



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES

***“GRANULOMETRÍA Y GEOQUÍMICA DE ARENA DE DOS PLAYAS
Y LODOS DE PLATAFORMA DEL GOLFO DE MÉXICO:
IMPLICACIÓN DE PROCEDENCIA”***

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO AMBIENTAL

PRESENTA:

BARBARA YANETH PÉREZ ALVARADO

DIRECTOR INTERNO DE TESIS:

M. EN C. HÉCTOR JESÚS TAPIA FERNÁNDEZ

DIRECTOR EXTERNO DE TESIS:

**DR. JOHN S. ARMSTRONG-ALTRIN,
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA UNAM**

MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO, 2014

DEDICATORIA

A mis padres que me apoyaron todo el camino para culminar con éxito mis estudios de licenciatura, gracias por la paciencia y esfuerzo que me brindaron.

Al Dr. John Armstrong-Altrin por invitarme a formar parte de este proyecto y su apoyo en este trabajo de investigación.

Al M en C. Héctor Jesús Tapia Fernández quien me brindo todo su apoyo, conocimientos y amistad muchas gracias Héctor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT con clave de proyecto IA101213 por el financiamiento para la realización de esta tesis.

Agradezco al Dr. John S. Armstrong-Altrin por invitarme a trabajar con él, por el apoyo que me brindo en la elaboración de mi tesis, por la paciencia que me tuvo y por compartir sus conocimientos.

Agradezco al proyecto PAPIIT numero IA101213 titulado “Petrografía y Geoquímica de arenas de playas de diferentes ambientes tectónicos de México: implicaciones de procedencia” otorgados por el Dr. John S. Armstrong-Altrin del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM con la finalidad de realizar el trabajo de campo y análisis geoquímicos.

Agradezco al Maestro en Ciencias Héctor Jesús Tapia Fernández por todo el apoyo brindado, por ayudarme con todas mis dudas, orientarme en cada paso de la elaboración de esta tesis y por brindarme su amistad.

Agradezco al Químico Rufino Lozano, responsable del laboratorio de Fluorescencia de Rayos X del Departamento de Geoquímica del Instituto de Geología de UNAM, por el apoyo brindado para los análisis geoquímicos.

Agradezco al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por permitirme desarrollar mi tesis en el Laboratorio de Geoquímica.

Agradezco a mis compañeros del laboratorio de Geoquímica del ICMYL por apoyarme en la realización de mi trabajo, y por hacer más ameno el camino, gracias Natalhy, Elisa, Claudia, Leo, Hugo, Héctor, Elisandra.

Agradezco a mis catedráticos que impartieron su conocimiento durante mis estudios.

Gracias a los integrantes del comité revisor: Dr. Kinardo Flores, Dr. Marius Ramírez, Dr. Enrique Cruz, M en C. Misael Cruz, Ing. Ramón Lugo, Ing. José Alfredo Meneses, por aceptar revisar mi trabajo.

Agradezco a mis amigos de la escuela Roma, Roberto, Fanny, Gama, Nazim, Eva, Ulises y mis demás compañeros, por formar parte de mi vida y hacer divertida la escuela.

Agradezco a mis amigos de siempre Dannie, Eunice, Alexandra, Monze, Daniel, Cesar, Eric, por siempre estar conmigo y apoyarme en todo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1.1 ANTECEDENTES	10
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
2.1 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	13
2.2 HIDROLOGÍA.....	15
2.3 GEOLOGÍA.....	19
2.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL DE VERACRUZ	21
2.4 AMBIENTE TECTONICO	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 TRABAJO DE CAMPO	29
3.2 TRABAJO DE LABORATORIO	30
3.2.1 PARÁMETROS TEXTURALES.....	31
3.3 GEOQUÍMICA.....	34
3.3.1 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1 GRANULOMETRÍA.....	40
4.2 AMBIENTE SEDIMENTARIO	43
4.3 GEOQUÍMICA.....	46
4.3.1 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES	46
4.3.3 GEOQUÍMICA DE TIERRAS RARAS	63
4.4 PROCEDENCIA	70
4.4.1 AMBIENTE TECTÓNICO.....	73
CONCLUSIONES	75
REFERENCIAS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Localización del área de estudio.....	14
<i>Figura 2</i> Mapa Hidrológico del estado de Veracruz. (Base de datos tomado de INEGI).	16
<i>Figura 3</i> Cuenca del río Coatzacoalcos (Base de datos tomada de INEGI).	17
<i>Figura 4</i> Cuenca del río Tuxpan (Base de datos tomada de INEGI).	18
<i>Figura 5</i> Mapa geológico del área de estudio (Base de datos tomada de Servicio Geológico Mexicano).....	26
<i>Figura 6</i> Límites de playa, modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994.	29
<i>Figura 7</i> Nucleador Reineck utilizado para coleccionar lodos. Campaña oceanográfica Facies I, B/O Justo Sierra.	30
<i>Figura 8</i> Horno marca Riossa modelo H-2. Laboratorio de Geoquímica, ICML.	36
<i>Figura 9</i> Pulverizador Fritsch 2 de mortero de ágata. Laboratorio de Geoquímica, ICML.	36
<i>Figura 10</i> Diagrama binario $\sigma\phi$ /Ski de discriminación de ambiente sedimentario de Friedman (1967).	43
<i>Figura 11</i> Diagrama binario Ski ϕ / $\sigma\phi$ de discriminación de ambiente sedimentaria propuesto por Friedman (1967) y Moiola y Weiser (1968).	44
<i>Figura 12</i> Diagrama binario Mz ϕ /Ski ϕ de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Moiola y Weiser (1968) y Halls y Hoyt (1969).	45
<i>Figura 13</i> Diagrama normalizado de elementos mayores para las arenas de playa Coatzacoalcos, Playa Azul y los núcleos A, B, C, normalizados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).	46
<i>Figura 14</i> Relación entre Al_2O_3/TiO_2 vs SiO_3 para las arenas de playa Coatzacoalcos y Playa Azul, así como para los núcleos A, B y C (Le Bas et al., 1986) n= número de muestras.	48
<i>Figura 15</i> Diagrama binario SiO_2 vs Al_2O_3 para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos (A, B y C).	50
<i>Figura 16</i> Diagrama binario TiO_2 vs Al_2O_3 para las arenas de Playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y Núcleos A, B y C.	51
<i>Figura 17</i> Diagrama binario Fe_2O_3 vs TiO_2 para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B, y C.	52
<i>Figura 18</i> Diagrama binario MgO vs Fe_2O_3 para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B, y C.	53
<i>Figura 19</i> Clasificación geoquímica de arenas de playa (Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C) usando $\log (Na_2O/K_2O)$ vs $\log SiO_2/Al_2O_3$ (Pettijohn et al., 1972).	54
<i>Figura 20</i> Clasificación geoquímica de arenas de playa (Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C) usando $\log (Fe_2O_2/K_2O)$ vs $\log SiO_2/Al_2O_3$ (Herron, 1988).....	55
<i>Figura 21</i> Diagrama normalizado multielementos para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos (A, B y C), normalizados con el promedio de corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).	56
<i>Figura 22</i> Diagrama binario K_2O vs Rb para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.	60

Figura 23 Diagrama binario K_2O vs Ba para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.....	61
Figura 24 Diagrama binario Hf vs Zr para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.....	62
Figura 25 Diagrama spider para las arenas de playa Coatzacoalcos obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).....	66
Figura 26 Diagrama spider para las arenas de Playa Azul obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).....	66
Figura 27 Diagrama spider para los lodos de núcleos A, B y C obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).....	67
Figura 28 Diagrama ΣTR contra Al_2O_3 indicando las diferencias en las concentraciones de tierras raras de las arenas de playas Coatzacoalcos y Playa Azul así como los lodos de núcleos A, B y C...	68
Figura 29 Diagrama binario ΣTR contra Zr para las arenas y lodos del presente estudio.....	69
Figura 30 Diagrama de función discriminante para procedencia de sedimentos usando elementos mayores (Roser y Korsh, 1988). Las funciones discriminantes son: Función discriminante 1= $(-1.733 TiO_2) + (0.607 Al_2O_3) + (0.760 Fe_2O_3) + (-1.500 MgO) + (0.616 CaO) + (0.509 Na_2O) + (-1.224 K_2O) + (-9.090)$ Función discriminante 2 = $(0.445 TiO_2) + (0.070 Al_2O_3) + (-0.250 Fe_2O_3) + (-1.142MgO) + (0.438 CaO) + (1.475 Na_2O) + (-1.426 k_2O) + (-6.681)$. ¹ Armstrong-Altrin et al. (2012); ² Ramirez-Munóz (2012).	70
Figura 31 Diagrama de función discriminante propuesto por Armstrong-Altrin y Verma (2005)...	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros texturales (Coz = Coatzacoalcos). $Mz\phi$ = tamaño gráfico promedio, $\sigma\phi$ = desviación estándar, Ski = grado de asimetría, KG = curtosis. BC = arenas bien clasificadas, $MYBC$ = arenas muy bien clasificadas, $MOBC$ = arenas moderadamente bien clasificadas, MOC = arenas moderadamente clasificadas. CS = cercano a la simetría, OMG = oblicuidad muy gruesa, OG = oblicuidad gruesa, OF = oblicuidad fina.	40
Tabla 2. Parámetros texturales (Tux-tam = Playa Azul). $Mz\phi$ = tamaño gráfico promedio, $\sigma\phi$ = desviación estándar, Ski = grado de asimetría, KG = curtosis. BC = arenas bien clasificadas, $MYBC$ = arenas muy bien clasificadas, $MOBC$ = arenas moderadamente bien clasificadas, MOC = arenas moderadamente clasificadas. CS = cercano a la simetría, OMG = oblicuidad muy gruesa, OG = oblicuidad gruesa, OF = oblicuidad fina.	41
Tabla 3 Elementos mayores (%) en arenas de Coatzacoalcos (Coz), Playa Azul (T-TAM), núcleos (A, B y C), $Mz\phi$ tamaño grafico promedio, PXC = perdida por calcinación.	47
Tabla 4 Concentraciones de elementos traza (en ppm)	57
Tabla 5. Concentración de tierras raras (ppm).....	65

INTRODUCCIÓN

Los estudios sedimentológicos de la zona litoral son importantes debido a que la playa es una de las áreas más dinámicas, con una geomorfología que cambia en función de procesos marinos y continentales causando cambios en los tamaños y composición de los sedimentos que las constituyen (Montaño-Ley *et al.*, 1988). Muchos factores son responsables de los cambios que sufre esta zona: factores geológicos, físicos, biológicos, químicos y antropogénicos.

Las líneas litorales son ambientes muy dinámicos, su topografía, su composición geológica y su clima varían de un lugar a otro. Los procesos continentales y oceánicos convergen a lo largo de las costas y crean paisajes que con frecuencia experimentan cambios rápidos. Cuando se trata del depósito de sedimentos, constituyen zonas de transición entre los ambientes marinos y continentales.

Los parámetros granulométricos ha sido ampliamente utilizados en el reconocimiento de ambientes sedimentarios, entre estos están: la textura, el diámetro medio, desviación estándar y el grado de simetría (Carranza-Edwards, 1980).

Así mismo los tamaños de grano se relacionan con la fuente del material, la disponibilidad de arena y la distancia de transporte entre el área fuente y el ambiente de depósito. (Tapia-Fernández, 2013).

La textura, según Carranza-Edwards (1980), es el parámetro que más ha sido utilizado en estudios sedimentológicos, y se refiere al tamaño de las partículas que conforman el sedimento, el mismo que depende de varios factores, entre ellos su origen y su tamaño inicial, ya que dichos sedimentos tuvieron que haber sido transportados, por lo que su tamaño dependerá de los efectos de este transporte.

Uno de los parámetros más sensibles en el estudio de ambientes sedimentarios es el grado de asimetría, el mismo que depende de la dinámica que actualmente presentan las corrientes marinas; y en menor grado, de las características heredadas de las áreas fuentes (Villwock, 1978).

Los sedimentos terrígenos como las arenas de playa, son utilizados en estudios de procedencia, ya que aportan información valiosa acerca de la naturaleza de la roca y del ambiente tectónico en el cual se formaron (Kasper-Zubillaga *et al.*, 1999; Kasper-Zubillaga y Dickinson, 2001; Armstrong Altrin *et al.* 2004) los análisis geoquímicos de sedimentos clásticos son de gran importancia ya que aportan conocimiento sobre el origen, distribución y evolución de los elementos químicos de la tierra, contenidos en los minerales formadores de las rocas y en los productos derivados de ellas, así como la abundancia de los elementos en la naturaleza.

1.1 ANTECEDENTES

A lo largo de las costas mexicanas se han realizado trabajos enfocados al estudio de los sedimentos de playa. A continuación se mencionan algunos trabajos relacionados tanto con arena de playas como la metodología que se siguió en este trabajo de investigación.

Carranza-Edwards (1980) analizó los ambientes sedimentarios recientes de la Llanura Costera Sur del Istmo de Tehuantepec, en el cual observó que el ambiente fluvial y el de playa barrera exhiben mejores condiciones para la concentración de minerales pesados, relacionándolo con la alta energía de esos ambientes.

Martín-Barajas (1982) investigó la Playa Cayacal, del Estado de Guerrero, detectando un depósito de arenas titanoferríferas con una alta concentración de ilmenita, magnetita y zircón en la fracción de arenas de grano fino y además concluye que los sedimentos estudiados reflejan una área tectónicamente activa.

Martínez Bringas y Javier-Castro (1982) efectuaron un estudio sedimentológico regional del litoral de los estados de Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guerrero, observando que a mayor pendiente del frente de la playa corresponde un tamaño mayor del grano del sedimento, y así mismo señalan que regionalmente existe un predominio de litarenitas submarinas.

Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1995) realizaron un estudio sobre las tendencias en el tamaño de grano y la procedencia de las arenas de playa del suroeste del Golfo de México, donde basados en la red de drenaje y la fuente del sedimento, subdividieron a estas en dos grupos. El primero consiste en arenas procedentes de regiones donde predominan las rocas volcánicas y el segundo en arenas que proceden de rocas sedimentarias carbonatadas. Además mencionan que la proximidad de las fuentes volcánicas es la responsable del enriquecimiento de fragmentos rocosos que contienen las arenas de playas.

Kasper-Zubillaga y colaboradores, (1999) realizaron un estudio sobre características petrográficas y geoquímicas de arena de playa y dunas ubicadas en el oeste del Golfo de México donde encontraron que los modos de composición de estos sedimentos están influenciados por los agentes de transporte más dinámicos, presentando baja concentración de minerales densos y granos de cuarzo, además los resultados de los análisis geoquímicos revelaron que los sedimentos proceden de rocas ígneas, esto se debe a la descarga de los ríos que atraviesan secciones de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FTVM).

Fabián *et al.*, (1991) describen que la distribución del contenido de los metales-traza Cadmio, Manganeso y Niquel en los sedimentos del interior de la bahía muestra que se concentran sobre todo en los sedimentos finos. En zonas profundas alejadas de la costa. El comportamiento de su distribución hace pensar en una posible fuente de metales en la porción S de la bahía.

Armstrong-Altrin *et al.*, (2012) realizaron una investigación sobre procedencia de arenas a lo largo del Golfo de México donde concluyeron que; las diferencias composicionales de las arenas de playas implican que el aporte de sedimentos de río que se aporta a las arenas de la playa es el factor más importante que controla la composición geoquímica de arena de playa.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo permitirá aportar nuevo conocimiento sobre la sedimentología y geoquímica acerca de las arenas de las playas de Playa Azul y Coatzacoalcos del estado de Veracruz, con la finalidad de brindar información sobre los agentes que intervienen dentro del depósito de arena del ambiente sedimentario, el contenido mineralógico de las arenas de playa. Finalmente los resultados geoquímicos de elementos mayores y elementos traza (incluidas la tierras raras), serán usados para clasificar la roca fuente (básicas, intermedias, félsicas o sedimentarias), procedencia y definir el ambiente tectónico de la cuenca sedimentaria.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las arenas de playa azul y Coatzacoalcos así como los lodos de plataforma recientemente depositadas mediante la obtención de los parámetros texturales de las arenas de playa y el análisis geoquímico de elementos mayores, traza y tierras raras con el fin de obtener información sobre su procedencia y ambiente de depósito.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Caracterizar la granulometría y con ello los parámetros texturales de las arenas de playa para describir la sedimentología del ambiente de depósito, y los mecanismos de selectividad que mayor influencia tienen en su depósito.

2) Determinar las concentraciones de elementos mayores, traza y tierras raras con la finalidad de clasificar geoquímicamente a las arenas de playa y lodos de plataforma, mediante el análisis de Fluorescencia de Rayos X, con la finalidad de definir su procedencia y ambiente tectónico.

GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La playa de Coatzacoalcos se encuentra ubicada en la porción sur del Estado de Veracruz, ubicada dentro de los límites del municipio de Coatzacoalcos, donde colinda al norte con el Golfo de México, al suroeste con el municipio de Minatitlán, al suroeste con Ixhuatlán del Sureste, y finalmente al este con el municipio de Mundo Nuevo.

Se puede acceder al área de estudio desde la Ciudad de México a través de la carretera Federal No. 150, posteriormente incorporándose a la carretera Federal No. 145 hasta llegar a la ciudad de Minatitlán, finalmente se puede continuar por la carretera Federal No. 180 con dirección al municipio de Coatzacoalcos.

Playa Azul está ubicada en la porción norte del Estado de Veracruz dentro del municipio de Tuxpan, que colinda al norte con el municipio de Tamiahua, al oeste con Alto Lucero, al sur con Cazonces de Herrera, y finalmente al este con el Golfo de México.

De la Ciudad de México se puede llegar al tomar a la salida carretera Federal No. 85 México-Pachuca, posteriormente en dirección noreste se tiene que incorporar a la carretera Federal No. 130 México-Tuxpan sin cambio de dirección hasta llegar a Tuxpan Veracruz.

