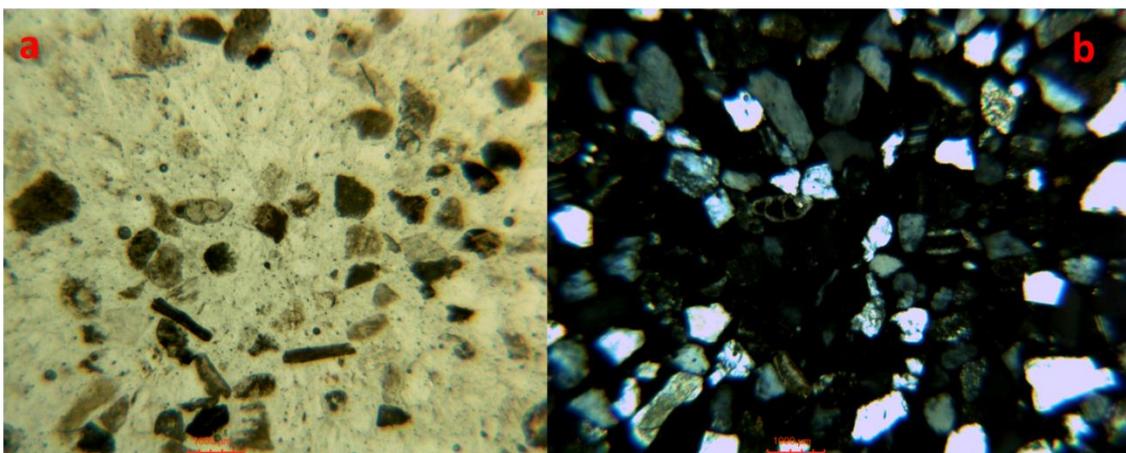
Debido a la gran abundancia de fragmentos de roca, cuarzo y feldespato, se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.



*Figura 104. Campo de la muestra. Barra Potosí Infraplaya donde se observa un fragmento muy detallado de algún organismo, además se observan fragmentos de roca subangulosos a subredondeados, cuarzos y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.*



*Figura 105. Campo de la muestra. Barra Potosí Mesoplaya donde se observan cuarzos, fragmentos de roca, epidotas e incluso algunos biógenos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.*



*Figura 106. Campo de la muestra. Barra Potosí Supraplaya donde se observan cuarzos, fragmentos de roca, epidotas e incluso algunos biógenos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.*

## PLAYA LA ROPA

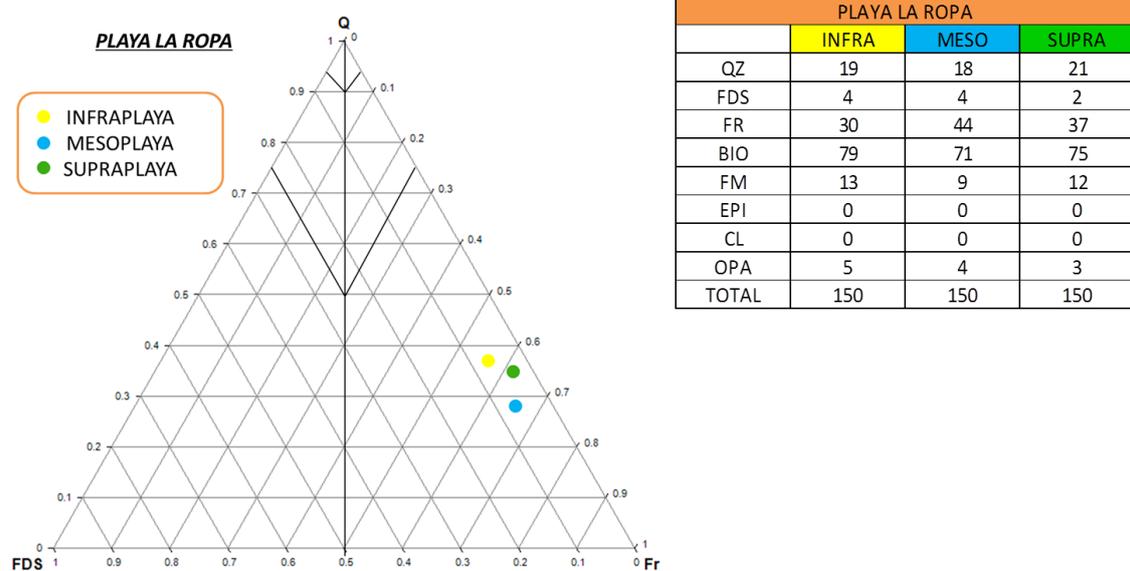


Figura 107. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa La Ropa.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 107)

En las láminas delgadas se observa que esta muestra se compone en su mayoría de biógenos, aunque la cantidad de fragmentos de roca y cuarzo no son despreciables, los demás componentes son feldespatos, ferromagnesianos y opacos. (Fig. 108, 109 y 110)

En esta playa se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.

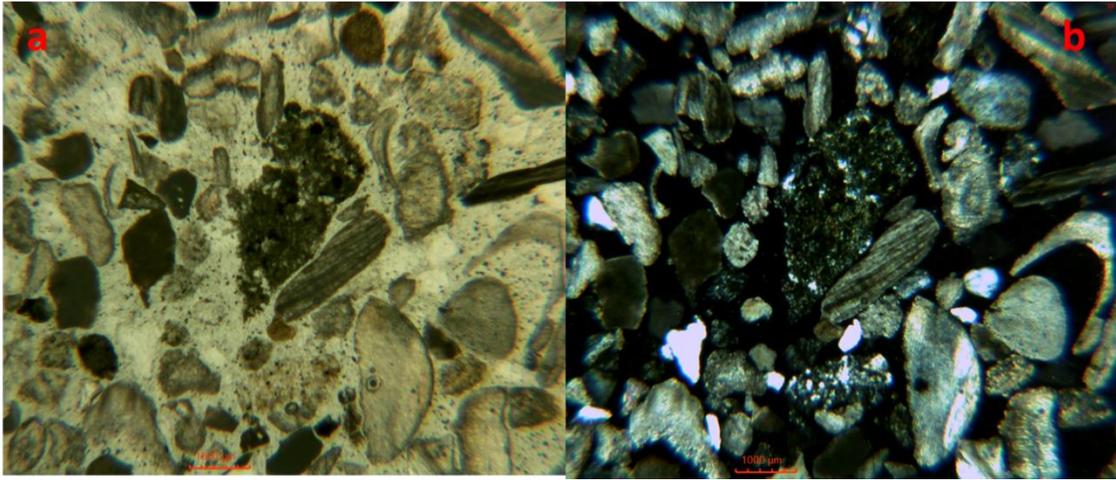


Figura 108. Campo de la muestra. Playa La Ropa Infraplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos y fragmentos de roca (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

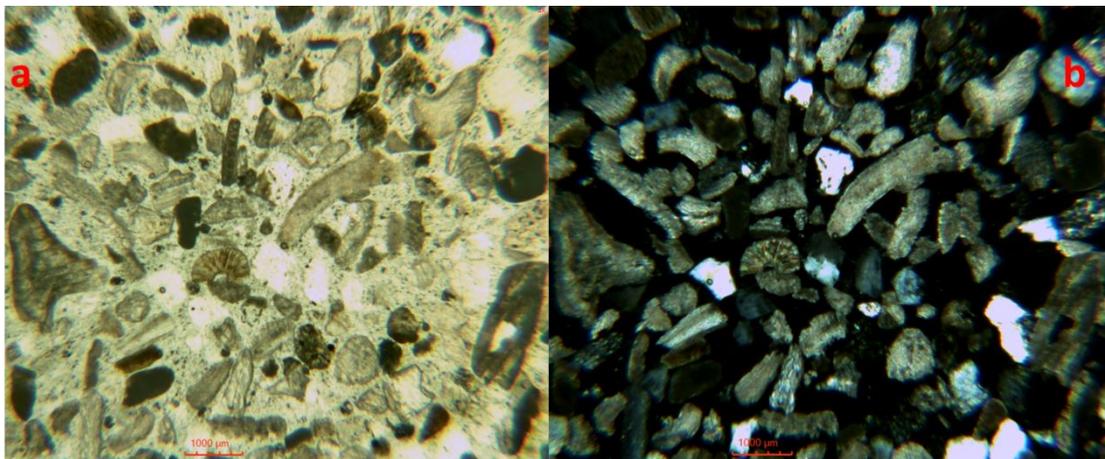


Figura 109. Campo de la muestra. Playa La Ropa Mesoplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