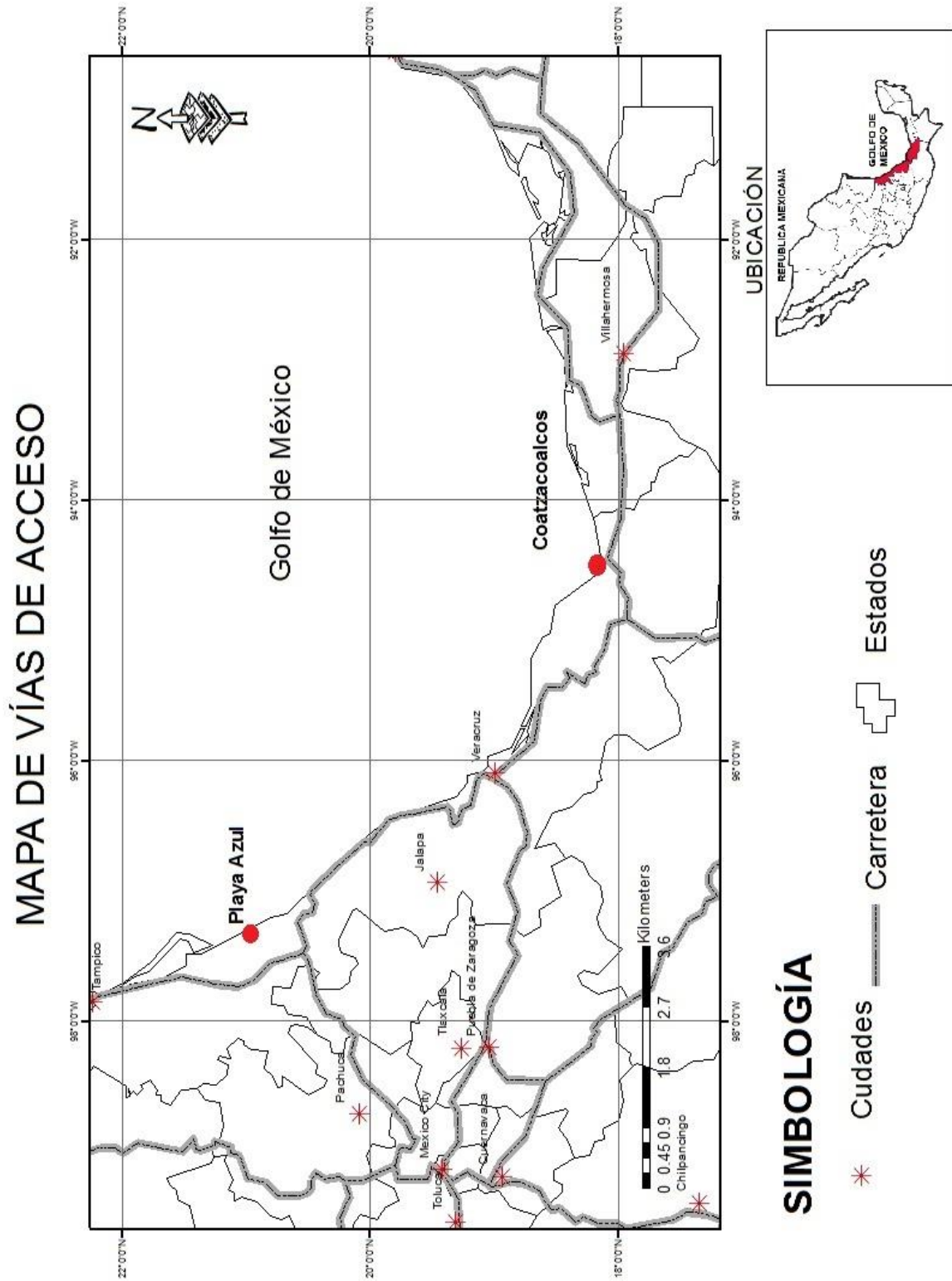


Figura 1 Localización del área de estudio.

2.2 HIDROLOGÍA

TUXPAN (PLAYA AZUL)

La cuenca del río Tuxpan dentro del Estado de Veracruz, se encuentra localizada geográficamente entre los 20°18' y 21°15' latitud norte, y entre 97°17' y 98°32' longitud oeste; tiene un área aproximada de 5 899 Km₂, distribuida entre los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Esta corriente nace en el estado de Hidalgo con el nombre de río Pantepec, a una elevación de 2750 msnm, al oeste del municipio Tenango de Doria; se forma con las aportaciones de los ríos Blanco y Pahuatlán. Aguas abajo de la confluencia del río Vinasco con el río Pantepec se le conoce a la corriente con el nombre de río Tuxpan. A la altura del poblado Rancho Nuevo, el río Tuxpan cambia la dirección de su curso hacia el norte hasta el poblado de Timbradero, sitio en el cual vuelve a cambiar su dirección hacia el oriente, formando una serie de meandros. Finalmente, el río Tuxpan desemboca al Golfo de México en el sitio denominado Barra de Tuxpan, en donde se forma por su margen derecha el estero Jácome (Pereyra y Pérez, 2005).

COATZACOALCOS

La cuenca del río Coatzacoalcos dentro del Estado de Veracruz se encuentra geográficamente entre los 16°38' y 18°22' latitud norte, y los 94°11' y 95°45' longitud oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 21 091 Km₂, distribuida entre los estados de Oaxaca y Veracruz.

El sistema hidrográfico del río Coatzacoalcos es el tercero de importancia en el país por su caudal, después de los sistemas Grijalva-Usumacinta y Papaloapan. Este sistema está constituido por importantes afluentes, entre los que destacan los ríos Uxpanapa, Jaltepec, Coachapa y Calzadas. Los primeros nacen en las sierras que delimitan el parteaguas del Istmo de Tehuantepec y el último en la sierra de Los Tuxtlas.

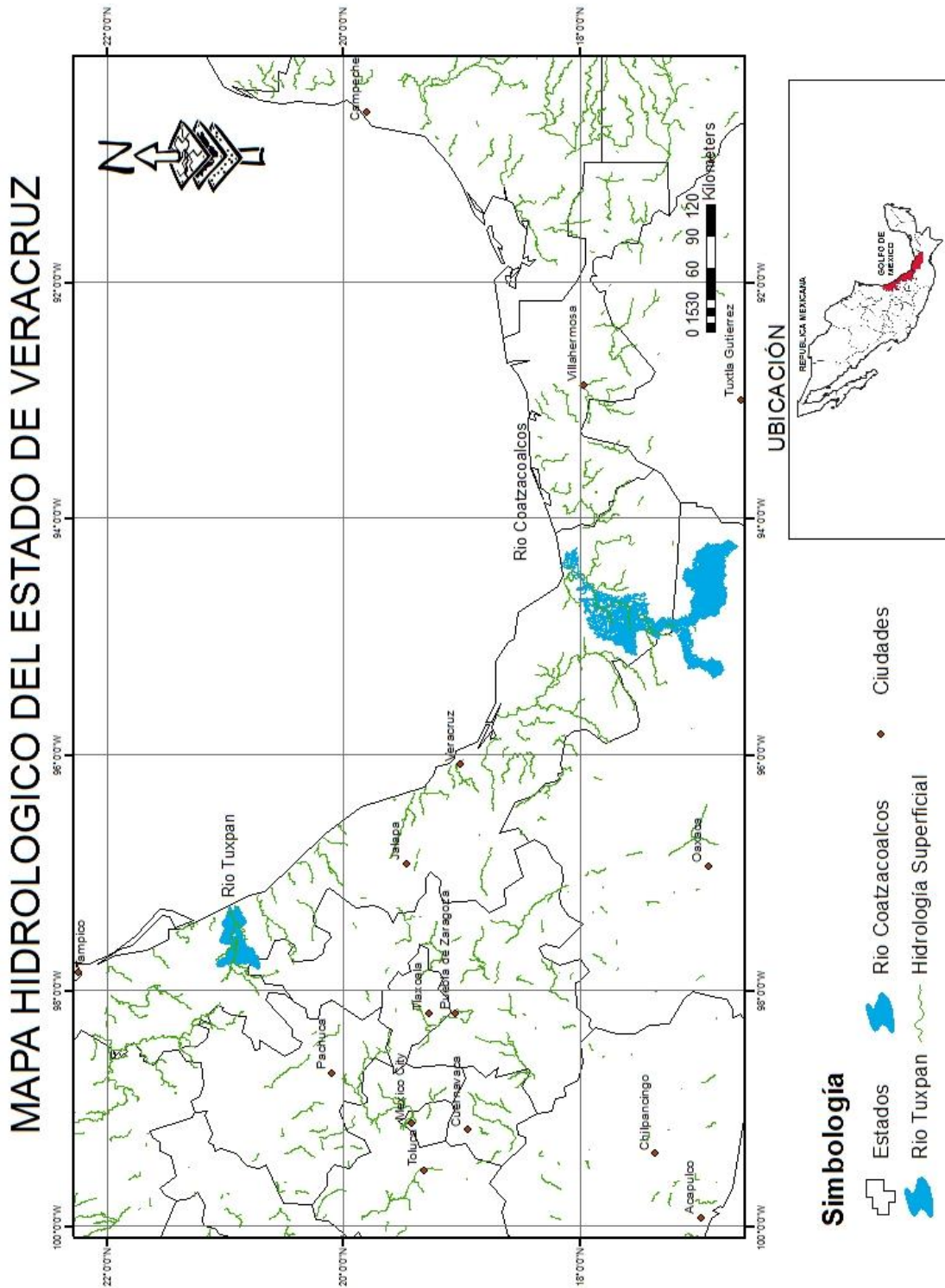


Figura 2 Mapa Hidrológico del estado de Veracruz. (Base de datos tomado de INEGI).

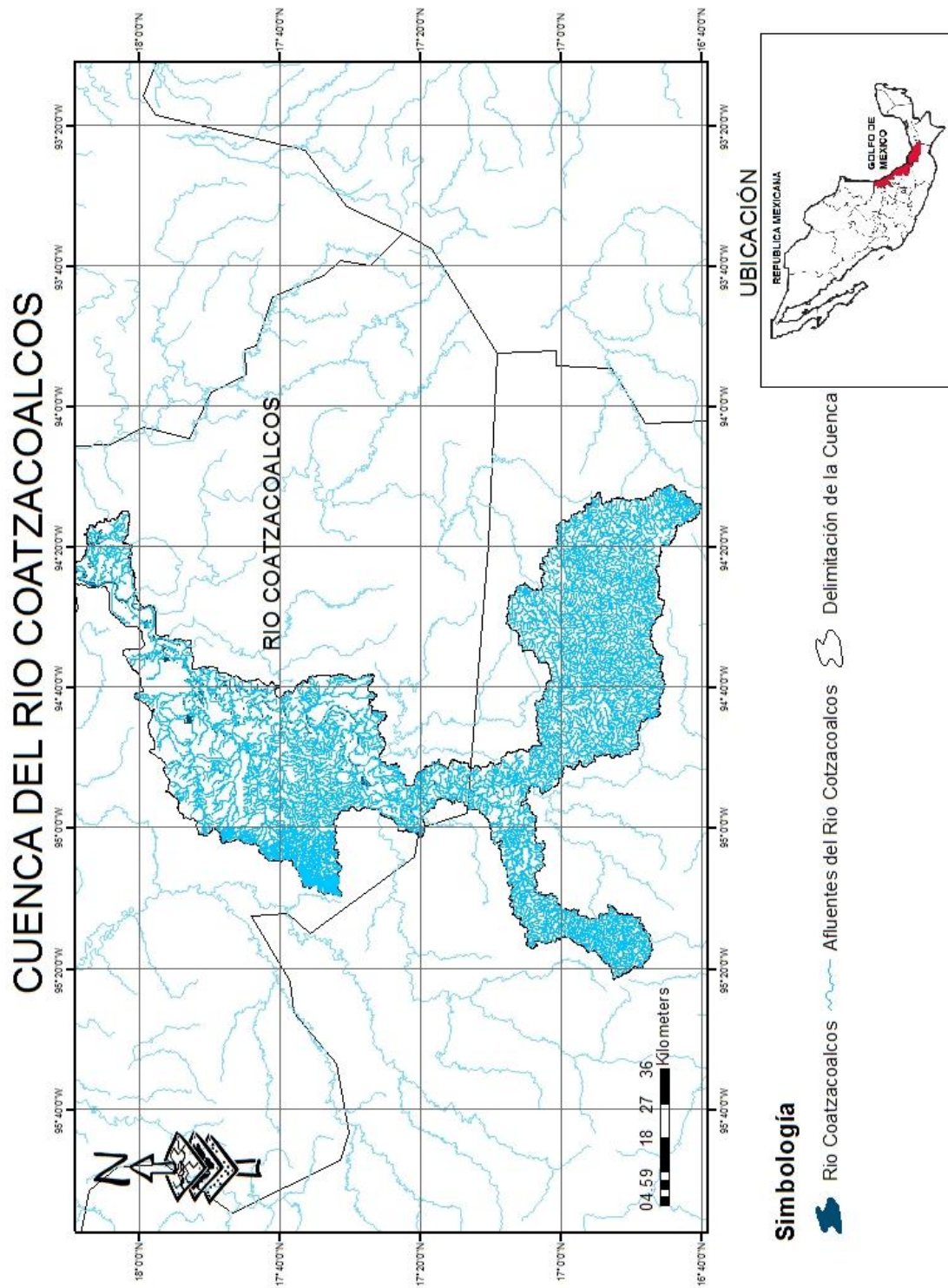


Figura 3 Cuenca del rio Coatzacoalcos (Base de datos tomada de INEGI).

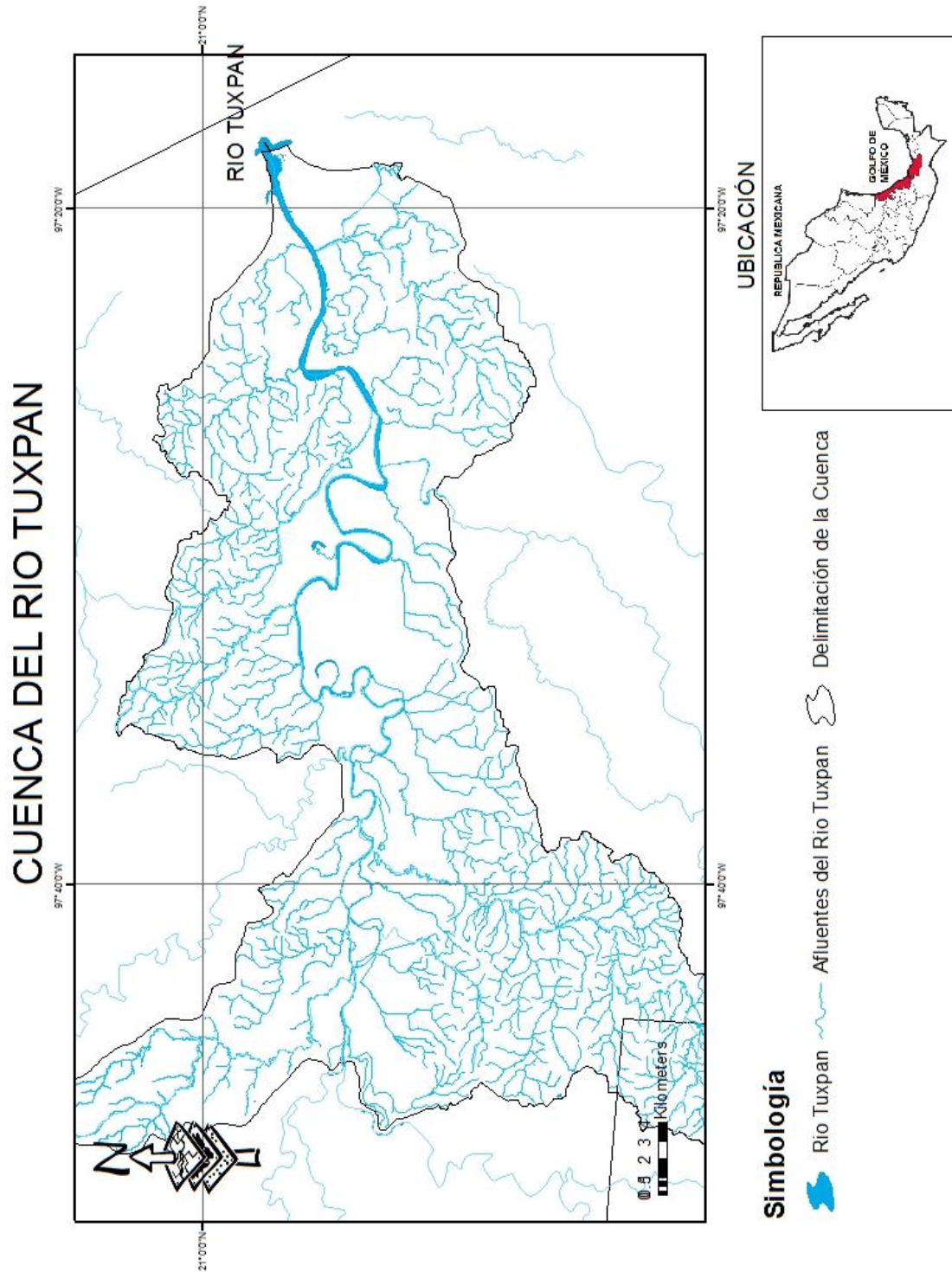


Figura 4 Cuenca del río Tuxpan (Base de datos tomada de INEGI).

2.3 GEOLOGÍA

El Estado de Veracruz se ubica a lo largo de la costa del Golfo de México en la región centro oriental de la República Mexicana, su territorio abarca un área de 72,420 Km², tiene una forma alargada muy irregular cuya longitud máxima es de 745 Km. Colinda al norte con el estado de Tamaulipas, al poniente con los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, al sur con los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco y al oriente con el Golfo de México.

PALEOGEOGRAFÍA DEL ESTADO DE VERACRUZ (GOLFO DE MÉXICO)

La Historia geológica de las rocas más antiguas que afloran en el estado comenzó desde la era Paleozoica y ellas son producto de un acontecimiento de dimensiones globales, resultante del choque de las masas continentales que posteriormente formarían el supercontinente llamado Pangea. Esta colisión provocó la construcción de la cordillera Marathon-Ouachita en el límite de los períodos Pérmico-Triásico, la cual se extiende a lo largo de la región oriental de los Estados Unidos hasta el Norte de México (Handschy *et al.*, 1987)

Durante el Triásico comienza a imperar un ambiente de distensión provocado por la apertura del Golfo de México, como consecuencia del inicio de la separación de Pangea. Esta etapa inicia con la formación de un *rift* continental en la parte sur de la placa norteamericana, que culminó con la separación de las placas Africana y Sudamericana, dando lugar al nacimiento del océano Atlántico (Sedlock, *et al.*, 1993)

En México, esta ruptura continental provocó desplazamientos que desarrollaron una morfología de fosas y pilares. En un principio, los bajos topográficos (fosas) fueron rellenados por depósitos continentales formados por abanicos aluviales y depósitos de pie de monte.

Durante el Jurásico Medio comenzó una transgresión proveniente del este, del llamado mar de Tethys. Las depresiones que se formaron durante la apertura del Golfo de México permitieron esta incursión marina con el sucesivo depósito de potentes secuencias evaporíticas en los bordes. Mientras que los altos topográficos (pilares) fueron las fuentes de aporte de material sedimentario. Para este momento, el ambiente continental que prevaleció de otras épocas comenzaba a ser un ambiente marino.

A medida que avanzó la transgresión, las aguas oceánicas inundaron las islas remanentes, conformando zonas de profundidades someras, lo cual facilitó el desarrollo de plataformas marinas que en la actualidad constituyen grandes volúmenes de rocas almacenadoras de hidrocarburos. En términos geológicos, estas estructuras se conocen como las plataformas de Tuxpan, Córdoba, Tampico-Misantla y San Luis-Valles (Ortuño-Arzate et al., 2003; Carrillo-Bravo, 1971).

En la medida en que el nivel del mar ascendía, las aguas someras se volvían más profundas. Este avance paulatino culminó en el Cretácico Superior, cuando todos los altos topográficos quedaron totalmente sumergidos. En el límite de los periodos Cretácico Superior y Terciario, el choque entre las placas de Farallón y de Norteamérica originó la Orogenia Laramide. Como consecuencia de esto, en la parte occidental del país se emplazó un arco volcánico que formó las grandes provincias ignimbríticas de la Sierra Madre Occidental. Mientras que en la porción oriental del territorio, los efectos de dicha orogenia deformaron los sedimentos marinos y provocaron su levantamiento, formando así lo que actualmente es la Sierra Madre Oriental, la cual constituye un cinturón plegado y fallado con orientación noroeste-sureste. Este evento tuvo como consecuencia el cambio de ambiente marino a continental.

En el Paleoceno, la región continental estuvo sometida a esfuerzos corticales y a una intensa erosión de la Sierra Madre Oriental, los sedimentos originados se distribuyeron en forma de abanicos submarinos que rellenaron las cuencas terciarias, formando así la

planicie costera del Golfo de México, la cual fue cubierta por la última trasgresión marina. (Demant, 1975)

Durante el Mioceno Medio aparecen los primeros signos del vulcanismo originado por la subducción de la placa del Pacífico por debajo de la placa Norteamericana, lo cual dio origen a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM).

Esta provincia geológica atraviesa al país en su parte central con una orientación este-oeste, en el sector oriental de la FVTM, este vulcanismo quedó de manifiesto con la construcción de la Sierra de Chiconquiaco, Palma Sola, los estratovolcanes Pico de Orizaba, Cofre de Perote, Las Cumbres y La Gloria, así como los campos monogenéticos de los Tuxtlas y Xalapa y las calderas de los Humeros y Chiconquiaco. (Demant, 1975).

2.3.1 GEOLOGÍA REGIONAL DE VERACRUZ

2.3.1.1 PALEOZOICO

Las rocas más antiguas que se encuentran en el estado de Veracruz afloran en la región de Huayacocotla, al noroeste del estado. Allí es posible observar una secuencia de lutitas de color negro, en alternancia con capas de areniscas de grano medio y grueso a conglomerático, cementada por sílice y carbonato definido como Formación Guacamaya (Carrillo Bravo 1965).

Otros afloramientos de rocas del Paleozoico Superior se encuentran en los alrededores de Altotonga, en la región central, los cuales consisten de una secuencia de filitas y esquistos de biotita. Al sur del estado, en los límites con Oaxaca y Chiapas, afloran rocas intrusivas de composición granítica que pertenecen al Complejo Batolítico de Chiapas, a las cuales se les ha asignado una edad paleozoica correspondiente al Pérmico Tardío (COREMI, 1994).

2.3.1.2 MESOZOICO

Las rocas del Mesozoico se encuentran regularmente distribuidas a lo largo y ancho del Estado de Veracruz y sobreyacen discordantemente a las rocas del Paleozoico.

Las más antiguas pertenecen al Triásico, compuestas por una secuencia de origen continental formada por areniscas, limolitas, conglomerados cuarcíticos de color gris, lutitas y lodolitas de colores rojo y café, definida como Formación Huizachal (Imlay et al., 1948).

Posteriormente, durante el inicio del Jurásico se presentó una transgresión que dio lugar a la sedimentación de una secuencia arcillo-arenosa conocida como Formación Huayacocotla, la cual está constituida por una alternancia de lutitas negras y limolitas con intercalaciones de arenisca y conglomerado. Esta secuencia contiene abundantes fósiles de plantas y carbón hacia la cima, y en la parte media presencia de amonitas (Carrillo-Bravo, 1965).

Durante el Jurásico Medio se depositaron capas gruesas y bancos de arenisca con alto contenido de cuarzo de color gris claro, bancos gruesos de conglomerados con fragmentos de rocas ígneas cementados en una matriz areno-arcillosa, definida formalmente como Formación Cahuasas. (Carrillo-Bravo 1965).

En el Jurásico Superior, las formaciones Tamán y Pimienta (Heim, 1926) representan el evento transgresivo de este período. La primera está constituida por calizas negras microcristalinas que alternan con capas de lutita gris. La segunda por calizas micríticas arcillosas de colores negro y blanco con presencia de lentes de pedernal negro y capas delgadas de bentonita (Cantú-Chapa, 1984).

Tanto las rocas del Triásico como las del Jurásico, afloran en las regiones de Huayacocotla, Tlapacoyan, Altotonga y Misantla, en una estructura geológica de dimensiones regionales conocida como Anticlinorio de Huayacocotla (Carrillo-Bravo, 1965). Mientras que al sur del estado, en los límites con Oaxaca, el Jurásico Superior está representado por la

Formación Todos Santos, constituida por una secuencia de sedimentos terrígenos de conglomerado, arenisca y limolita de color rojo.

Finalmente el Cretácico está caracterizado por calizas masivas de color claro con microfósiles y nódulos de pedernal. Las principales formaciones que agrupan a esta secuencia calcárea son la Formación Tamaulipas Superior e Inferior y la Formación Chinameca.

El Cretácico Medio queda representado por las Formaciones El Abra (Kellum, 1930), Orizaba (Böse, 1899) Cuesta del Cura y Capolucan (Mena, 1962). Estas unidades litoestratigráficas constan de estratos de calizas de color blanco a gris claro, de ambientes de plataforma y arrecifal. Las primeras consisten de lodos calcáreos en estratos de 20 cm a 1 m de espesor, las segundas están formadas por corales, rudistas, gasterópodos y esponjas en estratos con espesores de 2 a 4 m.

El Cretácico Superior incluye las Formaciones Méndez, San Felipe, Agua Nueva, Maltrata y Guzmantla. La composición litológica de estas unidades es de calizas arcillosas color gris claro, con intercalaciones de lutitas y capas de bentonita de color verde, así como de calizas arrecifales en las que destaca la presencia de corales, algas y agrupamientos lenticulares de rudistas.

2.3.1.3 CENOZOICO

Durante el Paleógeno se depositaron sedimentos derivados de la erosión de las rocas carbonatadas del Mesozoico. Estos sedimentos fueron depositados en las llamadas cuencas terciarias de Veracruz, donde se acumularon espesores de más de 3,000 m de sedimentos terrígenos, con un predominio de areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas, cuerpos aislados de conglomerados y estratos carbonatados (Ortega-Gutierrez *et al.*, 1992)

Las principales unidades litoestratigráficas que comprenden este período son las formaciones Velasco, Chicontepec, Guayabal, Tantoyuca, Horcones, Chapopote, La Laja,

Depósito, Encanto, Concepción y Paraje Solo. Los sedimentos terrígenos de estas unidades cubren una franja de norte a sur y forman lo que actualmente se conoce como la Planicie Costera del Golfo, la cual tiene una expresión morfológica de lomeríos suaves y amplias llanuras, sobre las cuales escurren los grandes ríos que desembocan al Golfo de México (Ortega- Gutierrez *et al.*, 1992)

Finalmente durante el Neógeno se dan las primeras manifestaciones de la actividad magmática y volcánica dentro de lo que ahora es el estado de Veracruz. Al norte, en la región de Cerro Azul, se observan cuerpos aislados de intrusivos de gabro y monzonita en forma de troncos y chimeneas volcánicas, los cuales cortan a las secuencias de lutitas y areniscas del Terciario Medio e Inferior. Las rocas extrusivas son basaltos de composición alcalina, las cuales se observan al Noroeste de Cerro Azul, en donde su expresión morfológica más evidente es la sierra de Tantima. Al poniente de Poza Rica conforman importantes derrames de lava que cubren discordantemente a los depósitos sedimentarios del Terciario Inferior (Ferrari *et al.*, 2005).

En la región comprendida entre Chiconquiaco, Juchique, Alto Lucero y Palma Sola, las rocas ígneas y volcánicas están constituidas por intrusivos y derrames de lava cuyas edades, de acuerdo con (Ferrari *et al.* 2005) En su conjunto, estas rocas conforman dos rasgos fisiográficos conocidos como la sierra de Chiconquiaco y el macizo volcánico de Palma Sola.

Otra de las regiones volcánicas costeras es la conocida como Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT), ubicada al sur del estado en los alrededores de la ciudad de Catemaco. La actividad volcánica en el CVLT comenzó hace aproximadamente 7 Ma y ha continuado hasta tiempo reciente a través del volcán San Martín Tuxtla, con las erupciones históricas ocurridas en los años de 1664 y 1793. (Nelson y González, 1992).

La actividad volcánica más reciente dentro del Estado de Veracruz se concentra principalmente en la región central, entre las ciudades de Xalapa y Orizaba.

Este vulcanismo está relacionado con la formación de la Faja Volcánica Trans-Mexicana, (Ortega *et al.*, 1992) formada por aparatos volcánicos mayores, como calderas y estratovolcanes, así como una gran cantidad de conos de escoria. La FVTM atraviesa al país de oeste a este por su parte central y es la expresión continental resultante de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera bajo la placa continental de Norte América.

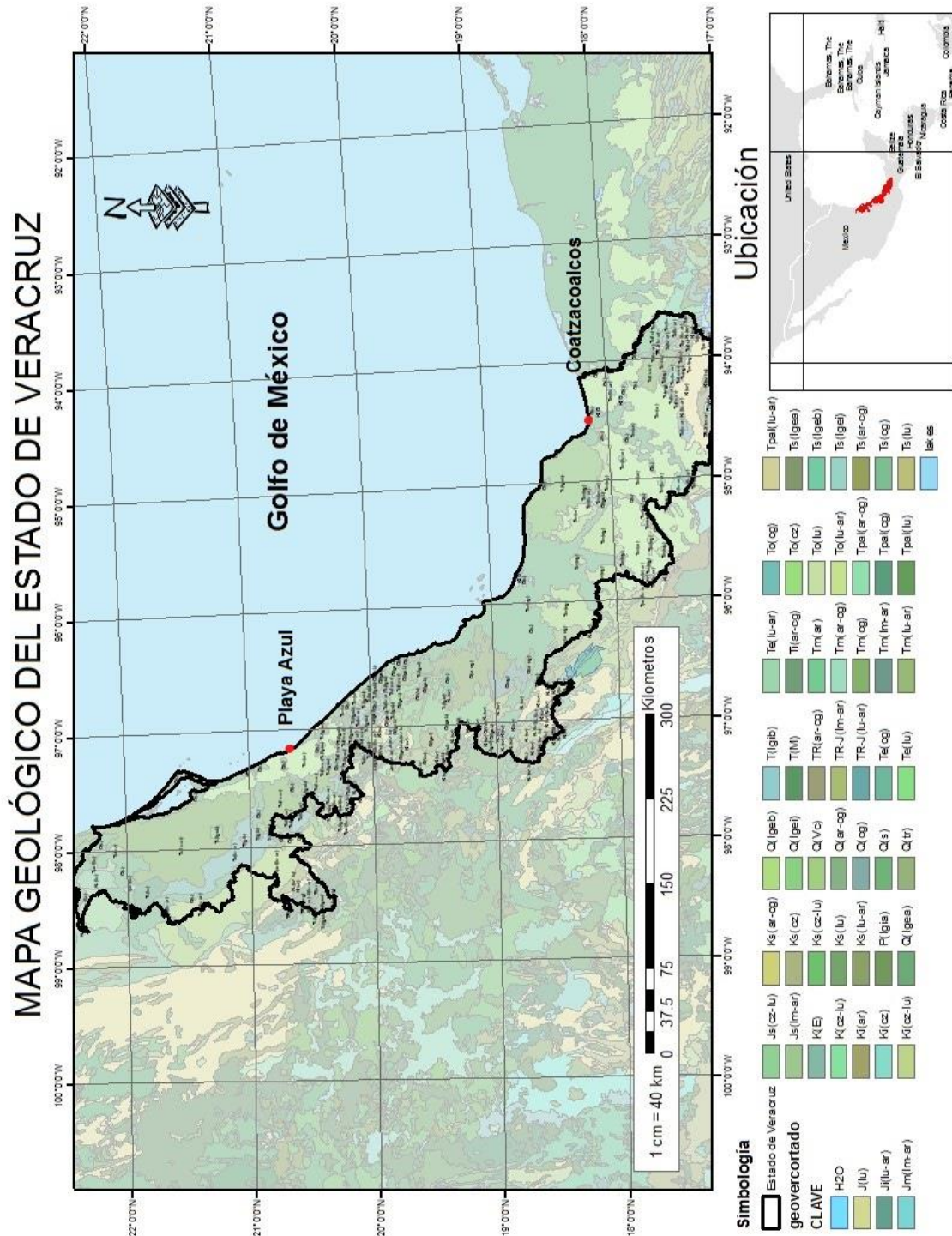


Figura 5 Mapa geológico del área de estudio (Base de datos tomada de Servicio Geológico Mexicano).

2.4 AMBIENTE TECTONICO

Los continentes se han separado y conjuntado a través de la historia de la tierra. Los procesos extensionales que afectan a los continentes dan lugar a los *rifts* continentales. Con el incremento de la extensión se produce un adelgazamiento cortical a lo largo de la ruptura y con el tiempo eventualmente se forman nuevos océanos con la consecuente generación de nueva corteza oceánica. Estas áreas extensionales se desarrollan y se convierten en dorsales centro-oceánicas y se desarrollan los procesos que generan la expansión del piso oceánico. Eventualmente, se forman dos márgenes pasivos se desarrollan a cada lado del océano. En otra parte de los océanos, toman parte los procesos de subducción bajo placas continentales y oceánicas dando lugar al vulcanismo de arco continental y arco de isla respectivamente. Las placas oceánicas pueden llegar a ser consumidas bajo los continentes y toma lugar una colisión continente-continente. Así, además de las dorsales centro-oceánicas como ambiente tectónico, los procesos antes mencionados dan lugar a tres principales ambientes tectónicos: arcos continentales o de isla, *rifts* continentales y colisión continental (Armstrong-Altrin y Verma 2005).

Los argumentos anteriormente expuestos no han sido explícitamente usados hasta ahora en el estudio de sedimentos y rocas sedimentarias.

Los sedimentos siliciclásticos son comúnmente derivados de fuentes continentales y usualmente se forman cerca o dentro de bloques continentales y lejos de los océanos profundos. La composición química de las rocas ricas en sílice que contienen porcentajes de $SiO_2 > 35\%$ pueden ser controladas por los procesos tectónicos, y específicamente las composiciones de las arenas y areniscas se encuentran sujetas a dichos procesos (Dickinson *et al.*, 1983).

Los estudios de procedencia en rocas sedimentarias son comunes, pero hacen más énfasis en la procedencia que en los procesos que ocurren en las placas tectónicas. Hay quien sostiene que las placas tectónicas no pueden ser estudiadas al analizar rocas sedimentarias, porque la procedencia afecta las composiciones químicas al grado que las

implicaciones de las placas tectónicas no serán perceptibles. La naturaleza del problema es multifactorial, debido a factores implícitos en la procedencia sedimentaria (litología de las rocas fuente, el ambiente tectónico, el clima, el relieve y gradiente de las áreas fuente); por tanto algunos investigadores han expresado serias dudas sobre la posibilidad de discriminar entre ambientes tectónicos por medio de la geoquímica (Ryan y Williams, 2007; Pe-Piper *et al.*, 2008; Dunkl *et al.*, 2008).

Los diagramas de discriminación de ambientes tectónicos propuestos por Bhatía (1983) y Roser y Korsch (1986) basados en las composiciones de elementos mayores, han sido usados sobre todo para extraer información de cuencas sedimentarias antiguas desconocidas. A excepción de estos diagramas, no se han propuesto nuevos diagramas de discriminación tectónica basados en elementos mayores durante los últimos 25 años (Armstrong-Altrin y Verma 2005).

Bhatía (1983) propone clasificar a los ambientes tectónicos como arcos de isla oceánica, arco continental, margen continental activo y margen pasivo. Sin embargo, no está claro de qué manera son diferentes los arcos continentales y de isla de los márgenes continentales activos. Roser y Korsch (1986) proponen diagramas de discriminación para diferenciar arcos de islas oceánicas, márgenes continentales pasivos y márgenes continentales activos. Pero ninguno de estos diagramas es capaz de diferenciar los sedimentos de colisión y *rift* continental. Armstrong-Altrin y Verma (2005) concluyeron que los rangos de éxito para definir el ambiente tectónico de las cuencas sedimentarias usando los diagramas de Bhatía (1983) y Roser y Korsch (1986) no es satisfactoriamente aceptable, debido a que ninguno de los diagramas anteriormente mencionados incorporaron un análisis estadístico coherente en el tratamiento de los datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología que se empleó durante el presente trabajo se dividió en dos etapas. La primera en un trabajo de campo y la segunda en trabajo de laboratorio.

3.1 TRABAJO DE CAMPO

Se realizó el muestreo en las dos playas seleccionadas (Coatzacoalcos y Playa Azul) del Estado de Veracruz en el Golfo de México, la colecta consistió en un total de 30 muestras; 15 de la playa de Coatzacoalcos y 15 de Playa Azul, de las cuales se analizaron granulometría y por cada playa se seleccionaron 10 para el análisis geoquímico.

En cada una de las playas, se colectó aproximadamente 1 kilogramo de sedimento por muestra cada 500 metros de distancia entre muestras, tomadas en el área de mesoplaya. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno con cierre tipo “ziplock” etiquetadas con cada número de muestra para su control.