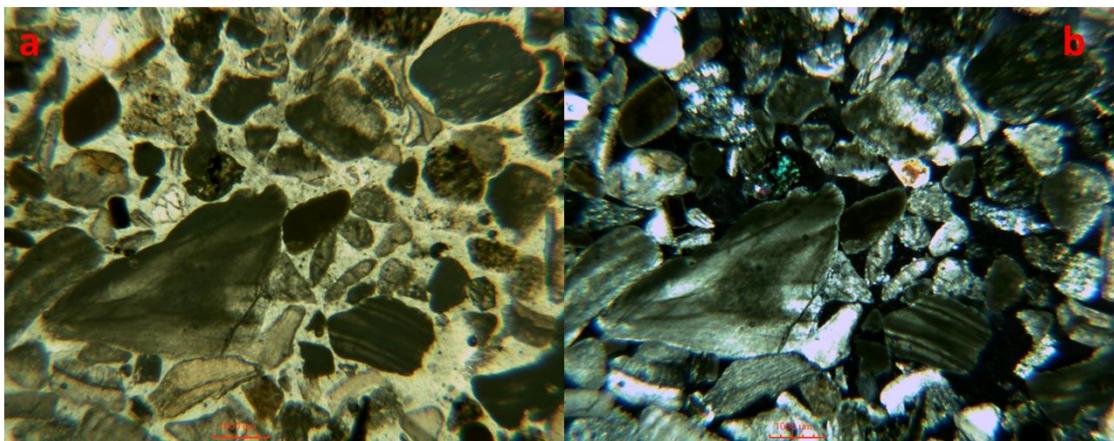


Figura 110. Campo de la muestra. Playa La Ropa Supraplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

## PLAYA LA MADERA

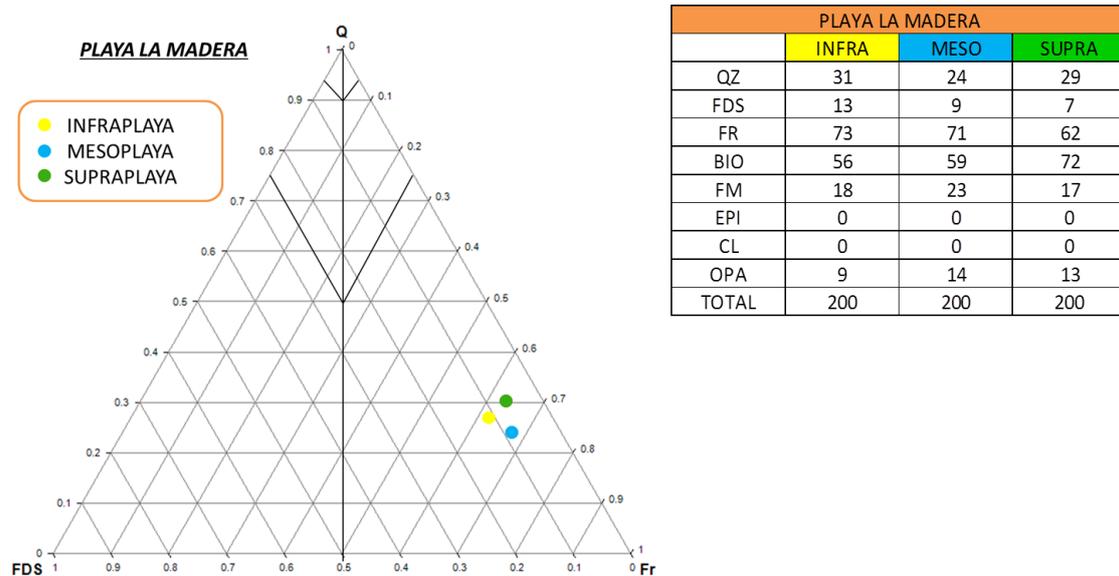


Figura 111. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa La Madera.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 111)

Esta playa se compone en su mayoría de fragmentos de roca y biógenos en proporciones muy similares, con cantidades importantes de cuarzo, los demás componentes son feldespatos, opacos y ferromagnesianos. (Fig. 112, 113 y 114)

En esta playa se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.

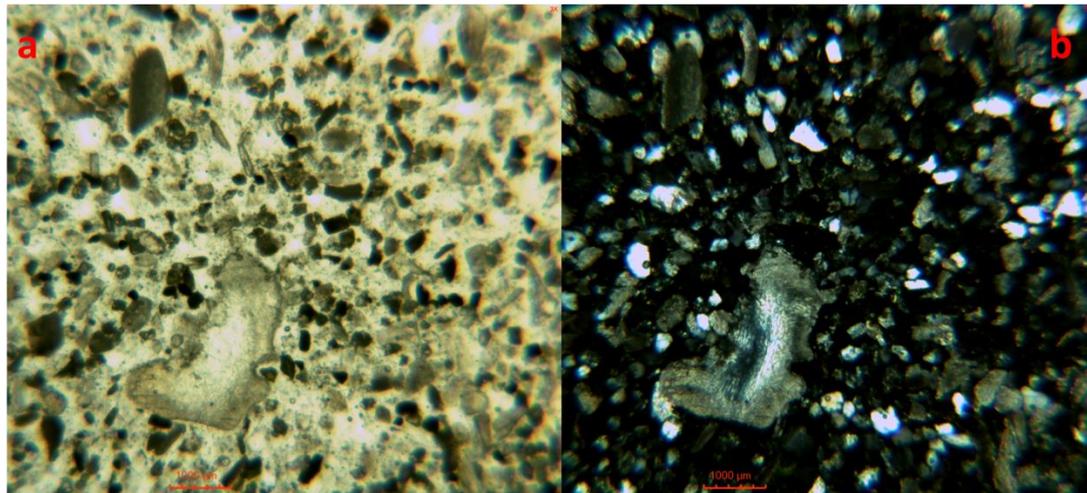


Figura 112. Campo de la muestra. Playa La Madera Infraplaya donde se observan biógenos, cuarzos, fragmentos de roca, epidotas e incluso algunos minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

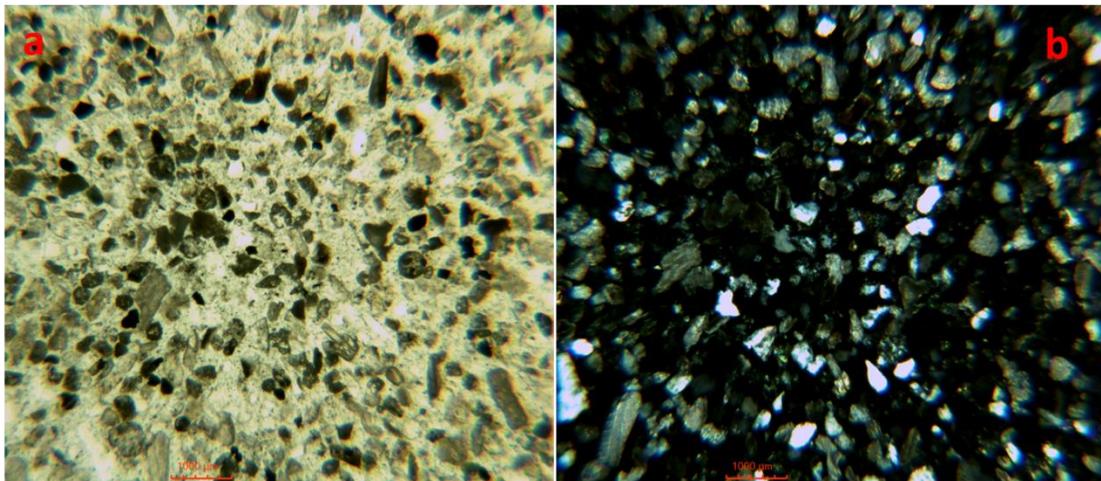


Figura 113. Campo de la muestra. Playa La Madera Mesoplaya donde se observan biógenos, cuarzos, fragmentos de roca, epidotas e incluso algunos minerales opacos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