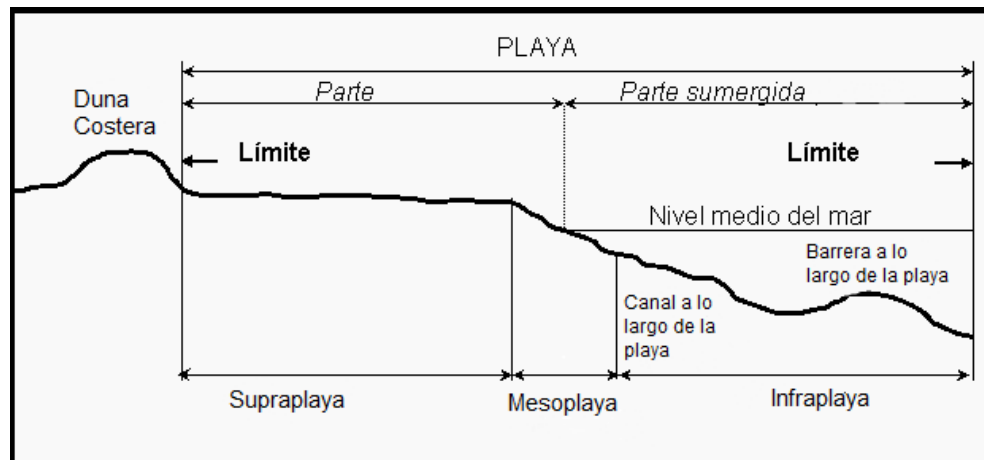


Figura 6 Límites de playa, modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez 1994.

Los núcleos de lodo del sur del Golfo de México fueron colectados en la campaña oceanográfica Facies I “Justo Sierra” de la UNAM, utilizando un nucleador Reineck (Figura 7). Los núcleos fueron recuperados en tubos de PVC cuidando la integridad de la muestra, sobre todo de la capa superficial.

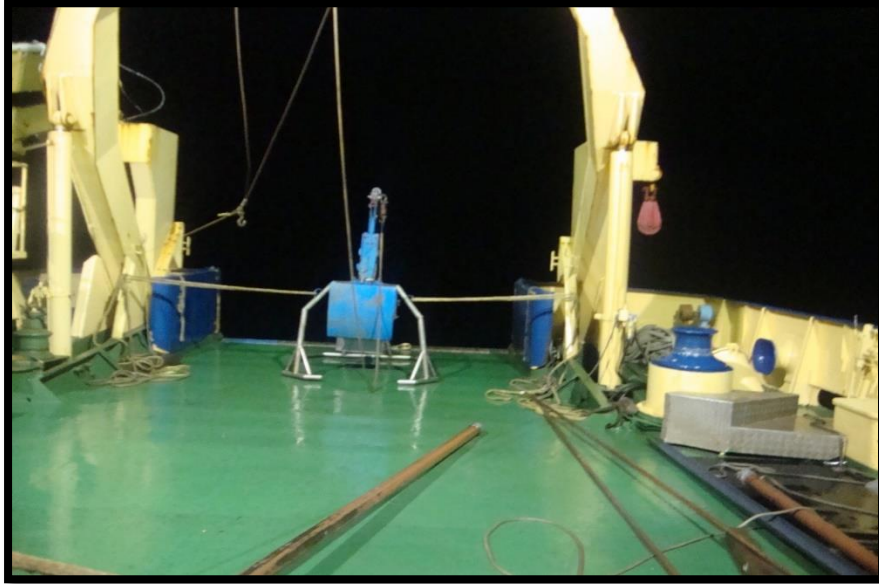


Figura 7 Nucleador Reineck utilizado para coleccionar lodos. Campaña oceanográfica Facies I, B/O Justo Sierra.

3.2 TRABAJO DE LABORATORIO

El análisis granulométrico utilizado para determinar la clasificación de los sedimentos: las muestras de cada playa fueron secadas bajo una campana de evaporación en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

En una balanza electrónica se pesaron 40 gr de cada muestra de playa para el tamizado que se llevó a cabo en el equipo Ro-Tap sieve Shake a cada $\frac{1}{2} \Phi$ de apertura de Tamiz, durante un periodo de 20 minutos, posteriormente los materiales tamizados de cada muestra fueron pesados por separado y guardados en bolsas de papel. Para determinar los parámetros estadístico texturales de los sedimentos de cada muestra, se usaron las fórmulas de límites propuestos por Folk y Ward (1957).

3.2.1 PARÁMETROS TEXTURALES

Mediana

La mediana es el punto medio, en donde la mitad de la distribución de las partículas corresponde con las finas y la otra mitad con las gruesas.

Tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$)

Este es un parámetro estadístico que representa el tamaño de grano medio de la distribución total de los sedimentos. Las diferencias en la distribución de tamaños de partícula se relaciona con las características de la roca del área fuente y a la distancia entre la fuente del sedimento con respecto al área de depósito, así como los mecanismos de energía que existen en el área de depósito que influyen en las características granulométricas, este parámetro nos ayuda a conocer la naturaleza y condiciones de depósito.

El tamaño gráfico promedio se calcula con la siguiente ecuación:

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

Sus límites son:

$Mz\phi$	Clasificación
-1 a 0.01	Arena muy gruesa
0.01 a 1.0	Arena gruesa
1.1 a 2.0	Arena mediana
2.01 a 3.0	Arena fina
3.01 a 4.0	Arena muy fina

Desviación Estándar Gráfica Inclusiva ($\sigma_{1\phi}$)

Este parámetro es caracterizado por el tipo de clasificación de la muestra, e indica el grado de homogeneidad de los granos de sedimento. Esta clasificación de los sedimentos está controlada por el grado de turbulencia, velocidad de transporte, propiedades hidrodinámicas naturaleza de los sedimentos y/o por el transporte eólico (Kasper-Zubillaga., y Carranza-Edwards 2005).

Ecuación para calcular la desviación estándar inclusiva:

$$\sigma_{1\phi} = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

Donde los límites para los valores obtenidos son:

$\sigma_{1\phi}$	Clasificación
<0.35	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50	Bien clasificado
0.50 a 0.71	Moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.00	Moderadamente clasificado
1.00 a 2.00	Mal clasificado
2.00 a 4.00	Muy mal clasificado
>4.00	Extremadamente mal clasificado

Oblicuidad

La oblicuidad mide el grado de asimetría (SK_1) de distribución de las partículas sedimentarias, de manera que las curvas con asimetría positiva representan aquellas muestras con un exceso de material fino, mientras que las que presentan asimetría negativa contienen un exceso de material grueso. (Folk, 1957).

Ecuación para calcular el grado de asimetría:

$$SK_1 = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{84} - \Phi_{2*50})}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{(\Phi_5 + \Phi_{95} - \Phi_{2*50})}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Donde los límites son:

SK_1	Clasificación
1.0 a 0.3	Muy asimétrico hacia los tamaños finos
0.3 a 0.1	Asimétrico hacia los tamaños finos
0.1 a -0.1	Casi simétrico
-0.1 a -0.3	Asimétrico hacia los tamaños gruesos
-0.3 a -1.0	Muy asimétrico hacia los tamaños gruesos

Curtois (K_G)

Este parámetro representa el cociente entre el clasificado de cualquier extremo y la porción central de distribución. Si la porción central se clasifica mejor que los extremos, se dice que la curva de frecuencia está excesivamente punteada o leptocúrtica. En contraste, si los extremos se clasifican mejor que la porción central de la curva de frecuencia, entonces se llama plano punteado o platicúrtico (Folk, 1957).

Geológicamente 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):

Ecuación para calcular la curtosis:

$$K_G = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Los límites son:

$K_G \varphi$	Clasificación
<0.67	Muy platicúrtico
0.67 a 0.90	Platicúrtico
0.90 a 1.11	Mesocúrtico
1.11 a 1.50	Leptocúrtico
1.50 a 3.00	Asimétrico hacia los gruesos
>3.00	Extremadamente leptocúrtico

3.3 GEOQUÍMICA

Para la geoquímica las muestras se dejaron secar durante 30 minutos dentro de un horno Riossa modelo H-2 (Figura 8) a 100°C. A pesar de que la mayor proporción de la muestra es lodo, para analizar la composición geoquímica de todo el sedimento (incluyendo a la fracción arenosa); se procedió a su trituración en un pulverizador marca Fritsch Pulverisette 2 (Figura 9) con mortero de ágata del Laboratorio de Geoquímica Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.

Las muestras que se seleccionaron para el análisis geoquímico fueron: para Coatzacoalcos: coz1, coz2, coz3, coz4, coz7, coz8, coz9, coz10, coz11, coz12, para Playa Azul: t-tam1, t-tam2, t-tam3, t-tam4, t-tam5, t-tam6, t-tam7, t-tam8, t-tam9, t-tam10 y para los núcleos : A (30-31), A(300-301), A(Up), B(30-31), B(300-331), B(Up), C (30-31), C (359-360) y C (Up), siendo las más representativas de cada zona.

En la pulverización de las muestras se debe tener especial cuidado para evitar la contaminación con otras muestras o con materiales utilizados en el proceso; para ello es importante limpiar cuidadosamente el área de trabajo y los instrumentos antes y después de la pulverización de cada muestra; con este propósito se utiliza una pequeña fracción de la muestra por procesar, donde el polvo obtenido de esta molienda es desechado con la finalidad de evitar que los residuos de sedimento pulverizados anteriormente y que no fueron eliminados contaminen la muestra. Posteriormente, la muestra se introduce en el mortero de ágata durante un periodo de 15 minutos hasta obtener un polvo con apariencia de talco (con la intención de obtener un tamaño de partícula menor a 74 μ). Finalmente el polvo obtenido por cada muestra fue pesado hasta obtener 10 gramos, donde 5gr se utilizaron para los análisis de elementos mayores y el restante para elementos traza y tierras raras.



Figura 8 Horno marca Riossa modelo H-2. Laboratorio de Geoquímica, ICML.



Figura 9 Pulverizador Fritsch 2 de mortero de ágata. Laboratorio de Geoquímica, ICML.

3.3.1 MÉTODOS ANALÍTICOS

3.3.1.1 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX) PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS MAYORES

El método de Fluorescencia de Rayos X conocido como FRX es uno de los métodos más usados para determinar elementos mayores. Este método según Rollinson (1993), está basado en la excitación de la muestra mediante rayos X, para lo cual se dispara un haz de rayos X primario que produce la excitación y formación de rayos X secundarios (fluorescencia) el cual tiene las características específicas de longitud de onda para cada uno de los elementos presentes en la muestra, la intensidad de estos rayos X secundarios es utilizada para determinar la concentración de los elementos presentes de acuerdo con estándares de calibración y aplicando las correcciones necesarias que se requieren para eliminar los errores analíticos.

Las muestras fueron analizadas utilizando este método analítico en el LUGIS del Instituto de Geología de la UNAM. A continuación se describe brevemente el procedimiento efectuado:

La determinación de elementos mayores se realiza mediante una “perla”; esta es preparada con 1 g de muestra en polvo con 9 g de fundente compuesto en una proporción 50:50 de porcentaje en peso de $Li_2B_4O_7 - Li_2BO_2$ (Tetraborato de Litio) la mezcla es vaciada en un crisol y es calentada a una temperatura próxima a 1,100° Celsius en un horno equipado con quemadores Fisher y moldes para la preparación simultánea de 3 perlas. Previo al calentado, se adicionan 2 gotas de $LiBr$ (Bromuro de Litio) en solución acuosa en una concentración de 250 g/l, esto evita que la perla se adhiera al molde. Una vez enfriadas las perlas, se retiran del molde con cuidado, evitando el contacto con las manos para evitar contaminarlas, al reverso de la perla se le coloca una etiqueta con el nombre de la muestra y la fecha de elaboración.

Como complemento del análisis de elementos mayores, se requiere determinar la pérdida por calcinación (PXC), lo cual se hace al calentar a 1,000° Celsius un gramo de muestra en base seca, colocándola en un crisol de porcelana por un periodo de 60 minutos. Finalmente, se deja enfriar a temperatura ambiente.

Para el cálculo de la pérdida por calcinación se utiliza la fórmula:

$$\%PxC = (\text{peso seco} - \text{peso calcinado}) \times 100$$

Para los análisis se utilizó un espectrómetro secuencial de rayos X Siemens SRS-3000, equipado con un tubo de rodio y ventana de berilio, el cual mide concentraciones de elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P). Los errores estimados en las determinaciones son <1% en elementos mayores (Lozano-Santa Cruz *et al.*, 1995; Verma *et al.*, 1996). Previo a los análisis se calibra el equipo de acuerdo con los estándares preestablecidos para cada material que se desee analizar. Las curvas de calibración son construidas con estándares emitidos por instituciones de reconocido prestigio internacional como National Institute of Standards and Technology (NIST), Centro Nacional De Metrología (CENAM) y United States Geological Survey (USGS).

3.3.1.2. ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON FUENTE DE PLASMA ACOPLADO INDUCIDO (ICP-MS) PARA EL ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA Y TIERRAS RARAS

El método de espectrometría de masas con fuente de plasma acoplado inducido, es una técnica que permite límites de detección muy bajos así como buena precisión, lo que hace que este método sea muy usual. En este procedimiento, los átomos son extraídos del plasma a través de un orificio a un sistema de vacío y bombeados con un lente iónico a un espectrómetro de masas (Rollinson, 1993).

Las concentraciones de elementos traza de 29 muestras, incluidas los elementos de Tierras Raras (REE), fueron determinadas usando un espectrómetro de masas de alta resolución de plasma acoplado Fanningan MAT ELEMENT (ICP-MS), en el Laboratorio CSIR del National Geophysical Research Institute de la India a cargo del Dr. V. Balaram. La precisión y exactitud para los estándares JG-2, según lo determinado por ICP-MS, están dentro de 5 a 10 %.

A continuación se describe brevemente el procedimiento efectuado.

Una vez molidas la muestras se seleccionan 0.22 gr de cada una de ellas para realizar la digestión. En vasos de teflón se realizan una serie de digestiones con ácido fluorhídrico (HF) y ácido perclórico ($HClO_4$) con concentración molar (0.3 - 0.5 M) y se calienta la solución en una parrilla a una temperatura aproximada de 60° C hasta que finalmente se obtiene una pasta. Posteriormente se agrega una solución a base de Indio (In) (se utiliza este elemento ya que no se encuentra naturalmente en las muestras y evita las interferencias en las lecturas del aparato) con una concentración de 10 ppb y se afora en matraces de 100 ml. Posteriormente se filtra la solución con filtros del número 41, para retirar turbiedades indeseables. Finalmente la muestra se guarda en envases de plástico a la espera de realizar el análisis de ICP-MS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 GRANULOMETRÍA

Los parámetros de tamaño de grano para las dos playas de estudio (Coatzacoalcos, y Playa Azul), fueron calculados con base en el método gráfico de Folk y Ward (1957), y se muestran en las siguientes tablas:

Muestra	Mz ϕ	$\sigma\phi$	Ski	KG	Clase Mz ϕ	Clase $\sigma\phi$	Clase Ski	Clase KG
Coz 1	2.56	0.38	-0.28	1.11	Arena fina	BC	OG	Leptocúrtica
Coz 2	1.73	0.62	0.05	0.89	Arena mediana	MOBC	CS	Platicúrtica
Coz 3	2.07	0.58	-0.15	1.09	Arena fina	MOBC	OG	Mesocúrtica
Coz 4	2.30	0.43	-0.35	1.23	Arena fina	BC	OMG	Leptocúrtica
Coz 5	2.43	0.32	-0.36	1.18	Arena fina	MYBC	OMG	Leptocúrtica
Coz 6	1.4	0.96	-0.04	0.89	Arena mediana	MOC	CS	Platicúrtica
Coz 7	1.98	0.72	-0.15	1.43	Arena mediana	MOC	OG	Leptocúrtica
Coz 8	2.28	0.56	-0.26	1	Arena fina	MOBC	OG	Mesocúrtica
Coz 9	2.3	0.44	-0.22	1.02	Arena fina	BC	OG	Mesocúrtica
Coz 10	2.23	0.6	-0.28	1	Arena fina	MOBC	OG	Mesocúrtica
Coz 11	2.53	0.3	-0.27	1.02	Arena fina	MYBC	OG	Mesocúrtica
Coz 12	2.47	0.31	-0.23	1.29	Arena fina	MYBC	OG	Leptocúrtica
Coz 13	2.51	0.32	-0.24	1	Arena fina	MYBC	OG	Mesocúrtica
Coz 14	2.52	0.32	-0.27	1.13	Arena fina	MYBC	OG	Leptocúrtica
Coz 15	2.32	0.41	-0.15	1.02	Arena fina	BC	OG	Mesocúrtica

Tabla 1. Parámetros texturales (Coz = Coatzacoalcos). Mz ϕ = tamaño gráfico promedio, $\sigma\phi$ = desviación estándar, Ski = grado de asimetría, KG = curtosis. BC = arenas bien clasificadas, MYBC= arenas muy bien clasificadas, MOBC= arenas moderadamente bien clasificadas, MOC= arenas moderadamente clasificadas. CS= cercano a la simetría, OMG= oblicuidad muy gruesa, OG= oblicuidad gruesa, OF= oblicuidad fina.

Muestra	Mz ϕ	$\sigma\phi$	Ski	KG	Clase Mz ϕ	Clase $\sigma\phi$	Clase Ski	Clase KG
Tux-tam 1	2.72	0.65	-0.31	4.52	Arena Fina	MOBC	OMG	Ext-Leptocúrtico
Tux-tam 2	2.82	0.33	-0.21	1.46	Arena Fina	MYBC	OG	Leptocúrtica
Tux-tam 3	2.78	0.33	-0.08	1.52	Arena Fina	MYBC	CS	Muy Leptocúrtica
Tux-tam 4	2.82	0.31	-0.01	1.15	Arena Fina	MYBC	CS	Leptocúrtica
Tux-tam 5	2.78	0.37	-0.11	1.43	Arena Fina	BC	OG	Leptocúrtica
Tux-tam 6	2.8	0.73	-0.34	3.43	Arena Fina	MOBC	OMG	Ext-Leptocúrtica
Tux-tam 7	2.8	0.33	-0.08	1.41	Arena Fina	MYBC	CS	Leptocúrtica
Tux-tam 8	2.77	0.38	-0.14	1.62	Arena Fina	BC	OG	Muy leptocúrtica
Tux-tam 9	2.77	0.38	-0.19	1.40	Arena Fina	BC	CG	Leptocúrtica
Tux-tam10	2.72	0.39	-0.11	1.04	Arena Fina	BC	OG	Mesocúrtica
Tux-tam11	2.77	0.39	-0.21	1.45	Arena Fina	BC	OG	Leptocúrtica
Tux-tam12	2.75	0.4	0.03	1.28	Arena Fina	BC	CS	Leptocúrtica
Tux-tam13	2.77	0.4	-0.01	1.81	Arena Fina	BC	CS	Muy Leptocúrtica
Tux-tam14	2.86	0.38	0.09	0.92	Arena Fina	BC	CS	Mesocúrtica
Tux-tam15	2.8	0.35	-0.04	1.52	Arena Fina	BC	CS	Muy Leptocúrtica

Tabla 2. *Parámetros texturales (Tux-tam = Playa Azul). Mz ϕ = tamaño gráfico promedio, $\sigma\phi$ = desviación estándar, Ski = grado de asimetría, KG = curtosis. BC = arenas bien clasificadas, MYBC= arenas muy bien clasificadas, MOBC= arenas moderadamente bien clasificadas, MOC= arenas moderadamente clasificadas. CS= cercano a la simetría, OMG= oblicuidad muy gruesa, OG= oblicuidad gruesa, OF= oblicuidad fina.*

Para la playa de Coatzacoalcos el tamaño medio de las arenas van de valores de 1.4 a 2.56 ϕ , según los límites propuestos por Folk y Ward (1957) indica que las arenas de la playa de Coatzacoalcos corresponden a arenas de grano medio a arenas de grano fino, los valores de desviación estándar fueron de (\sim 0.30 a 0.96 ϕ) siendo en su mayoría arenas bien clasificadas y arenas moderadamente bien clasificadas, la oblicuidad observada en las arenas de Coatzacoalcos mayoritariamente se encuentra entre (-0.04 a -0.36 ϕ) lo que sugiere en su mayoría una oblicuidad muy gruesa que varía de cercano a la simetría con una tendencia a los muy gruesos en los tamaños de grano, la curtosis para las arenas de Coatzacoalcos van de (0.89 a 1.43 ϕ) lo que representa una curtosis que va de mesocúrtico a leptocúrtico, predominando la primera.