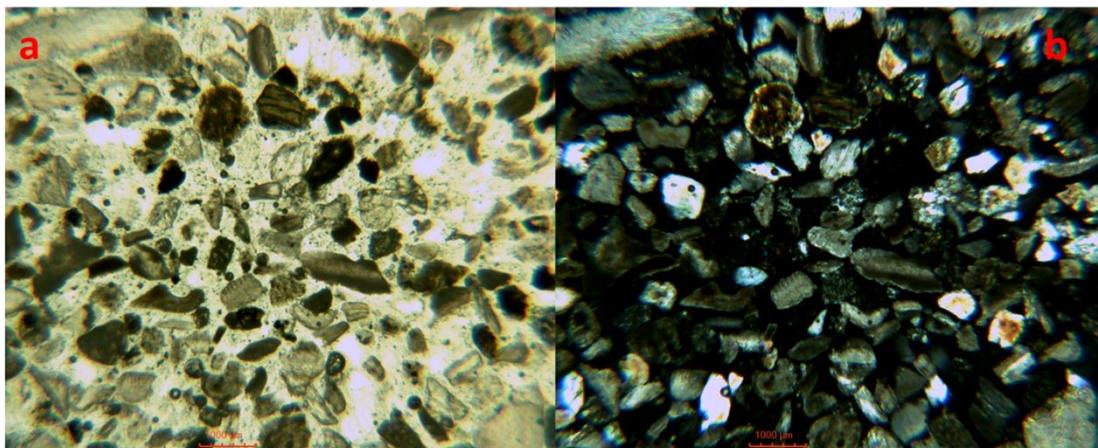


Figura 114. Campo de la muestra. Playa La Madera Supraplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicoles cruzados.

## PLAYA MUNICIPAL

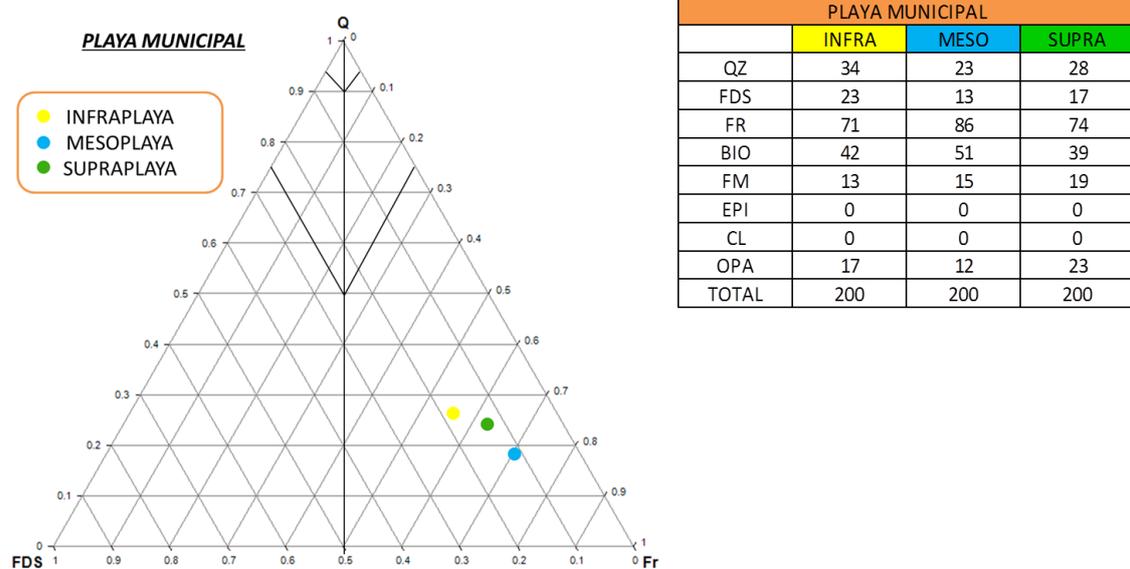


Figura 115. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa Municipal.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 115)

Se observa que esta playa se compone en su mayoría de fragmentos de roca, biógenos y cuarzo, los demás componentes son feldespatos, opacos y ferromagnesianos. (Fig. 116, 117 y 118)

En esta playa se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.

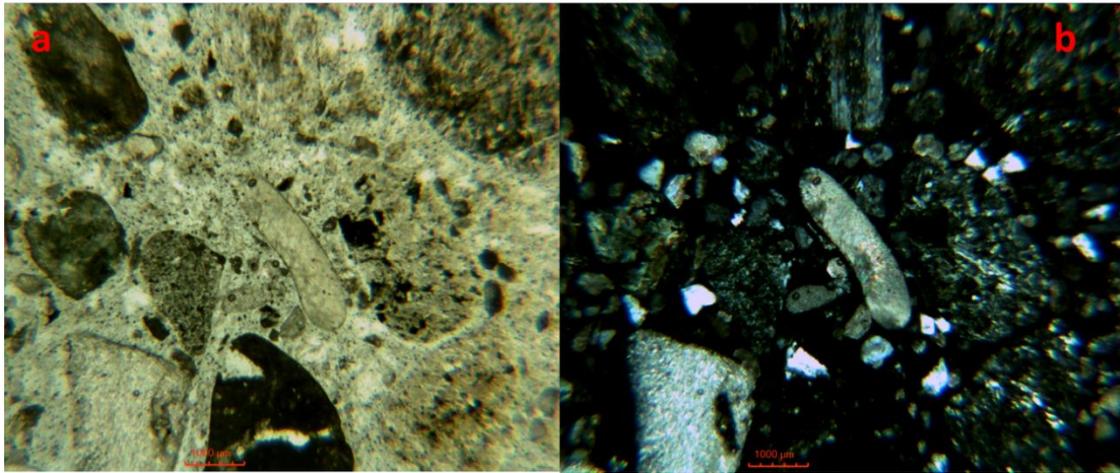


Figura 116. Campo de la muestra. Playa Municipal Infraplaya donde se observa una gran cantidad de fragmentos de roca subredondeados y un fragmento de organismo al centro de las fotos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

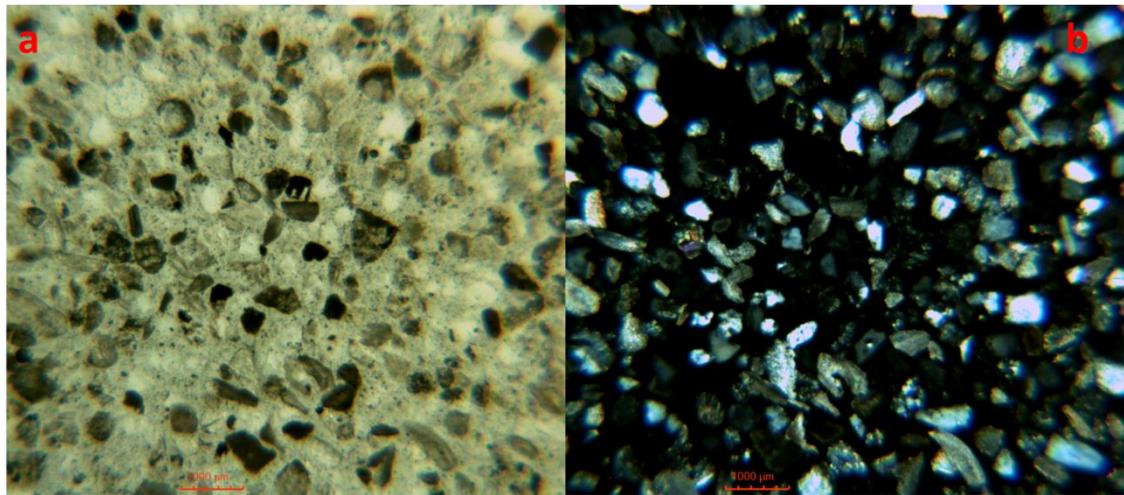


Figura 117. Campo de la muestra. Playa Municipal Mesoplaya donde se observan biógenos, cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

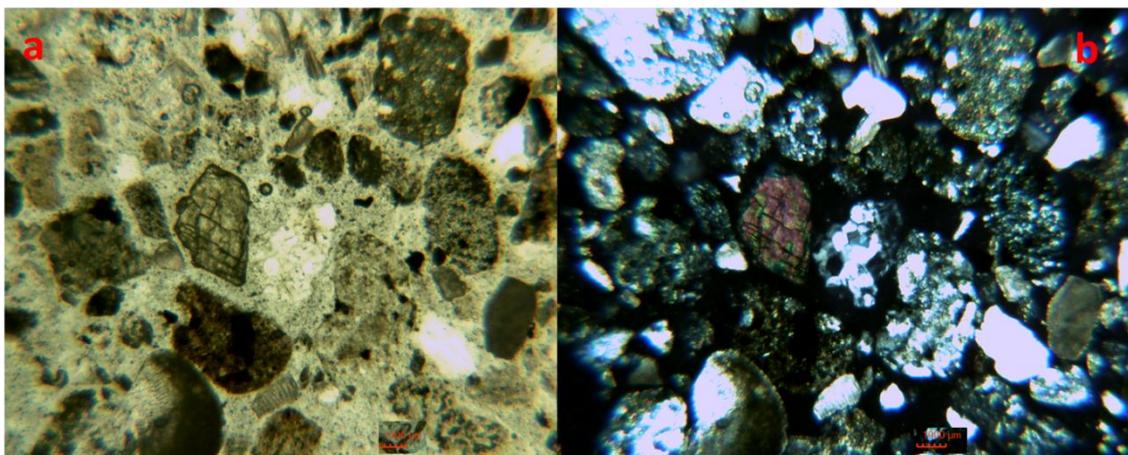


Figura 118. Campo de la muestra. Playa Municipal Supraplaya donde se observa una gran cantidad de fragmentos de roca subangulosos a subredondeados y una epidota al centro de las fotos (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

## PLAYA EL PALMAR

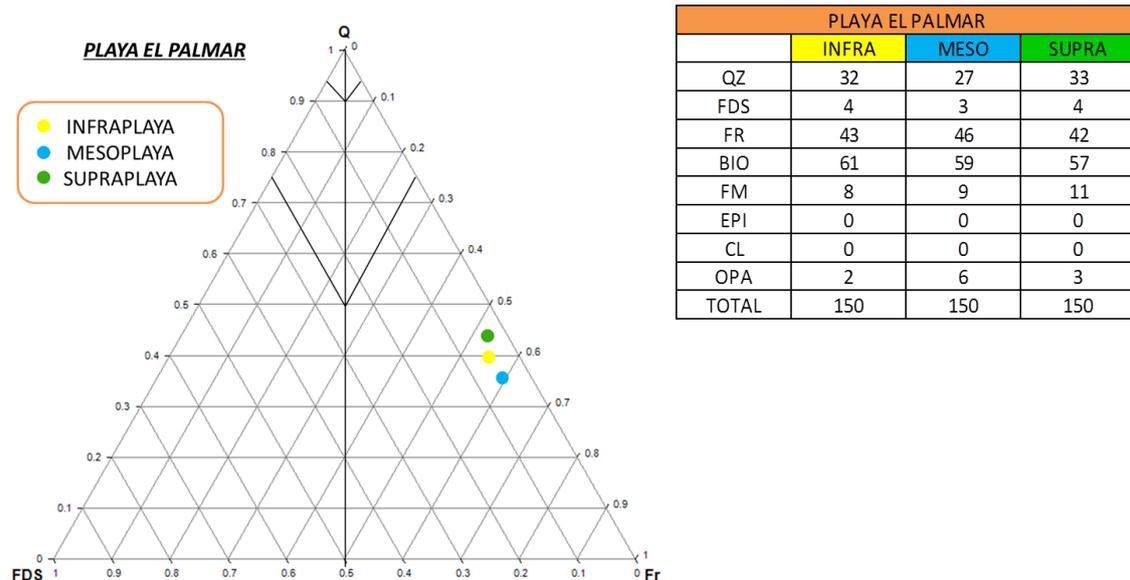


Figura 119. Diagrama Ternario y conteo de puntos de Playa El Palmar.

Con los resultados obtenidos en el conteo de puntos se determinaron los porcentajes para clasificar la muestra en el diagrama ternario. La muestra cae dentro del campo de Litarenita. (Fig. 119)

Se observa que esta playa se compone en su mayoría de fragmentos de roca y biógenos, los demás componentes son cuarzo, feldespatos, opacos y ferromagnesianos. (Fig. 120, 121 y 122)

Se decidió agrupar los elementos de epidota y corita dentro del campo de los ferromagnesianos.

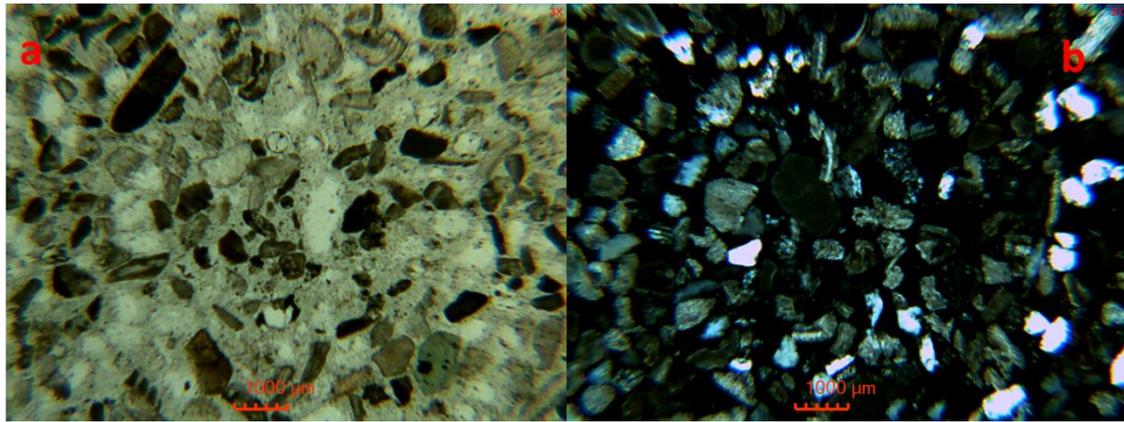


Figura 120. Campo de la muestra. Playa El Palmar Infraplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

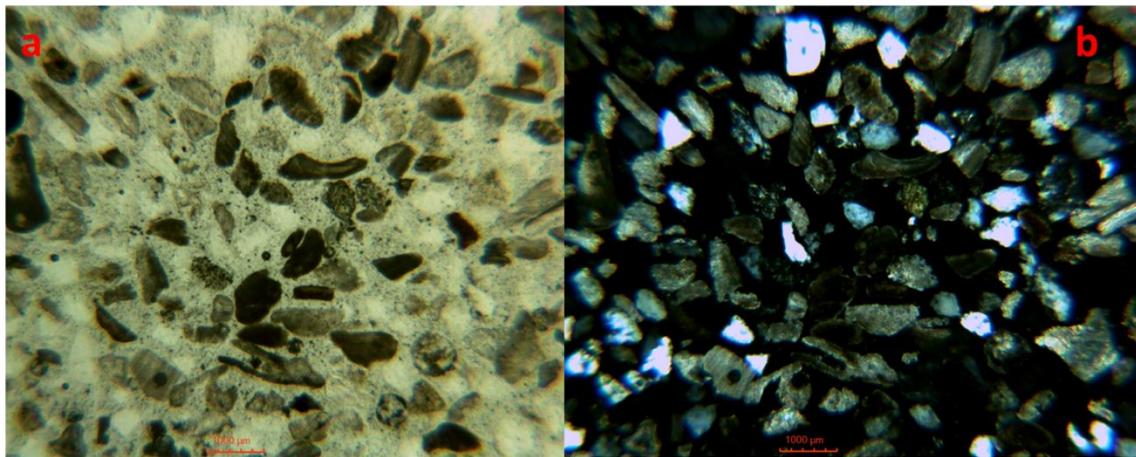


Figura 121. Campo de la muestra. Playa El Palmar Mesoplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