El tamaño medio de arenas de Playa Azul van de 2.72 a 2.86 ϕ indicando que son arenas de grano fino, los valores de desviación estándar fueron de (\sim 0.31 a 0.40 ϕ), siendo estas

en su mayoría, arenas bien clasificadas, los valores de asimetría van de (0.09 a -0.34 ϕ), indicando la presencia de arenas cercanas a la simetría con tendencia a granos muy gruesos en el sedimento, los valores de curtosis fueron de (0.92 a 1.81 ϕ) predominando la clase leptocúrtica, donde solo las muestras Tux-tam 1 y 6 muestran una clase Extra Leptocúrtica.

Kasper-Zubillaga (2009) sugiere que el transporte eólico y la selectividad del viento produce arena de grano fino bien clasificada, mientras que la mezcla de procesos eólicos/marinos generan diferentes tamaños de grano.

Horikawa y Shen (1960), reportaron que el desgaste continuo es dominante en los procesos eólicos, los cuales pudieran ser los responsables del buen clasificado.

Las arenas bien clasificadas se forman cuando estas se exponen a la abrasión del oleaje que produce la reducción del tamaño de grano y mejora su clasificación (Carranza Edwards, *et al.*, 2009).

Las arenas de la supraplaya y mesoplaya tienden a presentar arenas bien clasificadas, ya que hacia la infraplaya las corrientes litorales y la energía de las olas rompientes causan turbulencia e incrementa la mezcla existiendo mayor cantidad de arenas gruesas y por tanto una mala clasificación (Carranza-Edwards 2001).

Las dos playas presentan arenas bien clasificadas y fueron recolectadas en la zona de mesoplaya, los resultados aluden a la influencia del viento que se encuentra en la zona, así como el oleaje (agente transportador de granos de arena).

El rango obtenido de asimetría es variable, lo que nos indica que las condiciones de erosión, transporte y de la sedimentación no eran uniformes durante la deposición de las arenas de playa.

Los valores negativos son indicativos de áreas de erosión, o de no deposición, mientras que los valores positivos indican la depositación de sedimentos, una mezcla de

oblicuidades positivas y negativas indicaría una región con un flujo constante de sedimentos (Duane 1964).

4.2 AMBIENTE SEDIMENTARIO

Los diagramas binarios permiten interpretar el ambiente sedimentario de las arenas ya que permiten discriminar entre los ambientes de playa, río y duna así como el origen de las muestras (Friedman, 1961; Moiola y Weiser, 1968; Passega, 1964).

Folk y Ward (1957) han investigado acerca de los parámetros de textura obtenidos por método gráfico y han construido los diagramas binarios para identificar los distintos ambientes de depósito.

Friedman (1961 y 1967) ha distinguido las arenas de playa y duna trazando valores de asimetría contra valores de desviación estándar, Moila y Weiser (1968) demarcaron los ambientes de playa, rio, duna trazando la desviación estándar y el valor de la media.

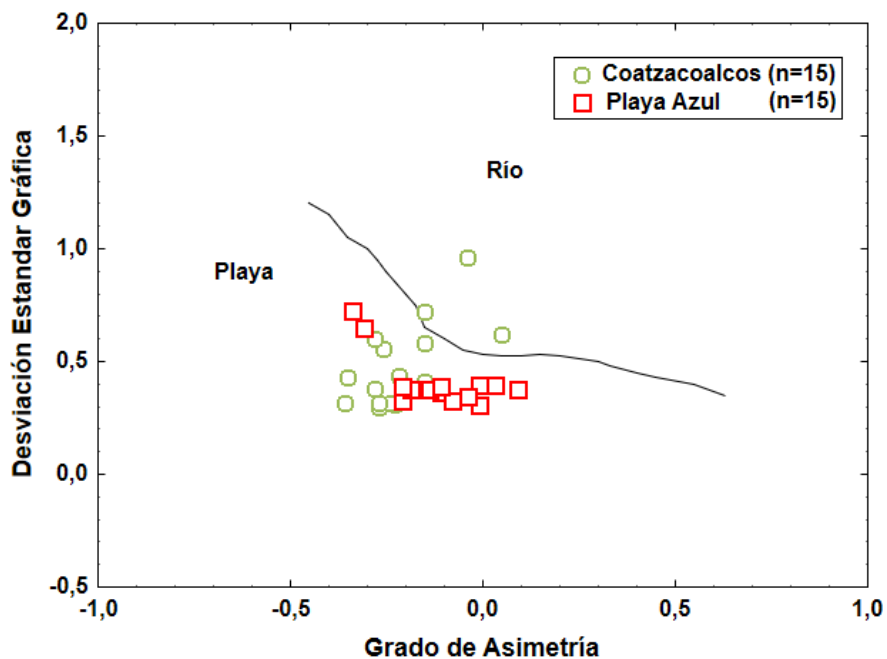


Figura 10 Diagrama binario $\sigma\phi/Ski$ de discriminación de ambiente sedimentario de Friedman (1967).

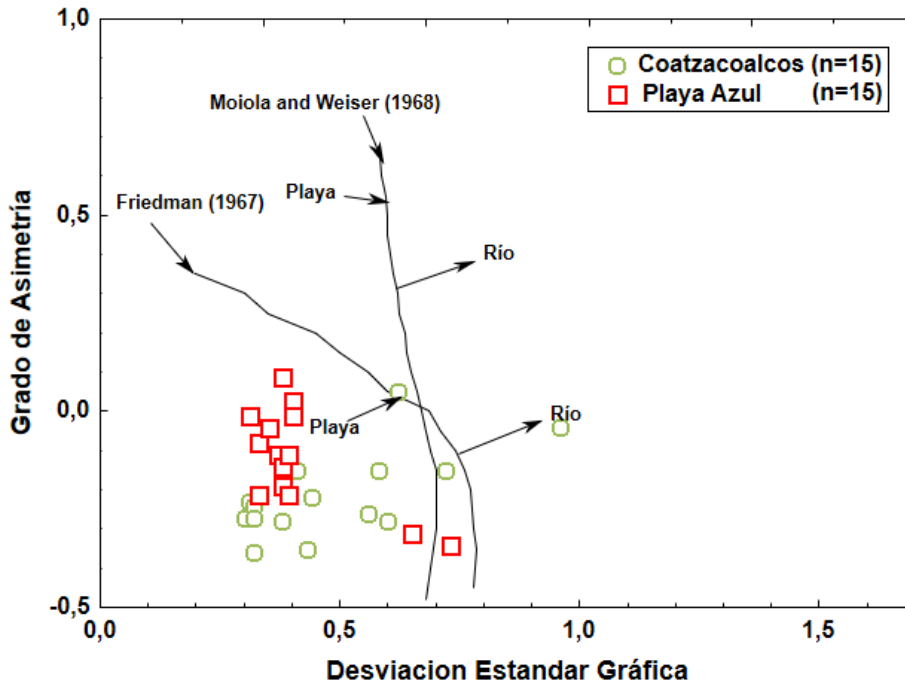


Figura 11 Diagrama binario $Ski\phi/\sigma\phi$ de discriminación de ambiente sedimentaria propuesto por Friedman (1967) y Moiola y Weiser (1968).

En estos diagramas las muestras de arena de Playa Azul y Coatzacoalcos se ubican en su mayoría en el campo de playa, solo una se ubica dentro del campo de río, esto se puede interpretar por la influencia que tiene el río Coatzacoalcos sobre el aporte de sedimento hacia la playa. El ambiente sedimentario concuerda con la buena clasificación de las arenas y los tamaños predominantes (arenas finas).

El diagrama propuesto Hails y Hoyt (1969) es utilizado para discriminar entre los ambientes sedimentarios litorales de playa y duna, utilizando también el diagrama propuesto por Moila y Weiser (1968) dentro de este.

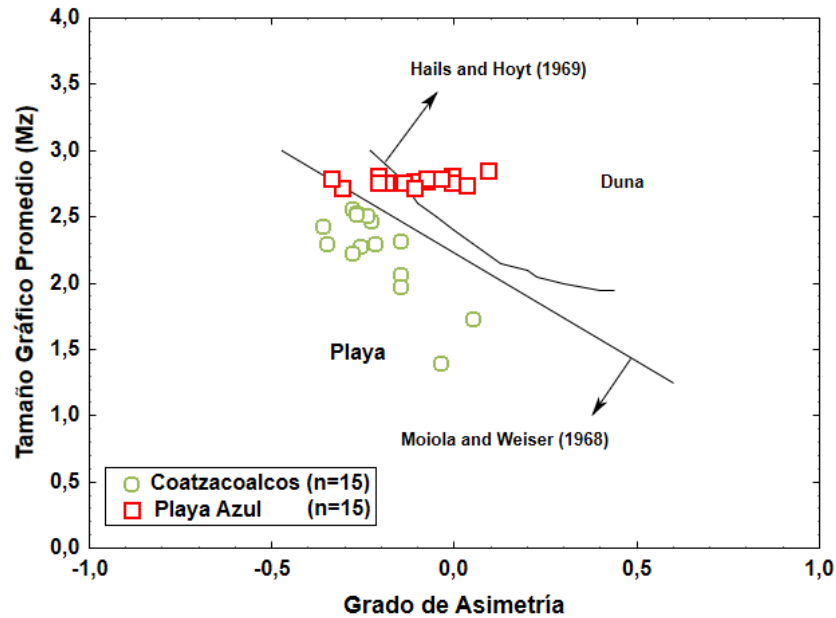


Figura 12 Diagrama binario $Mz\phi/Ski\phi$ de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Moiola y Weiser (1968) y Halls y Hoyt (1969).

En este diagrama todas las muestras de Coatzacoalcos caen dentro del campo de playa esto refleja que solo existe la selectividad marina en esta playa, para las muestras de Playa Azul la tendencia es la de concentrarse en el campo de duna. Esto refleja que en las playas de Playa Azul existe una interacción importante entre los procesos del oleaje en la playa y la acción eólica que transporta granos finos hacia la misma (Tapia-Fernández, 2013) y esto concuerda con los tamaños más finos encontrados en esta zona.

El transporte litoral de sedimentos es el proceso mediante el cual el material de la zona litoral es removido mediante el tren de oleaje que produce corrientes litorales (Marín-Guzmán y Carranza-Edwards, 2011). El viento es el responsable de producir corrientes dominantes a lo largo de la costa, las cuales presentan una dirección igual a la de la componente del vector viento a lo largo de la costa. Tomando en cuenta que los vientos cambian de dirección, estas corrientes pueden presentar variaciones a lo largo del año (Zavala-Hidalgo y Fernández, 2004).

4.3 GEOQUIMICA

4.3.1 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES

En la tabla 3, se muestran las concentraciones de elementos mayores analizados en las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos (A, B y C).

Crook (1974) subdivide a los sedimentos terrígenos en base a su contenido de SiO₂ y el cociente relativo de K₂O/Na₂O en tres clases: rico en cuarzo (promedio de SiO₂ mayor a 89 % y una relación K₂O/Na₂O>1) contenido intermedio de cuarzo (Promedio de SiO₂ entre 68- 74 % y una relación K₂O/Na₂O<1; y pobre en cuarzo (promedio de SiO₂ menor a 68 % y una relación K₂O/Na₂O<1).

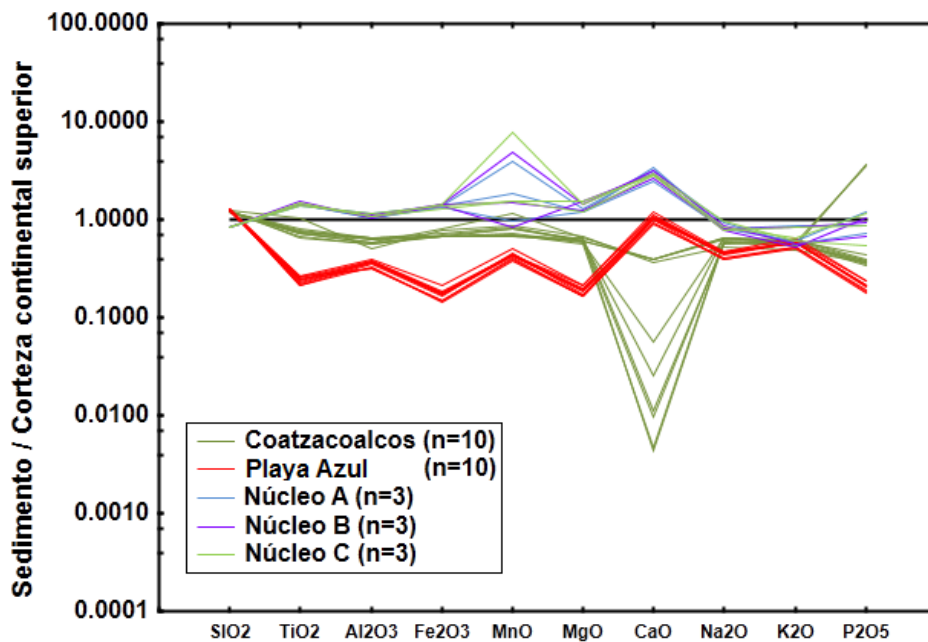


Figura 13 Diagrama normalizado de elementos mayores para las arenas de playa Coatzacoalcos, Playa Azul y los núcleos A, B, C, normalizados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).

Tabla 3 Elementos mayores (%) en arenas de Coatzacoalcos (Coz), Playa Azul (T-TAM), núcleos (A, B y C), Mzφ tamaño grafico promedio, PXC= perdida por calcinación.

Muestra	Mzφ	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ K	K ₂ O	P ₂ O ₅	PXC	SUMA
Coz1	2.56	79.40	0.38	9.63	3.00	0.05	1.73	1.61	1.97	2.43	0.07	1.950	100.31
Coz2	1.73	79.35	0.36	8.78	3.60	0.08	2.04	0.05	2.05	2.22	0.09	2.470	100.43
Coz3	2.07	81.13	0.51	7.60	3.56	0.06	1.86	1.52	1.67	2.08	0.07	1.840	100.29
Coz4	2.30	79.34	0.36	9.62	3.07	0.05	1.58	0.23	2.07	2.54	0.07	2.150	100.80
Coz7	1.98	80.82	0.32	8.51	3.09	0.06	1.68	0.04	1.89	2.24	0.07	2.050	100.41
Coz8	2.28	80.03	0.34	8.55	3.10	0.06	1.69	0.02	1.87	2.26	0.73	2.040	100.55
Coz9	2.3	80.45	0.37	8.97	2.99	0.05	1.60	0.02	1.90	2.35	0.07	1.930	100.35
Coz10	2.23	78.79	0.37	9.73	3.22	0.06	1.82	0.1	2.10	2.49	0.08	2.280	100.56
Coz11	2.53	78.90	0.41	9.82	3.05	0.05	1.82	1.60	1.92	2.50	0.08	1.940	100.31
Coz12	2.47	78.44	0.38	9.89	3.03	0.05	1.64	1.61	2.01	2.51	0.72	1.960	100.33
T-TAM1	2.72	85.18	0.13	4.80	0.67	0.03	5.47	1.49	1.76	1.56	0.04	4.540	100.56
T-TAM2	2.82	85.29	0.11	4.96	0.64	0.03	5.23	1.41	1.75	1.60	0.04	4.410	100.59
T-TAM3	2.78	84.72	0.12	4.88	0.67	0.03	5.92	1.69	1.72	1.53	0.04	4.810	100.58
T-TAM4	2.82	83.71	0.11	5.46	0.80	0.03	5.71	1.47	1.99	1.76	0.04	4.830	100.60
T-TAM5	2.78	83.04	0.13	5.70	0.79	0.03	6.11	1.54	1.96	1.76	0.04	5.190	100.62
T-TAM6	2.8	81.40	0.13	6.08	0.94	0.03	6.86	1.82	2.20	1.83	0.05	5.650	100.61
T-TAM7	2.8	82.47	0.12	5.84	0.84	0.03	6.35	1.70	2.09	1.75	0.05	5.250	100.61
T-TAM8	2.77	83.34	0.12	5.52	0.77	0.03	5.98	1.56	2.01	1.76	0.04	5.030	100.61
T-TAM9	2.77	84.08	0.11	5.35	0.74	0.03	5.59	1.30	1.97	1.71	0.04	4.900	100.61
T-TAM10	2.72	83.43	0.12	5.60	0.76	0.03	5.79	1.45	2.00	1.80	0.04	4.930	100.60
A 30-31	N/A	47.15	0.59	15.01	5.33	0.11	2.25	8.89	2.67	2.45	0.15	15.80	100.39
A 300-301	N/A	43.54	0.58	12.78	4.87	0.05	2.14	11.53	2.49	1.67	0.19	19.54	99.38
A UP	N/A	42.84	0.56	12.31	4.91	0.22	2.23	10.36	2.81	1.49	0.11	20.06	97.90
B 30-31	N/A	46.76	0.60	14.45	5.53	0.09	2.30	9.39	2.69	2.41	0.16	16.45	100.82
B 330-331	N/A	44.58	0.58	13.02	4.98	0.05	2.68	9.78	2.43	1.44	0.17	19.44	99.15
B UP	N/A	42.50	0.60	12.37	5.04	0.26	2.42	10.37	2.59	1.48	0.10	19.42	97.15
C 30-31	N/A	45.80	0.58	14.44	5.23	0.09	2.21	9.82	2.52	2.39	0.14	17.12	100.35
C 359-360	N/A	45.68	0.58	13.24	4.76	0.09	2.78	9.78	2.65	1.78	0.19	18.02	99.55
C UP	N/A	42.68	0.59	12.62	5.10	0.43	2.48	9.79	3.01	1.62	0.09	19.19	97.58

Para las arenas de Coatzacoalcos el contenido promedio es SiO₂ es (79.665 ± 0.858) y presenta un cociente K₂O/Na₂O (0.824 ± 0.038) menor a 1, mientras que el contenido promedio de SiO₂ en las arenas de Playa Azul es (83.668 ± 1.155) y con un cociente K₂O/Na₂O (1.138 ± 0.033) que presenta un valor mayor a 1, lo cual indica enriquecimiento en cuarzo en los sedimentos de la playa de Playa Azul, y contenidos intermedios de cuarzo para Coatzacoalcos.