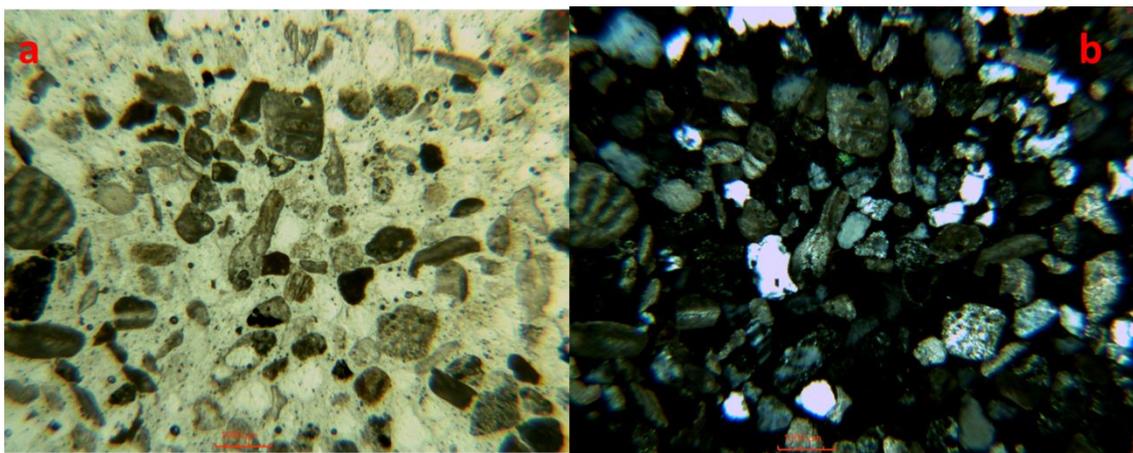


Figura 122. Campo de la muestra. Playa El Palmar Supraplaya donde se observan biógenos en su mayoría, aunque también se identificaron cuarzos, fragmentos de roca y epidotas (objetivo de 2.5X). a) Sección delgada vista con luz polarizada. b) Sección delgada vista con nicols cruzados.

## **6. Geoquímica**

La geoquímica es una especialidad de las ciencias naturales que sobre la base de la geología y de la química, estudia de que está compuesto y como funciona nuestro planeta; determina la abundancia absoluta y relativa, distribución y migración de los elementos químicos entre las diferentes partes que conforman la Tierra (Hidrosfera, Atmósfera, Biosfera y Geosfera); trabaja en las transformaciones de los minerales y rocas componentes de la corteza terrestre, con el propósito de establecer leyes o principios en las cuales se basa tal distribución (SGM, 2017).

### **6.1. 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. Para que dicho fenómeno suceda se debe someter al elemento a una fuente de alta energía, en este caso rayos X. Dicha energía provoca 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) (Fig. 123).

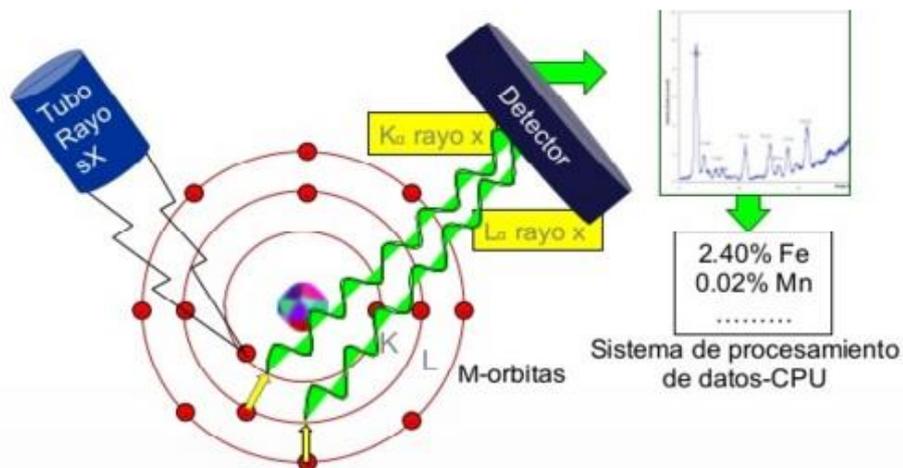


Figura 123. En la imagen se muestra el tipo de gráfico obtenido a partir del cual se realizan las interpretaciones de una muestra analizada. Tomada de <http://es.slideshare.net/OlympusIMS/analizadores-geoquimicos-de-frx>, 12 ago. 2014.

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 cantidades anómalas de elementos, 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 muestra, o elementos traza, los cuales están presentes en proporciones menores al 0.01% del porcentaje en peso en la muestra.

El análisis de las 24 muestras, se efectuó en el LFRX del instituto de Geología, donde se dispone de un espectrómetro secuencial de rayos X (Siemens SRS 3000) equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 micras. Ésta técnica se realizó para la determinación de elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P) y elementos traza (Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Th y Pb).

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

## 6.2. Elementos mayores

El análisis de elementos mayores muestra la presencia de los siguientes elementos como óxidos: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P. Estos elementos son los que fueron detectados. El porcentaje de error es menor al 1% para este análisis.

En la preparación de la muestra el primer paso es el secado de estas, se colocaron en vasos de precipitados de 50 mililitros, los cuales se rotularon para mantener el orden de las muestras. Para eliminar la humedad presente en las muestras fueron colocadas en una estufa a una temperatura constante de 110°C durante aproximadamente hora y media (Fig. 124). Una vez eliminada la humedad presente, se deben moler las muestras, para lo cual se utilizó un mortero seco en el cual se vierte la muestra para molerla hasta quede con una textura como de harina.



*Figura 124. Estufa que se utilizó para el secado de las muestras. . Tomada en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.*

Es necesario realizar el cálculo para obtener la pérdida de material por calcinación para poder confirmar que la suma de los datos obtenidos en el

análisis este correcto y nos proporcione el 100% de la muestra. Este parámetro se obtuvo realizando calcinando 1 gramo de muestra a 950°C durante una hora.

Lo siguiente para el análisis es la mezcla de 8 gramos de Borato-Tetraborato de Litio en relación 1/1 con 0.4 gramos de cada muestra. Esta mezcla fue llevada a un hornillo de fusión fluxy (Fig. 125), el cual está formado por crisoles de platino y oro. En estos crisoles se coloca la muestra, la cual es calentada a 1100°C durante 15 minutos, este sistema es automático y opera con tres quemadores.



Figura 125. Hornillo de fusión (Mod. Fusión, fluxy claïsse). Tomada en el Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X, Instituto de Geología.

Por último, se obtuvieron tabletas 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.

### **6.3. 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. Estos elementos son los que fueron detectados. El error estimado en este análisis es menor al 4%.

Para analizar los elementos traza se realizó el mismo procedimiento de secado que en los elementos mayores, después se hizo una mezcla de 5 gramos de

muestra con 1.6 gramos de cera-C en micropolvo y 0.4 gramos de aglutinante. Dicha mezcla se colocó en una prensa hidráulica durante 20 segundos y se le aplicó una presión de 25 toneladas para obtener de esta manera las tabletas para ser analizadas. 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.

#### 6.4. Tablas de resultados

##### Elementos mayores

Elementos mayores												
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P x C	Suma
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
P. PAPANOA INFRA	72.376	0.302	10.706	2.561	0.051	1.501	4.6	2.883	2.573	0.078	2.52	100.151
P. PAPANOA MESO	69.992	0.956	10.911	5.748	0.121	2.202	4.683	2.636	1.851	0.112	0.96	100.172
P. PAPANOA SUPRA	16.1	10.743	4.41	61.379	0.617	1.85	3.422	0.606	0.215	0.189	-1.59	97.941
P. LINDA INFRA	72.369	0.506	12.31	3.434	0.063	1.236	2.574	3.143	3.052	0.092	1.45	100.229
P. LINDA MESO	69.863	0.87	12.012	5.128	0.096	1.46	3.353	2.925	2.77	0.11	1.64	100.227
P. LINDA SUPRA	71.392	0.579	11.98	4.247	0.077	1.442	3.237	2.906	2.681	0.102	1.59	100.233
P. GATAS INFRA	14.868	0.193	3.509	0.915	0.02	1.269	42.111	1.758	0.426	0.25	34.77	100.089
P. GATAS MESO	8.635	0.111	2.21	0.564	0.018	1.148	47.181	1.269	0.212	0.111	38.7	100.159
P. GATAS SUPRA	12.466	0.156	3.147	0.899	0.022	1.059	44.498	1.551	0.284	0.121	35.96	100.163
P. MUNICIPAL INFRA	55.494	0.522	11.754	4.291	0.071	1.018	14.427	2.767	1.473	0.166	8.22	100.203
P. MUNICIPAL MESO	53.806	0.299	10.494	2.129	0.041	1.21	15.609	3.593	1.254	0.161	11.58	100.176
P. MUNICIPAL SUPRA	56.637	0.461	11.851	3.542	0.062	1.167	13.277	3.403	1.439	0.142	8.22	100.201
P. EL PALMAR INFRA	41.475	0.121	3.777	0.917	0.023	1.495	26.301	1.463	0.778	0.208	23.67	100.228
P. EL PALMAR MESO	50.015	0.203	4.759	1.293	0.029	1.341	20.886	1.698	0.851	0.214	18.92	100.209
P. EL PALMAR SUPRA	47.389	0.228	4.589	1.476	0.033	1.208	22.634	1.55	0.737	0.211	19.99	100.045
P. LA ROPA INFRA	22.952	0.142	4.06	0.843	0.021	1.269	37.263	2.008	0.586	0.145	30.99	100.279
P. LA ROPA MESO	19.482	0.126	3.4	0.735	0.02	1.52	39.443	1.56	0.464	0.136	33.26	100.146
P. LA ROPA SUPRA	21.747	0.13	3.59	0.82	0.02	1.129	38.49	1.608	0.491	0.134	32.08	100.239
BARRA POTOSI INFRA	73.271	0.156	10.416	1.413	0.028	0.731	4.823	2.621	3.113	0.064	3.51	100.146
BARRA POTOSI MESO	76.342	0.229	10.567	2.046	0.04	0.984	2.744	2.738	2.839	0.07	1.61	100.209
BARRA POTOSI SUPRA	76.219	0.174	10.886	1.551	0.03	0.699	2.65	2.762	3.25	0.063	1.89	100.174
P. LA MADERA INFRA	45.644	0.302	8.522	2.024	0.039	1.243	21.015	3.036	1.022	0.195	17.19	100.232
P. LA MADERA MESO	46.061	0.275	8.346	1.915	0.035	1.192	21.297	2.785	0.998	0.189	17.18	100.273
P. LA MADERA SUPRA	40.998	0.258	7.142	1.868	0.036	1.074	24.415	2.674	0.864	0.171	20.53	100.03

Tabla 10. Resultados de los análisis de Fluorescencia de rayos x. Elementos Mayores.

## Elementos traza

Elementos Traza														
	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
P. PAPANOA INFRA	59	292	673	16	78	10	42	55	24	23	20	19	4	6
P. PAPANOA MESO	41	278	591	22	206	16	111	209	38	20	11	35	10	6
P. PAPANOA SUPRA	4	142	11	45	6594	90	1536	5117	460	9	3	194	80	8
P. LINDA INFRA	94	231	612	22	114	10	67	20	15	14	18	52	6	12
P. LINDA MESO	86	255	605	25	200	15	103	83	21	15	17	63	7	13
P. LINDA SUPRA	83	253	564	23	112	15	77	30	21	16	18	61	5	13
P. GATAS INFRA	7	3620	353	4	175	1	14	62	10	7	18	4	2	6
P. GATAS MESO	4	3539	312	2	148	1	6	3	10	3	6	4	2	5
P. GATAS SUPRA	5	3272	314	3	148	1	13	40	9	6	7	4	3	7
P. MUNICIPAL INFRA	31	727	530	17	120	5	80	116	20	12	31	34	3	12
P. MUNICIPAL MESO	27	1020	476	16	101	1	38	33	23	10	14	19	4	11
P. MUNICIPAL SUPRA	31	761	489	17	106	7	64	49	23	11	21	31	2	13
P. EL PALMAR INFRA	19	1862	433	21	105	1	11	352	14	8	9	4	2	6
P. EL PALMAR MESO	20	1484	418	22	99	1	21	229	22	8	8	4	2	7
P. EL PALMAR SUPRA	18	1538	337	22	101	1	24	80	17	7	12	6	2	9
P. LA ROPA INFRA	12	2370	365	10	118	1	10	96	10	5	15	4	3	7
P. LA ROPA MESO	10	2518	317	8	117	1	8	3	7	5	6	4	2	5
P. LA ROPA SUPRA	11	2460	343	9	122	1	10	21	12	6	6	4	2	6
BARRA POTOSI INFRA	75	347	775	15	64	5	19	4	11	11	14	13	4	8
BARRA POTOSI MESO	71	240	769	15	66	9	33	48	20	12	9	18	4	8
BARRA POTOSI SUPRA	82	252	825	14	56	14	24	11	22	10	10	14	4	9
P. LA MADERA INFRA	22	1448	438	17	119	1	32	138	17	10	17	14	3	9
P. LA MADERA MESO	22	1448	405	18	113	1	30	15	17	9	13	13	2	9
P. LA MADERA SUPRA	18	1478	366	15	103	1	28	10	14	9	12	11	4	8

Tabla 11. Resultados de los análisis de Fluorescencia de rayos x. Elementos traza.

## **7. Discusión de resultados**

### **7.1. Sedimentología**

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis sedimentológico, las playas de arenas finas y bien clasificadas son mayoría, a estas corresponden, playa Linda en sus zonas de meso y supraplaya, playa Municipal en mesoplaya, Barra Potosí en supraplaya, playa Papanoa en meso y supraplaya, playa La Madera en las tres zonas de playa, y playa El Palmar en las tres zonas de playa; la zona

de infraplaya de playa Linda presenta arenas medias muy bien clasificadas; por otro lado, tenemos arenas medias bien clasificadas en la zona de supraplaya de playa Las Gatas y en la zona de mesoplaya de Barra Potosí; arenas medias moderadamente clasificadas en la zona de mesoplaya de playa La Gatas, en la zona de supraplaya de playa Municipal, en la zona de infraplaya de Barra Potosí y en las tres zonas de playa La Ropa; también, arenas medias mal clasificadas en la zona de infraplaya de playa Municipal, arenas gruesas mal clasificadas en la zona de infraplaya de playa Papanoa y gravas moderadamente clasificadas en playa Las Gatas.

El principal mecanismo de transporte es el de saltación en mayor proporción, seguido de suspensión y en mucho menor medida el de rodamiento.

## **7.2. Petrografía**

Los resultados obtenidos en la observación que se le hizo a las muestras en el microscopio y de acuerdo con el conteo de puntos arrojó que las muestras de las playas analizadas corresponden con litarenitas de acuerdo a la clasificación de Pettijohn, F.

Se identificó que, debido a la geología del área, las playas varían en cuanto a la proporción mineralógica encontrada, es decir, todas las playas presentan la misma composición, pero en diferente proporción. Hubo muestras en las que se agruparon la epidota y la clorita dentro de los ferromagnesianos debido a que la cantidad de estos minerales era mínima.

Las únicas playas en las que se contempló por separado a la epidota y la clorita fueron Playa Papanoa y playa Linda debido a la gran cantidad que contenía de estos minerales, la alta cantidad de epidota y clorita en las muestras puede estar asociado a que cerca de la playa aflora el complejo de Las Ollas y la Formación Lagunillas.