Para los lodos de los núcleos de plataforma del Golfo de México el promedio de SiO_2 son: A (44.509 ± 1.888) con un cociente $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.707 ± 0.161) menor a 1, para B (44.612 ± 1.741) con un cociente $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.687 ± 0.148) menor a 1 y para C (44.719 ± 1.443) con un cociente $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0.720 ± 0.172) menor a 1, que, en promedio para los tres núcleos representa empobrecimiento de cuarzo.

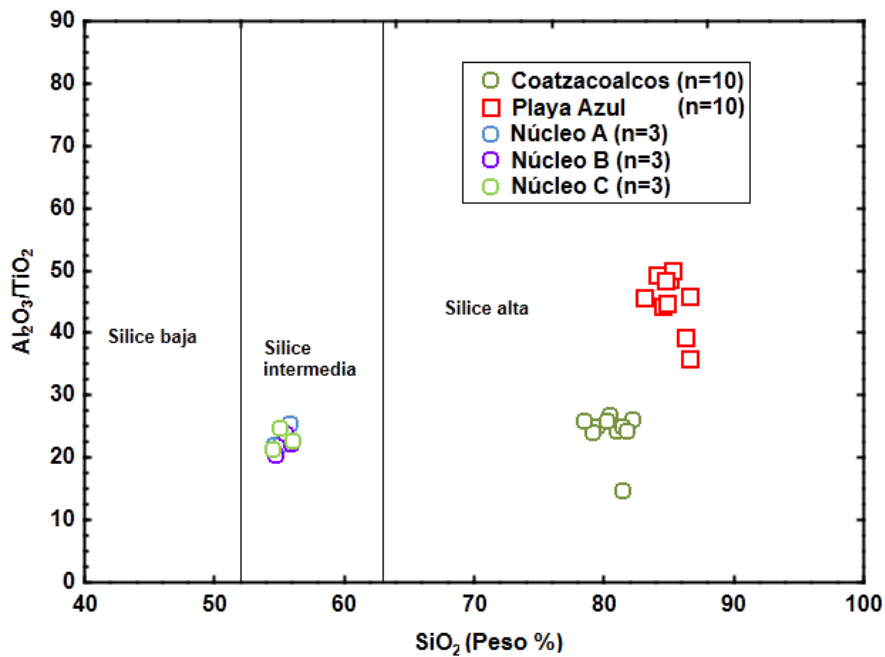


Figura 14 Relación entre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ vs SiO_3 para las arenas de playa Coatzacoalcos y Playa Azul, así como para los núcleos A, B y C (Le Bas et al., 1986) n = número de muestras.

En la Figura 14 se muestra la composición de las arenas procedentes de playa (Coatzacoalcos y Playa Azul) son clasificadas como altas en silicio, mientras que los lodos de núcleos (A, B y C) son clasificadas como sílice medio. Las arenas de Coatzacoalcos ($\text{SiO}_2 = 78-83\%$), las de Playa Azul ($\text{SiO}_2 = 83-88\%$), y para los núcleos presentan un promedio de ($\text{SiO}_2 = 54-56\%$), con respecto de SiO_2 (Le Bas et al., 1986).

La relación respecto $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ en las arenas presentan una variación siendo más amplia en las arenas de Playa Azul ($\sim 51\sim 36$, 45 ± 4.3 , $n=10$), que en las arenas de Coatzacoalcos ($\sim 27\sim 15$, 24 ± 3.3 , $n=10$), estas diferencias observadas en la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ entre las arenas de Playa Azul y Coatzacoalcos se debe a las diferencias en el tamaño de grano entre las dos playas (Bakkiaraj *et al.*, 2010) mientras que para los núcleos presentan A ($\sim 22\sim 25$, 23 ± 1.6 , $n=3$), B ($\sim 24\sim 20$, 22.3 ± 1.4 , $n=3$) y C ($\sim 25\sim 21$, 23 ± 1.4 , $n=3$).

El contenido de Al_2O_3 , es relativamente más alto en las arenas de Coatzacoalcos ($\sim 10\sim 8$, 9 ± 0.7 , $n=10$), que en las arenas de Playa Azul ($\sim 6\sim 5$, 5 ± 0.4 , $n=10$), esto puede explicarse para Playa Azul que la selectividad de las arenas finas compuestas por cuarzo es efectuada por el transporte eólico/litoral que causa el incremento de sílice y por tanto el empobrecimiento de aluminio, mientras que en Coatzacoalcos el transporte litoral predominante causa una redistribución de las aportes del sedimento arenoso de grano medio por influencia del río Coatzacoalcos.

Las relaciones entre $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dependen de la madurez de los sedimentos (Le Maitre, 1976). La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tiende a incrementarse cuando mejora la clasificación de los sedimentos; los valores promedio de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ son de -3 en rocas maficas (basaltos); las rocas ígneas intermedias van de 3 a 5 y en rocas acidas el valor se aproxima a -5 tales como riolitas y granitos, mientras que valores mayores a 5 o 6 se presentan en rocas sedimentarias.

Por otra parte, la relación $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ tiene un decremento cuando disminuye el tamaño de grano (Armstrong Altrin *et al.*, 2012), como resultado del efecto de dilución del cuarzo, y a su vez, las relaciones promedio $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ de una playa tienden a incrementarse cuando cambia la composición de la roca fuente en el orden de máfica<intermedia<félsica.

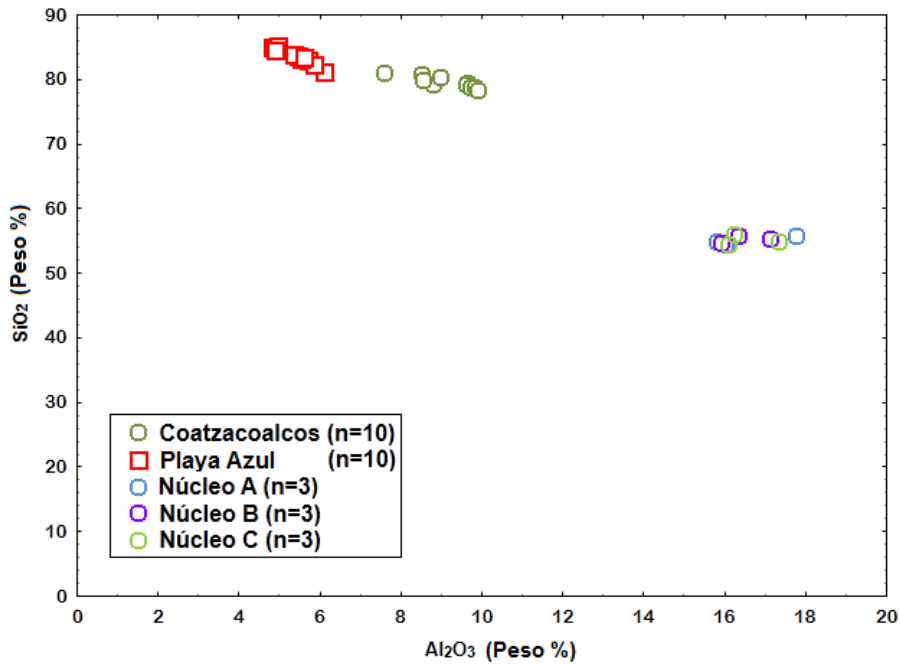


Figura 15 Diagrama binario SiO_2 vs Al_2O_3 para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos (A, B y C).

La relación SiO_2 / Al_2O_3 (Figura 15) de las arenas de Playa Azul es más alta (15.54 ± 1.38) que en Coatzacoalcos (8.81 ± 0.83), mientras que para los núcleos es más baja para A (3.34 ± 0.15), para B (3.37 ± 0.09) y C (3.33 ± 0.12). El incremento en las relaciones SiO_2 / Al_2O_3 de Playa Azul con respecto de Coatzacoalcos indica que la madurez composicional es más alta para las arenas de Playa Azul y difiere por mucho a los sedimentos de plataforma de núcleos A, B y C.

La relación K_2O/Al_2O_3 es más alta en las arenas de Playa Azul (0.36 ± 0.01) que en las arenas de Coatzacoalcos (0.21 ± 0.01) dado que los sedimentos de Playa Azul son más finos (2.72 a 2.86ϕ) que los de Coatzacoalcos. La relación K_2O/Al_2O_3 es baja para los sedimentos de núcleos A (0.14 ± 0.02), para B (0.14 ± 0.02) y para C (0.13 ± 0.03).

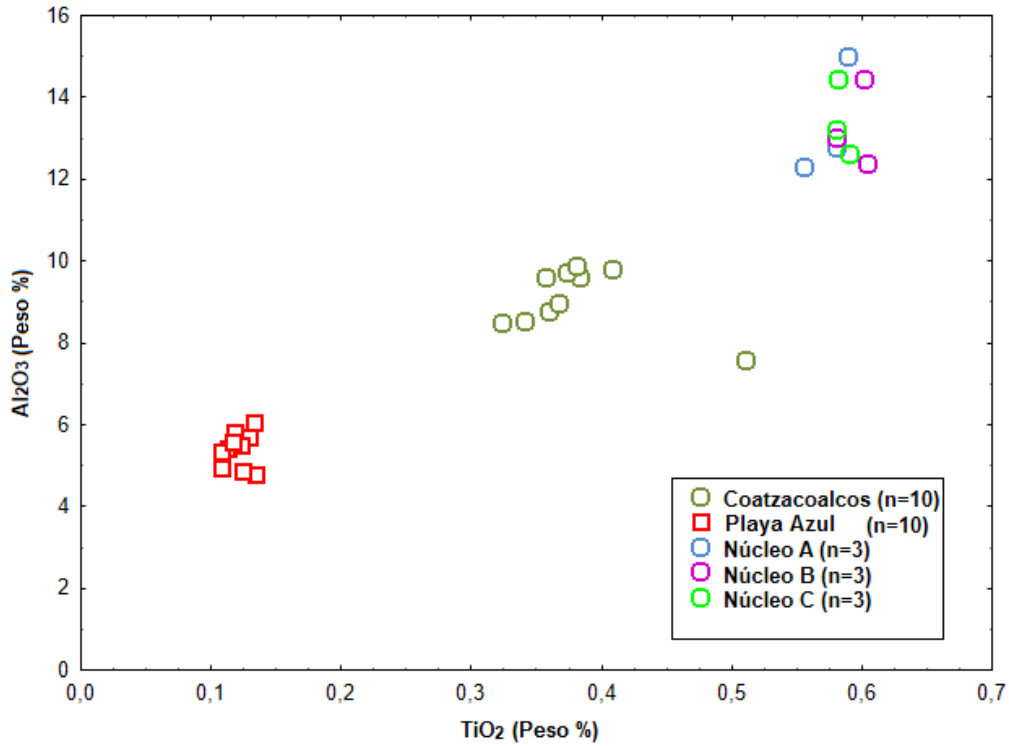


Figura 16 Diagrama binario TiO_2 vs Al_2O_3 para las arenas de Playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y Núcleos A, B y C.

Las mediciones de correlación entre TiO_2 vs Al_2O_3 (Figura 16) en las arenas de Coatzacoalcos ($r = -0.36$, $n = 10$) es pequeña y negativa, mientras que en las arenas de Playa Azul ($r = 0.13$, $n = 10$) no existe correlación, indicando que no existe relación entre estos dos elementos. Los lodos de núcleos A ($r = -0.85$, $n = 3$), B ($r = -0.88$, $n = 3$), C ($r = -0.75$, $n = 3$) presentan correlaciones más altas y negativas.

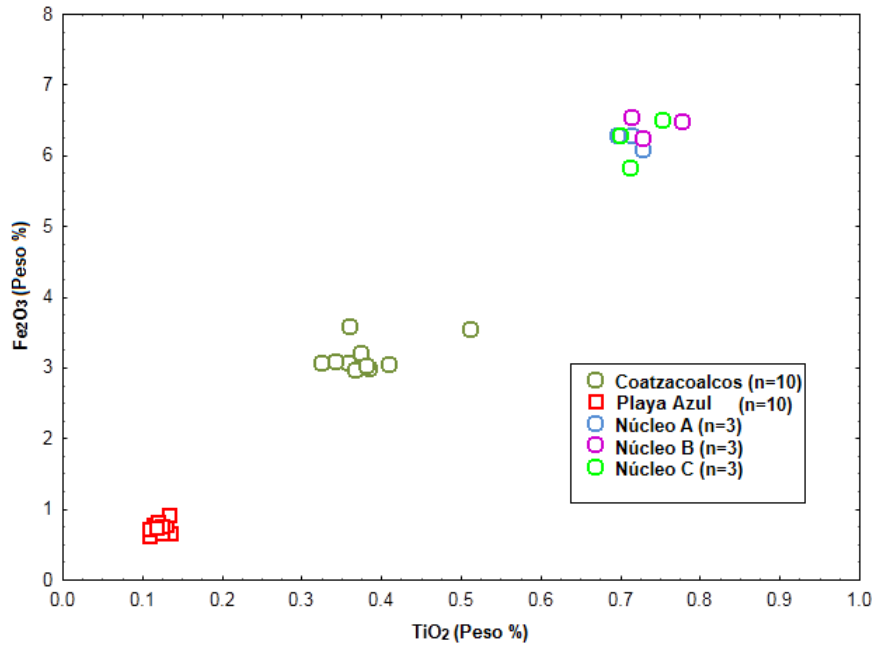


Figura 17 Diagrama binario Fe_2O_3 vs TiO_2 para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B, y C.

El valor de correlación para Fe_2O_3 vs TiO_2 (Figura 17) es muy bajo para las arenas de Playa Azul ($r=0.27$), pero más alto para las arenas de Coatzacoalcos ($r= 0.48$), mientras que para los núcleos las correlaciones son más altas en A ($r= 0.65$), B ($r= 0.52$) y C ($r= 0.42$).

Los valores de correlación altos entre Ti y Fe para los núcleos A, B y C y de la playa Coatzacoalcos indican que tienen un aporte significativo de minerales pesados, mientras que la baja correlación en la playa de Playa Azul revela que no hay presencia de minerales pesados.

También existe una buena correlación entre los valores de altos entre Fe y Mg para los núcleos A (0.45, $n=3$), B (0.91, $n=3$) y C (0.51, $n=3$) y de las playas Coatzacoalcos (0.67, $n=10$), incluso en Playa Azul (0.91, $n=10$), lo que indica que deben tener un aporte significativo de ferromagnesianos como el olivino (Figura 18).

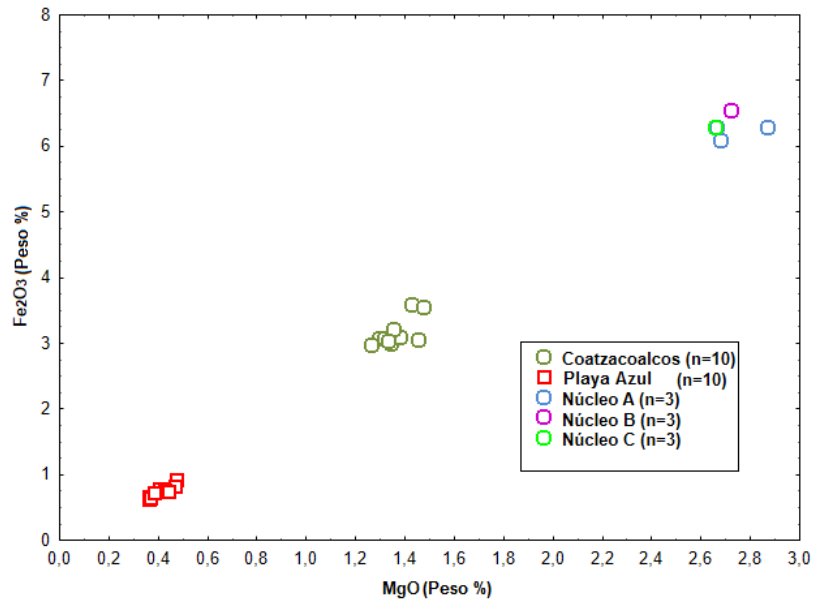


Figura 18 Diagrama binario MgO vs Fe_2O_3 para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B, y C.

En las arenas de Coatzacoalcos el calcio se encuentra sumamente empobrecido (0.13 ± 0.01) mientras las arenas de Playa Azul también presentan valores bajos (1.5 ± 0.15), el bajo contenido de CaO y el alto contenido de SiO_2 implican una gran depósito de sedimentos terrígenos y una ausencia de plagioclasa cálcicas (rocas intermedias y máficas) en la región donde se encuentra la roca fuente (Bhatía, 1983). Las concentraciones de CaO para las muestras de núcleos son más altas que las de arenas de playas; para A (10.26 ± 1.08), B (9.9 ± 0.40) y C (9.78 ± 0.02).

Las concentraciones del resto de los elementos mayores de las arenas de playa de Coatzacoalcos y Playa Azul no son significativas. En cuanto a los contenidos de MnO y P_2O_5 que son más altos en los núcleos, los estudios geoquímicos sugieren que la concentración de manganeso y fósforo está restringida por la concentración de carbonato (Barber, 1976), el cual se encuentra ausente en los sedimentos y el bajo contenido de Magnesio en las arenas de Playa Azul se debe a la escasez de minerales de origen máfico en las arenas.