En la bahía de Zihuatanejo, playa Municipal, playa La Madera y playa La Ropa, se componen en su mayoría de fragmentos de roca y biógenos, la alta proporción de fragmentos de roca en las muestras puede estar asociado a las sucesiones sedimentarias del conjunto de la Unión-Zihuatanejo, la cual está compuesta principalmente de fragmentos de los conjuntos adyacentes a éste, como Playa

Hermosa y El Camalote; mientras que, los biógenos se asocian a la presencia de arrecifes en la bahía.

Por otro lado, playa Las Gatas cuenta con una gran cantidad de biógenos debido a que cuerpos arrecifales se encuentran muy próximos a la costa.

### **7.3. Geoquímica**

Los resultados arrojados por los análisis geoquímicos arrojan valores elevados de ciertos elementos, algunos de estos valores elevados son hasta cierto punto evidente, por la geología de la zona, por la dinámica costera, por la presencia de organismos y alteraciones, entre otros fenómenos.

En el caso del enriquecimiento de sílice en playa Linda, playa Papanoa y Barra Potosí está directamente relacionado con la procedencia de los sedimentos, la geología de la zona da en gran medida aporte de sedimentos ricos en sílice, debido a los cuerpos graníticos del Eoceno que se encuentran en la región. Cuando el área de procedencia es granítica la relación potasio/sodio se incrementa mientras que en el caso de playa Papanoa, esta relación se invierte, debido a la influencia de rocas básicas presentes en la zona.

En el caso del alto enriquecimiento de Calcio (Ca) y Estroncio (Sr) en playa Las Gatas y playa La Ropa se debe a la abundante presencia de restos de biógenos gracias a los arrecifes que se encuentran cerca de la costa. Debido a la afinidad química entre el Calcio y el Estroncio es que se encuentran en altas concentraciones, son elementos que se sustituyen frecuentemente, es decir, altas concentraciones de Calcio, implica altas concentraciones de Estroncio.

Además, se encontraron altas concentraciones de Hierro (Fe), Titanio (Ti), Circonio (Zr), Neodimio (Nb), Vanadio (V), Cromo (Cr), Cobalto (Co) y Zinc (Zn), en la zona de supraplaya de Papanoa; a su vez, se encontraron concentraciones importantes de Bario (Ba), Rubidio (Rb) y Plomo (Pb). En las zonas de infra y mesoplaya de El Palmar resalta el alto contenido de cromo (Cr); y por último, destaca el alto contenido de Rubidio (Rb) y de Bario (Ba) en Barra Potosí.

## **8. Conclusiones**

Los factores geológicos, biológicos, antropogénicos y climáticos ocurren y siempre serán fenómenos que modificaran las características de un ambiente sedimentario, dentro de los análisis que se realizaron se pudieron identificar variaciones sedimentológicas, petrográficas y geoquímicas, tan solo se describen los resultados para poder conocer los parámetros de dichos análisis de cierto periodo de tiempo.

La importancia de estudiar las características composicionales de sedimentos en ambientes recientes es que brinda información acerca de una parte fundamental en el ciclo geológico, permite la comprensión de los fenómenos asociados con la erosión, transporte y depósito, sus relaciones con factores como la tectónica, el clima, el relieve, la dinámica costera, así como, las implicaciones científicas, sociales, ambientales y económicas.

Sedimentología: se determinó un amplio dominio de arenas finas bien clasificadas, mientras que el mecanismo de transporte que predomina es el de saltación y suspensión principalmente

Petrografía: de acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que las muestras caen dentro del campo de Litarenitas, propuesto por Pettijohn, F. Dentro de la mineralogía encontrada en las muestras, hay cuarzo, feldespato, fragmentos de roca, clorita, epidota, minerales opacos, ferromagnesianos y restos de organismos.

Geoquímica: los resultados de los elementos con concentraciones importantes son de Hierro (Fe), Titanio (Ti), Circonio (Zr), Neodimio (Nb), Vanadio (V), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Zinc (Zn), Bario (Ba), Rubidio (Rb) y Plomo (Pb) en Papanoa; Cromo (Cr) en playa el Palmar; y por último, Rubidio (Rb) y de Bario (Ba) en Barra Potosí.

Siempre existirán detalles dentro de un estudio o un análisis que resultaran interesantes para cuestionar o profundizar, el hecho de haber realizado un trabajo en el que se analiza la sedimentología, la petrografía y la geoquímica de muestras de arenas de playa resulta desde cierto punto de vista algo complejo, se pueden analizar muestras de un cierto día, y dentro de un mes esos

parámetros obtenidos habrán cambiado, se trata de generar parámetros en diversos periodos de tiempo para poder observar cómo van cambiando las características de la playa, es por eso que nunca será suficiente uno, dos, ni tres estudios, pero generar resultados de un mismo sitio a lo largo del tiempo podrán permitir realizar interpretaciones precisas e importantes para poder entender de manera más detallada los procesos que ocurrieron en la zona.

## **9. Recomendaciones/ comentarios finales**

Existen varios temas dentro de este trabajo en los cuales se podría profundizar más para poder tener una interpretación y en general un trabajo más detallado, sin embargo, los objetivos del trabajo no eran esos y se limitó a dar a conocer los parámetros sedimentológicos, geoquímicos y petrográficos de las playas que se analizaron.

Uno de los fines de este trabajo, es que sea un apoyo para aquellos proyectos sociales, ecológicos, geotécnicos, hidrogeológicos, etc., con el fin de poder proveer información para poder obtener parámetros y así, poder tener datos para comparar los nuevos resultados y poder planificar los proyectos.

Por otra parte, se puede realizar un muestreo más a fondo, colectando un mayor número de muestras en puntos específicos para poder hacer una interpretación más precisa y detallada con respecto a los valores obtenidos en este trabajo. Debido a que, el hecho de contar con más muestras permitiría tener mejores resultados en los cálculos sedimentológicos que se obtienen por medio de estadística.

## **Referencias**

### **Libros, artículos y tesis.**

- Bjorlykke, K., (1984), *Formation of secondary porosity: How important is it? in: Mcdonald, D.A. and Surdam R.C. eds., Clastic diagenesis: American Association of Petroleum Geologists. Memoir 37, p. 277-288.*
- Bjorlykke, K. (1993), *Fluid flow in sedimentary basins. Sedimentary Geology, 86(1-2), 137-158.*
- Cabrera-Ramirez, M., Carranza- Edwards, A., (2002), *The beach environment in Mexico as a potential source of placer minerals. Marine Georesources and Geotechnology, 20(3), 187-198.*
- Carranza-Edwards A., Marquez-García, A., y Morales de la Garza, E. A., (1985), *Estudio de sedimentos de plataforma continental del estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos minerales del mar. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Contribución 465, 241-262.*
- Carranza-Edwards A. (2001), *Grain size and sorting in modern sands. J. Coast. Res. 17: 38–52.*
- Consejo de Recursos Minerales, (1999), *Texto guía de carta magnética “ZIHUATANEJO” E14-7-10, Estado de Guerrero, Escala 1:250,000, Secretaría de comercio y fomento industrial coordinación general de minería.*
- Davis, R. A., and Fitzgerald, D. M., (2004), *Beaches and Coast, Oxford, UK, Blackwell Science Ltd, 419pp.*
- Estado de Guerrero, (2014), *Plan Director de Desarrollo Urbano de Zihuatanejo-Ixtapa, Guerrero 2015-2030.*
- Folk, R. R, (1974), *Petrology of sedimentary rocks, Austin Texas, Heemphill publishing company 182pp.*
- Folk, R. R., (1980). *Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Texas.*
- Folk, R.L. and Ward, W.C., (1957), *Brazos River bar: a study in the significance of grain parameters. Journal of Sedimentary Petrology 27: 3-26.*
- Friedman GM., Sanders JR. (1978), *Principles of Sedimentology. Wiley: New York.*
- García, E., (CONABIO), (1998), *Climas, Esc. 1: 1, 000,000, México.*