En el diagrama de clasificación geoquímica de $\text{Na}_2/\text{K}_2\text{O}$ vs $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 19) (Pettijohn *et al.*, 1972), y el de $\text{Log Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ vs $\text{Log SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Figura 20) (Herron 1988) las arenas de Coatzacoalcos se clasifican como arenas líticas, las de Playa Azul como arenas subfeldespáticas y los lodos de los Núcleos A, B y C son clasificados concordantemente y geoquímicamente como lodos.

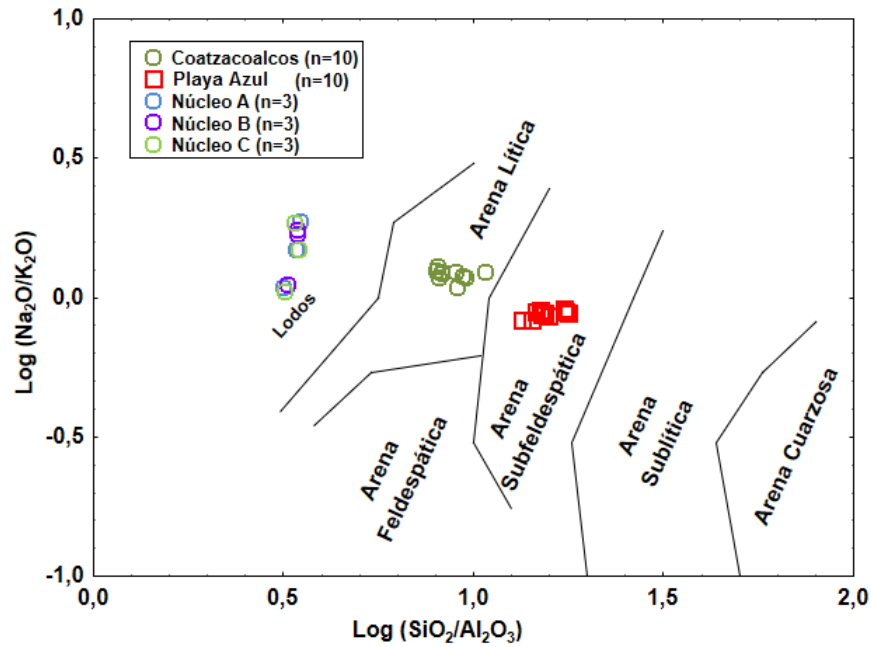


Figura 19 Clasificación geoquímica de arenas de playa (Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C) usando $\text{log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ vs $\text{log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn *et al.*, 1972).

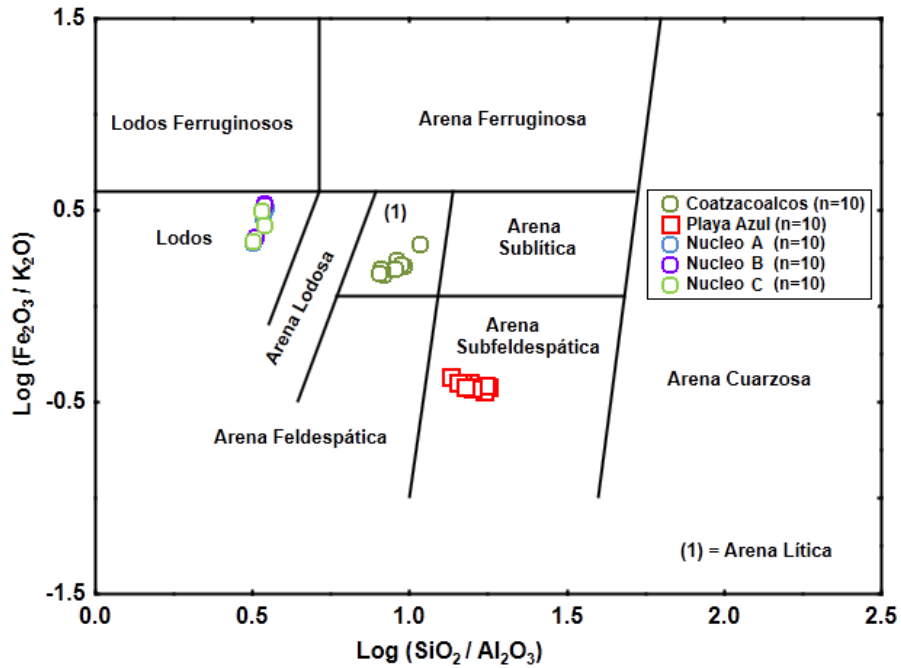


Figura 20 Clasificación geoquímica de arenas de playa (Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C) usando $\log (Fe_2O_3/K_2O)$ vs $\log SiO_2/Al_2O_3$ (Herron, 1988).

4.3.2 GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA

Las concentraciones de elementos traza se indican en la tabla 4 y en la figura 21 se presentan los patrones de comportamiento con respecto a la corteza continental. En comparación con los valores de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985) la concentración de las muestras de arena de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul muestran un comportamiento similar, encontrándose empobrecidas en la mayoría de los elementos traza y solo muestran enriquecimiento en V, Zn, Ba y Pb, con concentraciones relativamente menores de Sr, Co y Sc, las arenas de núcleos presentan concentraciones altas para la mayoría de los elementos traza y un enriquecimiento en Cs, Sc, Cr, Nb, Pb y Sr así como en Ta.

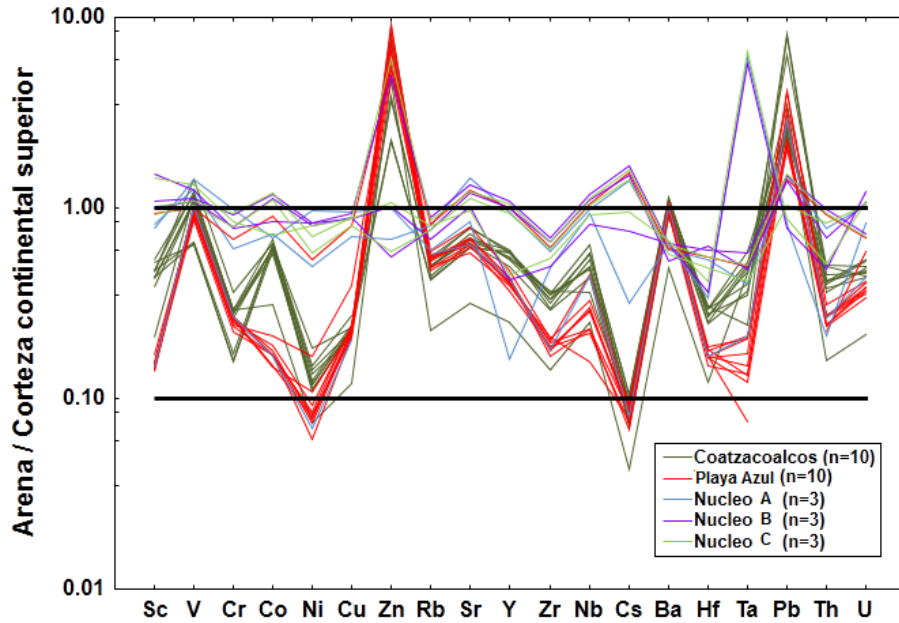


Figura 21 Diagrama normalizado multielementos para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos (A, B y C), normalizados con el promedio de corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).

Los procesos que controlan la distribución de los elementos traza en los sedimentos pueden ser estudiados usando normalizaciones similares los diagramas spider que se usan en la petrología ígnea aunque estos no se encuentran ampliamente desarrollados para sedimentos y rocas sedimentarias. Cullers (1988) menciona que los feldespatos controlan la concentración de Ba, Na, Rb, y Ce, mientras que los minerales ferromagnesianos controlan las concentraciones de Ta, Fe, Co, Sc, y Cr, el Hf es controlado por el Zircón, mientras que las REE y el Th son controladas por la esfena.

Tabla 4 Concentraciones de elementos traza (en ppm)

Muestra	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y
Coz1	6.390	130.026	24.387	10.328	5.206	5.867	272.950	54.908	238.614	13.183
Coz2	5.242	114.892	22.057	10.643	4.925	5.643	160.145	47.587	217.335	12.877
Coz3	7.341	125.406	24.094	11.588	5.493	6.071	162.506	46.801	217.927	12.909
Coz4	5.896	113.493	23.006	10.472	4.814	5.684	262.204	56.257	234.130	12.266
Coz7	5.760	117.610	23.288	9.767	5.295	5.680	543.505	49.168	228.565	10.857
Coz8	2.841	123.167	24.081	5.290	3.288	3.002	331.708	25.564	110.086	5.544
Coz9	6.320	151.402	29.927	11.043	6.532	6.795	953.535	55.223	245.475	12.075
Coz10	5.910	69.846	13.037	10.271	5.877	5.282	639.523	55.338	256.418	11.753
Coz11	7.059	68.550	13.076	10.977	6.192	5.739	537.541	58.855	280.411	12.892
Coz12	6.386	71.394	14.392	10.953	8.097	5.918	757.573	61.829	274.286	13.234
TTAM1	2.090	96.982	20.051	3.646	7.312	9.817	436.731	55.430	203.665	8.589
TTAM2	1.886	105.740	21.557	2.473	4.764	5.759	392.421	54.762	223.248	8.045
TTAM3	1.914	104.592	21.834	2.520	3.492	5.670	651.524	52.553	215.641	9.471
TTAM4	2.077	102.436	22.241	3.042	3.438	5.661	522.795	62.869	220.127	9.043
TTAM5	2.043	96.853	19.944	2.859	3.633	5.242	350.950	60.764	242.687	9.518
TTAM6	2.297	101.242	20.842	3.242	4.065	5.982	581.113	66.459	276.393	10.280
TTAM7	1.957	92.616	18.644	2.870	3.250	5.512	482.316	58.884	238.802	9.276
TTAM8	2.041	109.085	22.008	2.879	3.736	6.089	441.625	61.005	228.394	8.715
TTAM9	1.998	110.749	22.419	2.865	2.698	5.328	769.837	62.728	228.939	8.880
TTAM10	1.973	108.163	22.459	2.831	3.062	5.078	992.948	64.428	225.310	9.346

	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y
A 30-31	351.859	151.190	81	11.935	42.589	23.733	71.507	67.743	299.343	3.529
A 300-301	330.478	134.246	50	12.487	21.695	17.598	48.760	90.478	502.457	20.789
A UP	335.282	107.608	57	15.427	23.374	20.288	381.375	91.493	431.775	22.160
B 30-31	361.268	131.733	64	14.441	36.611	21.770	71.640	76.207	356.560	9.214
B 330-331	291.432	115.456	66	18.964	35.689	22.424	39.547	86.452	420.356	22.054
B UP	360.732	120.327	77	19.985	36.620	23.424	352.650	99.291	460.369	24.064
C 30-31	372.821	140.652	70	12.292	35.517	22.011	75.601	91.192	336.371	9.761
C 359-360	312.153	110.260	65	18.632	25.689	20.145	41.651	86.547	390.456	20.456
C UP	352.246	116.540	77	20.476	30.914	22.298	430.175	96.202	428.845	23.232

Continuación

	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	TH	U
Coz1	56.733	6.431	0.441	580.743	1.447	0.487	59.310	4.308	1.309
Coz2	66.631	5.834	0.325	493.600	1.718	0.591	45.245	4.343	1.490
Coz3	67.628	7.677	0.341	526.251	1.720	0.516	47.891	3.951	1.212
Coz4	67.557	5.695	0.433	597.645	1.720	0.400	40.995	5.229	1.385
Coz7	55.307	5.197	0.340	525.954	1.442	0.367	45.985	3.806	1.350
Coz8	26.880	3.031	0.196	266.394	0.703	0.452	43.031	1.658	0.610
Coz9	69.560	4.327	0.420	585.492	1.782	0.243	134.204	4.164	1.482
Coz10	63.154	5.961	0.435	563.351	1.604	0.347	139.912	4.670	1.265
Coz11	63.017	6.871	0.486	616.854	1.592	0.465	106.948	5.180	1.225
Coz12	60.075	7.022	0.479	623.604	1.550	0.502	40.738	4.388	1.286

TTAM1	39.771	1.862	0.357	516.317	0.970	0.076	179.740	2.354	1.661
TTAM2	35.263	2.626	0.344	546.769	0.944	0.122	36.167	2.509	0.949
TTAM3	31.776	2.791	0.317	512.072	0.860	0.134	38.973	2.554	1.033
TTAM4	38.212	5.355	0.402	560.251	1.035	0.212	38.895	2.873	1.058
TTAM5	34.235	3.507	0.403	541.146	0.973	0.207	34.606	2.813	0.997
TTAM6	39.069	3.952	0.436	576.331	1.089	0.206	68.781	3.294	1.157
TTAM7	33.665	3.640	0.380	520.198	0.955	0.173	69.429	2.869	1.024
TTAM8	37.309	2.795	0.391	581.480	1.042	0.133	52.375	2.821	1.138
TTAM9	35.673	3.428	0.386	577.229	0.959	0.148	56.353	2.542	1.087
TTAM10	34.583	5.295	0.371	556.483	0.959	0.213	49.811	2.760	1.201

	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	TH	U
A 30-31	92.72	11.225	1.461	351.859	1.966	6.205	13.907	2.257	2.329
A 300-301	112.43	11.780	6.435	330.478	3.123	0.398	25.046	8.254	2.873
A UP	118.87	12.689	7.017	335.282	3.224	0.496	24.182	9.752	1.955
B 30-31	93.46	9.824	3.471	361.268	2.098	5.706	13.250	4.971	3.423
B 330-331	125.25	13.240	6.864	291.432	3.678	0.474	23.473	7.256	3.010
B UP	132.83	14.201	7.663	360.732	3.502	0.577	25.315	10.366	2.059
C 30-31	104.13	10.992	4.364	372.821	2.397	6.625	14.951	5.364	3.041
C 359-360	115.26	12.423	6.542	312.153	2.836	0.412	17.580	8.764	2.876
C UP	125.51	13.538	7.307	352.246	3.201	0.503	25.812	9.907	1.977

4.3.2.1 ELEMENTOS LITÓFILOS DE RADIO IÓNICO GRANDE (LILE): Rb, Ba, Sr, Th, y U

La buena correlación entre K_2O vs. Rb ($r= 0.87$, $n=10$) y entre K_2O vs Ba ($r= 0.58$, $n = 10$) para la playa de Playa Azul consistente con la presencia de feldespatos (Cullers, 1988), donde el contenido de Ba (548.827 ± 24.717) y Rb (59.988 ± 4.285) son más altos que en las arenas de Coatzacoalcos y los núcleos de plataforma.

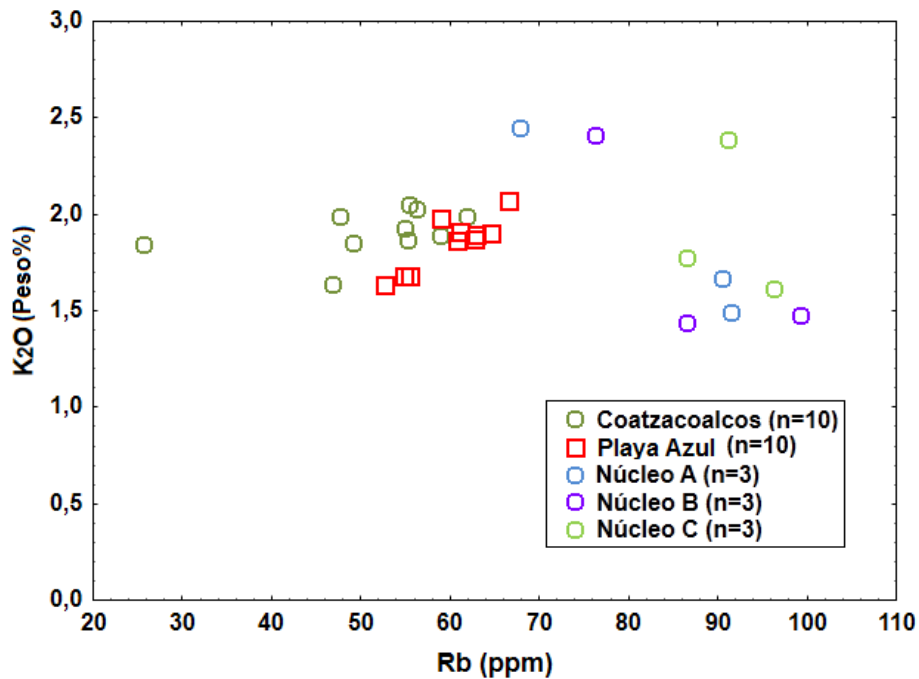


Figura 22 Diagrama binario K_2O vs Rb para las arenas de playa de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.

Las muestras estudiadas de las áreas de Coatzacoalcos y Playa Azul tienen concentraciones altas de Ba, Zn, Sr, mientras que Cs, Ta, U se encuentran empobrecidos.

El comportamiento de estos elementos es distinto en cuando a las muestras de núcleos de plataforma se encuentran empobrecidos de Co y Cs, pero concentraciones más altas de Sc, Sr.

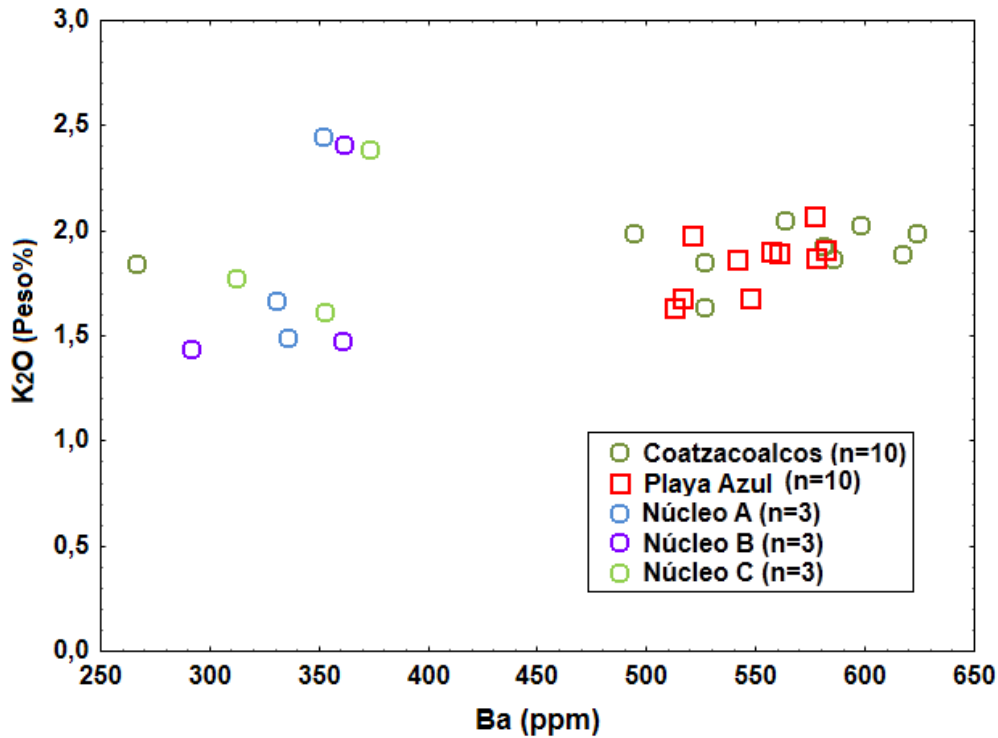


Figura 23 Diagrama binario K_2O vs Ba para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.