- Goguitchaichvili, A., Ramírez-Herrera, M. T., Calvo-Rathert, M., Aguilar Reyes, B., Caballero, C., y Morales-Contrera, J., (2013), *Magnetic fingerprint of tsunami-induced deposits in the Ixtapa–Zihuatanejo Area, Western Mexico, International Geology Review.*
- Kasper-Zubillaga, J. J., and Carranza-Edwards, A., (2005), *Grain size discrimination between sands of deserts and coastal dunes from northwestern Mexico, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22(3), 383-390.*
- Kasper-Zubillaga, J. J., Ortiz-Zamora, G., Dickinson, W. W., Urrutia-Fucuguachi, J., and Soler-Arechalde, A., (2006), *Textural and compositional control on modern beach and dune sands, New Zealand, Earth surface processes and landforms, 32(3), 366-389.*
- Kasper-Zubillaga, J. J., Carranza-Edwards, A. y Morales de la Garza, E., (2007), *Caracterización textural de la arena de playa del Golfo de California, Mexico, Implicaciones para los procesos costeros y el relieve, Ciencias Marinas, 33(1), 83-94.*
- Kasper-Zubillaga, J. J., (2009), *Roundness in quartz grains from inland and coastal dune sands, Altar Desert, Sonora, Mexico, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61(1), 1-12*
- Keller, A., (1996), *Environmental Geology, Prentice Hall, 560p.*
- Komar, P. D., (1976), *Beach processes and sedimentation, New Jersey, Prentice Hall, 429pp.*
- Lett, L. & Judson, S. (1995): *Fundamentos de la geología física, Limusa Noriega ediciones.*
- Lugo-Hubp, J., (1990), *El Relieve de la República Mexicana, UNAM, Instituto de Geología, revista vol. 9, p. 82-111.*
- Mariani, C., Pompeo, M., (2008), *La calidad del sedimento: la contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos. Revista Ciencia Hoy, 18(107): 48-53.*
- Martini, M., (2009), *Estratigrafía, deformación y magmatismo de la región comprendida entre Huetamo y Zihuatanejo (Michoacán, Guerrero): implicaciones para la evolución tectónica del sur de México durante el Cretácico y el Terciario temprano, Tesis UNAM, Posgrado en Ciencias de la Tierra,*

- Martini, M., Ferrari, L., López-Martínez, M. and Valencia, V., (2010), *Stratigraphic redefinition of the Zihuatanejo area, southwestern Mexico*, *Revista de Ciencias Geológicas*, 27(3), 412-430.
- Martini, M., Mori, L., Centeno, E., (2011), *Sandstone Provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, Central Mexico): Late Jurassic–Early Cretaceous Back-Arc Spreading as the Foundation of the Guerrero Terrane*, *Chicago Journals*.
- Meléndez, C. y Camacho, A. (2009), *Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X*, *Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Químicas*.
- McKinney Thomas F. and Friedman Gerald M., (1970), *Continental shelf sediments of Long Island, New York*. *Journal of Sedimentary Research*; 40 (1): 213–245
- Morán Zenteno, D., (1984), *Geología de la República Mexicana*. INEGI, *Facultad de Ingeniería, UNAM*, 88p.
- NOM-047-SSA1-2011, (2018), *Salud ambiental-Índices biológicos de exposición para el personal ocupacionalmente expuesto a sustancias químicas*, *Diario Oficial de la Federación*.
- NOM-001-ECOL-1996, (1997), *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*, *Diario Oficial de la Federación*.
- Pettijohn, F. (1957), *Sedimentary Rocks*. - Harper & Row Publishers.
- Pettijohn, F. J. (1970), *Rocas Sedimentarias*, 2nd ed., CECOSA.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1973), *Sand and sandstone*.
- Ramírez-Herrera, M. T., and Urrutia-Fucugauchi, J., (1999), *Morphotectonic zones along the coast of the Pacific continental margin, southern Mexico*, *Geomorphology*, 28, 237-250.
- Ramírez-Herrera, M. T., Cundy, A., Kostoglodov, V., Carranza-Edwards, A., Morales de la Garza, E., and Metcalfe, S., (2007), *The sedimentary record of Late-Holocene relative sea-level change and tectonic deformation from the Guerrero Seismic Gap, Mexican Pacific Coast Holocene*, 17(8), 1211-1220.
- Rivera-Carranza, E., Aguilera-Martínez, M. A., y Vergara-Martínez, A., (1999), *Carta Geológico-Minera Zihuatanejo E14-7-10, Guerrero, Esc. 1: 250,000, Pachuca, Hidalgo, México, SGM, 1 mapa*.

- Rosales-Hoz, L., (1995), *La química del mar, Profesores al día*.
- Rosales-Hoz, L. and Carranza-Edwards, A., (1995), *Geochemistry of two Mexican tropical basins in an active margin and their influence on litoral sediments, Journal of South American Earth Science, 8(2), 221-228.*
- Rose, A., *Geochemistry in mineral exploration, second edition, Academic Press.*
- Sánchez-Zavala J. L. y Centeno-García, E., (2000), *Sedimentos terrígenos de grano fino. Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica, Mexico, Instituto de Geología, UNAM.*
- SECTUR, (2012), *Vulnerabilidad del Destino Turístico Ixtapa-Zihuatanejo, Fondo Sectorial CONACYT-SECTUR, proyecto Clave: 165452*
- Servicio Geológico Mexicano, (1999), *Monografía Geológico-Minera del Estado de Guerrero: Pachuca, Hidalgo, México, 262pp.*
- Talavera- Mendoza, O. and Guerrero-Suástegui, M., (2000), *Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implications for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the Late Mesozoic, Journal of American Earth Science Publications, 312p.*
- Varela-González, G., (2007), *Estudio geológico ambiental del cromo, Tesis UNAM, Facultad de Ingeniería.*
- Vera-Torres, J. A., (1994), *Estratigrafía: Principios y Métodos, Madrid, Rueda.*
- Vidal-Serratos, R., (1991), *Estratigrafía y tectónica de la región de Zihuatanejo, Estado de Guerrero, Sierra Madre del Sur. Convención sobre la evolución geológica de México, Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, México, 231-233.*
- Visher, G. S., (1969), *Grain size distributions and depositional processes. Journal of Sedimentary Research, 39(3).*
- Wentworth Chester K., (1922), *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology Vol. 30, No. 5 pp. 377-392.*

### **Internet**

- *Análisis no destructivo de compuestos químicos (Fluorescencia de rayos X).* <https://www.liddidactic.de/software/524221es/Content/ExperimentExamples/Physics/SolidStatePhysics/P7511.htm>. Consultado el 28 de febrero del 2018.
- *Calidad y evaluación ambiental, (2018),* <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/>, consultado el 17 de marzo de 2018.

- Altuzar, P., *Fundamento teórico de la Fluorescencia de Rayos-* (WDFRX), [http://xml.ier.unam.mx/xml/ms/Doctors/Fundamentos\\_FRX.pdf](http://xml.ier.unam.mx/xml/ms/Doctors/Fundamentos_FRX.pdf). Consultado el 27 de febrero del 2018.
- González, Sonia, (2014): *Analizadores Geoquímicos de FRX Olympus Geochemistry – International Mining Group (IMG)*. <https://es.slideshare.net/OlympusIMS/analizadores-geoquimicos-de-frx>. Consultado el 27 de febrero del 2018.
- INEGI, (2005), *Cuaderno Estadístico José Azueta, Guerrero*, <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem05/info/gro/m038/mapas.pdf>, Consultado el 27 de abril del 2018
- INEGI, (2009), *Continuo de Elevaciones Mexicano*, INEGI. <http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977>. Consultado el 2 de abril del 2018.
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (2007) *Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio*. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p70. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat\\_ssa1-2004.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1392/1/nom-147-semarnat_ssa1-2004.pdf)
- Servicio Geológico México, (2016), *Panorama Minero del Estado de Guerrero*, <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/GUERRERO.pdf>, Consultado el 19 de abril del 2018.
- Servicio Geológico Mexicano, (2017). <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Geoquimica/Introduccion-geoquimica.html>. Consultado el 12 de marzo del 2018.
- Servicio Geológico Mexicano, (2017). <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Petrografia.html>. Consultado el 12 de marzo del 2018.