4.3.2.2 ELEMENTOS DE ALTO POTENCIAL DE IONIZACIÓN (HFSE): Y, Zr, Nb, Hf.

Los elementos de alto potencial de ionización se encuentran sumamente empobrecidos (Figura 24) tanto para las arenas de Coatzacoalcos y Playa Azul, sin embargo, las correlaciones en las arenas de Coatzacoalcos de Zr y Hf ($r=0.99$, $n=10$) son más altas que en las arenas de Playa Azul Zr y Hf ($r=0.78$, $n=10$), lo cual indica el efecto de la clasificación o sorteo de los sedimentos durante su transporte, siendo positiva la correlación indica que tiene un origen común en el mineral zircón.

Así mismo para los lodos de núcleos de plataforma presentan una buena correlación positiva Hf y Zr, A ($r=0.99$, $N=3$), B ($r=0.96$, $n=3$) y C ($r=1$, $n=3$)

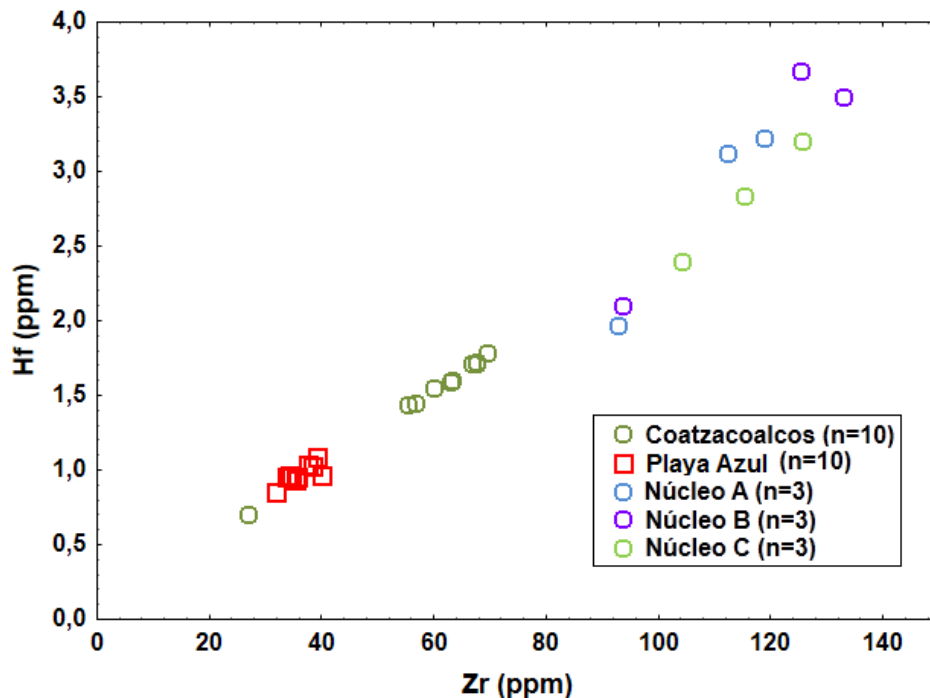


Figura 24 Diagrama binario *Hf* vs *Zr* para las arenas de Coatzacoalcos, Playa Azul y núcleos A, B y C.

4.3.2.3 ELEMENTOS TRAZA DE TRANSICIÓN (TTE); V, Cr, Co, Cu, Ni, y Sc

Estos elementos tienen un comportamiento similar tanto en las arenas de Coatzacoalcos y Playa Azul y se encuentran en concentraciones intermedias, con excepción del V, las concentraciones de TTE para los núcleos tienen un comportamiento similar entre A, B y C con concentraciones altas de Sc y V.

Las concentraciones de Ni para Playa Azul (~2.69 - 7.31), para Coatzacoalcos (~3.28 - 8.01) siendo concentraciones bajas, mientras que para los núcleos son altas A (~21.67 - 42.60), B (~35.69 - 36.62) y para C (~25.69 - 35.51).

Los contenidos de Cr son moderadamente bajos para las arenas de Playa Azul (18.64-22.46), Coatzacoalcos (~ 13.07-24.38), mientras que para los lodos de núcleos presenta una concentración mayor A (~50 - 81), B (~ 64 - 77) y C (~65 - 77).

El Co en las arenas de Playa Azul se encuentra empobrecido (~2.47 - 3.65) comparado con las arenas de Coatzacoalcos (~5.29- 11.59) y para los núcleos la concentración es mayor A (~ 11.94 - 15.427), B (~14.41 - 19.99) y EC (~ 12.29 - 20.48).

Los contenidos de Cu son bajas para Coatzacoalcos (~3.0 - 6.78) un poco más altas para Playa Azul (~ 5.08 - 9.82) y con valores más altos en los lodos de núcleos A (~17.60 - 23.733), B (~21.77- 23.42) y C (~20.15- 22.29).

Las concentraciones de V son altas para la mayoría de las arenas, en Coatzacoalcos presenta una concentración menor a las demás (~68.55 - 151.40), para Playa Azul (~ 92.61 - 109.81), y para los núcleos son A (~107.61 - 151.19), B (~115.46 - 131.73) y C (~110.26- 140.65).

El Sc presenta un comportamiento diferente entre las arenas analizadas con mayor concentración en los lodos de núcleos A (~330.48 - 351.86), B (~291.43 - 361.27) y C (~ 312.15 - 372.82); mientras que para Coatzacoalcos (~ 2.84- 7.34) y Playa Azul (~ 1.89- 2.30).

4.3.3 GEOQUÍMICA DE TIERRAS RARAS

Los elementos lantánidos así como el Y y Sc comprenden el grupo de las tierras raras (REE por sus siglas en ingles) y no se encuentran como metales libres en la naturaleza. En la mayoría de los casos se encuentran presentes en las estructuras cristalinas de los minerales en forma covalente o iónica, bordeados por otras tierras raras y elementos no metalicos. Minerales como la monazita, zircón, xenotoma y esfena son minerales accesorios muy comunes en rocas graníticas y metamórficas (gneis). Debido a su resistencia al intemperismo químico y a su alta densidad, estos minerales son muy estables en ambientes cercanos a la superficie y son frecuentemente encontrados en depósitos de placer.

Las tierras raras en sedimentos terrígenos se encuentran esencialmente en la fracción limosa (Cullers, 1988) y representan un buen indicador sobre procedencia (McLennan, 2001)

Las diferencias en las concentraciones de tierras raras en los sedimentos depende de la composición de la roca fuente, de la adición de minerales accesorios y algunas veces de los procesos de intemperismo químico en el área donde se originan (Banfield y Eggleton, 1989). El fraccionamiento que puede afectar la distribución de tierras raras en los sedimentos fue discutido por McLennan (1989), donde sugiere que algunos minerales tales como el zircón, monazita y allanita son concentrados durante la sedimentación, debido a su alta densidad.

Las concentraciones de tierras raras (Tabla 5) de las playas, Coatzacoalcos, Playa Azul y Núcleos (A, B Y C), fueron normalizadas con valores de Condrita (Taylor y McLennan, 1985), y se muestran en las figuras 25, 26 y 27.

La concentración de ΣTR para las arenas de estudio varían significativamente para Coatzacoalcos van de (~35.55- 97.10), Playa Azul (~54.80- 64.35), y para núcleos A (~93.99- 142.60), B (~105.47- 153.90) y C (~ 107.760- 149.63), siendo B el de mayor concentración.

Tabla 5. Concentración de tierras raras (ppm)

Muestra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Coz1	17.24	30.662	3.514	13.944	2.973	0.913	2.656	0.338	2.092	0.382	1.088	0.179	1.238	0.181
Coz2	17.578	32.38	3.539	13.799	2.886	0.77	2.719	0.329	2.12	0.383	1.087	0.177	1.233	0.177
Coz3	16.302	30.451	3.47	13.519	2.892	0.824	2.619	0.349	2.013	0.385	1.081	0.177	1.201	0.18
Coz4	20.255	37.409	4.128	15.804	3.218	0.868	2.777	0.334	1.986	0.362	1.008	0.168	1.184	0.173
Coz7	16.421	29.428	3.247	12.522	2.608	0.791	2.344	0.299	1.754	0.319	0.933	0.148	1.051	0.152
Coz8	7.997	14.43	1.621	6.232	1.28	0.391	1.23	0.155	0.898	0.163	0.458	0.083	0.534	0.084
Coz9	17.223	31.802	3.435	13.265	2.823	0.843	2.64	0.31	1.939	0.359	1.025	0.157	1.211	0.174
Coz10	18.298	33.258	3.658	14.193	2.855	0.831	2.552	0.32	1.852	0.35	1	0.145	1.096	0.168
Coz11	23.554	41.319	4.232	15.811	3.108	0.948	2.752	0.339	2.057	0.376	1.078	0.167	1.188	0.172
Coz12	18.166	32.761	3.69	14.375	2.964	0.935	2.696	0.331	2.046	0.383	1.151	0.165	1.219	0.182
TTAM1	12.725	22.867	2.467	9.387	1.811	0.587	1.675	0.217	1.22	0.235	0.667	0.12	0.708	0.112
TTAM2	11.358	19.842	2.178	8.381	1.697	0.58	1.6	0.206	1.214	0.221	0.605	0.107	0.747	0.11
TTAM3	11.132	19.778	2.197	8.219	1.722	0.55	1.609	0.213	1.317	0.25	0.762	0.136	0.866	0.127
TTAM4	13.453	23.778	2.591	9.733	1.988	0.636	1.788	0.223	1.354	0.245	0.707	0.119	0.84	0.126
TTAM5	14.226	25.596	2.75	10.566	2.092	0.616	1.956	0.252	1.391	0.265	0.753	0.128	0.84	0.132
TTAM6	14.823	26.704	2.905	10.981	2.221	0.665	1.995	0.254	1.53	0.278	0.84	0.147	0.873	0.132
TTAM7	13.59	24.3	2.678	10.094	2.037	0.604	1.795	0.238	1.41	0.26	0.757	0.123	0.86	0.123
TTAM8	12.666	22.798	2.54	9.553	1.88	0.604	1.708	0.22	1.341	0.243	0.683	0.126	0.793	0.122
TTAM9	12.874	22.981	2.531	9.558	1.989	0.623	1.762	0.23	1.291	0.255	0.688	0.123	0.761	0.114
TTAM10	13.134	23.743	2.595	9.883	2.114	0.654	1.894	0.247	1.422	0.267	0.753	0.132	0.834	0.132
A 30-31	21.892	44.264	4.015	14.821	2.601	0.576	2.276	0.286	1.479	0.27	0.767	0.093	0.569	0.077
A300-301	29.873	58.976	7.169	25.638	5.045	1.01	4.278	0.689	3.798	0.777	2.22	0.298	2.012	0.298
A UP	29.971	59.001	7.214	25.779	5.118	1.007	4.386	0.702	3.895	0.781	2.113	0.305	2.021	0.303
30-31	22.116	48.827	4.617	17.32	3.261	0.713	3.02	0.403	2.187	0.415	1.22	0.162	1.056	0.152
B330-331	32.458	62.987	7.598	27.456	5.412	1.102	4.599	0.74	3.997	0.846	2.198	0.307	2.086	0.308
B UP	32.517	63.729	7.773	27.805	5.552	1.118	4.698	0.752	4.1	0.839	2.22	0.318	2.167	0.317
30-31	22.892	49.801	4.764	17.595	3.253	0.722	3.04	0.411	2.21	0.426	1.245	0.166	1.08	0.155
C359-360	31.576	61.982	7.452	26.987	5.146	1.034	4.465	0.707	3.753	0.752	1.998	0.306	1.965	0.299
C UP	31.67	62.035	7.59	27.173	5.39	1.058	4.574	0.719	3.95	0.793	2.093	0.311	1.977	0.302

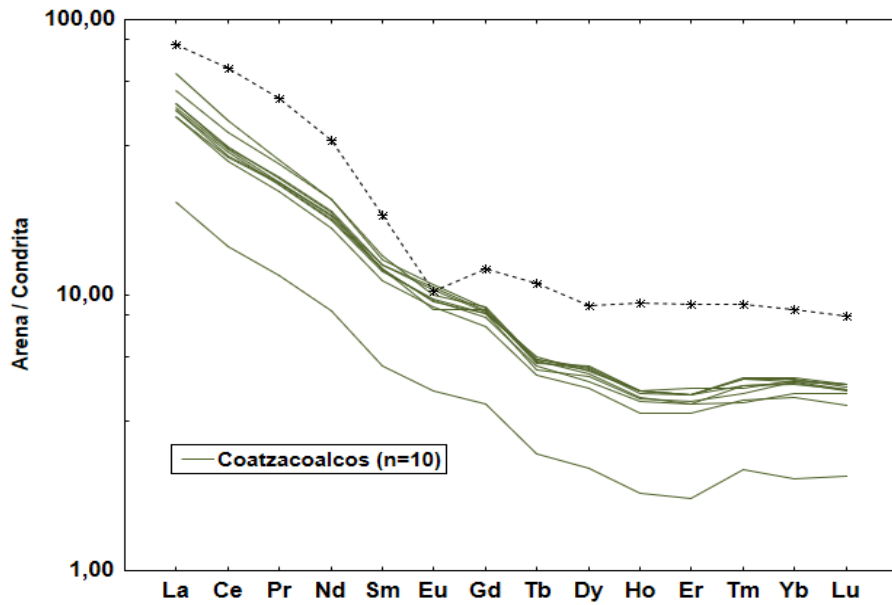


Figura 25 Diagrama spider para las arenas de playa Coatzacoalcos obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985)

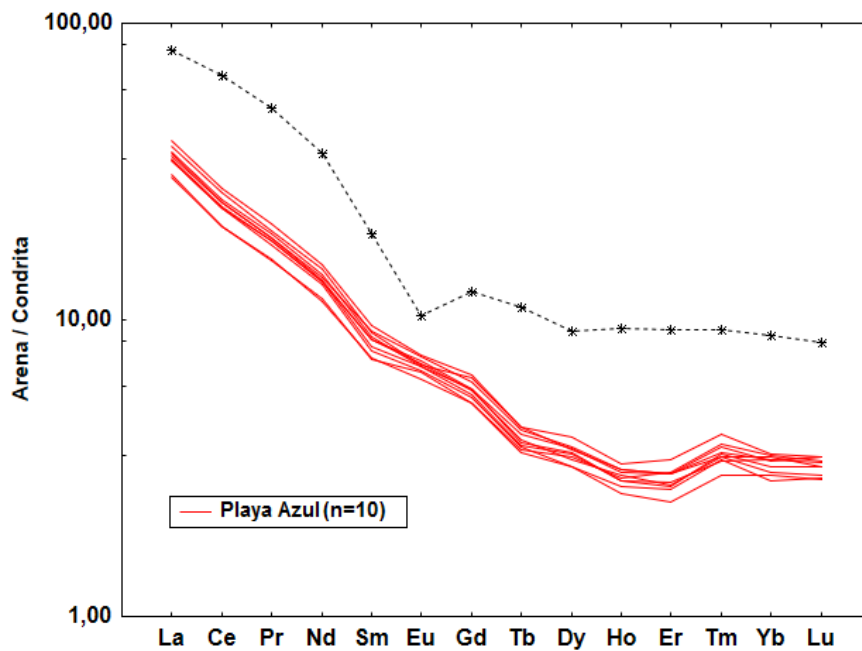


Figura 26 Diagrama spider para las arenas de Playa Azul obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985)

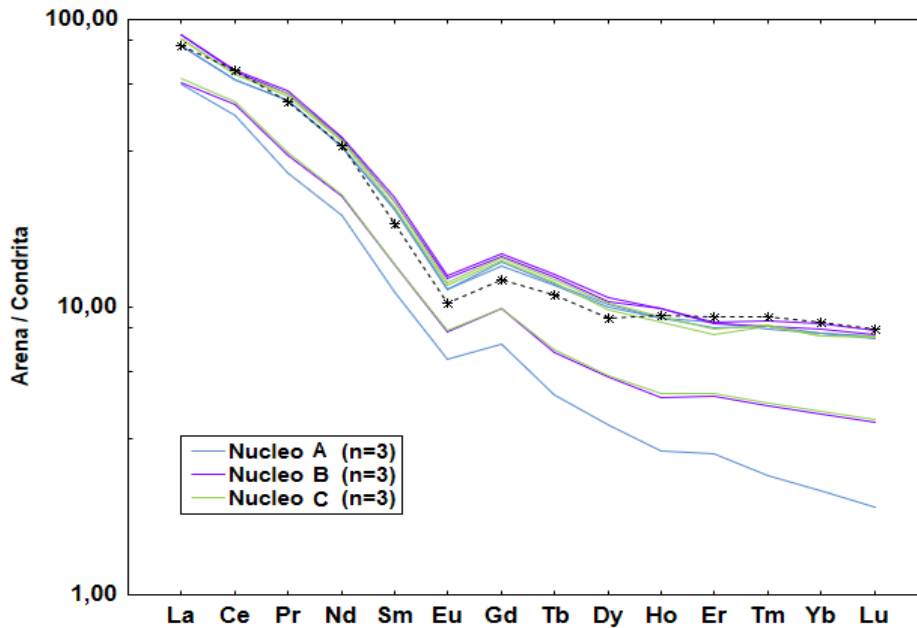


Figura 27 Diagrama spider para los lodos de núcleos A, B y C obtenidos con la normalización con valores condriticos y comparados con el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985)

Todas las muestras de arena de Coatzacoalcos y Playa Azul muestran patrones similares de tierras raras (Fig. 25 y 26) entre sus respectivas muestras que indica que probablemente presentan la misma roca fuente, presentan un enriquecimiento de tierras raras ligeras y empobrecimiento de tierras raras pesadas y una marcada anomalía positiva de Eu para las muestras de Playa Azul. Las muestras de lodo de los núcleos de plataforma A, B y C presentan patrones distintos de tierras raras (Fig. 27), lo que parece indicar diferentes fuentes del sedimento, muestran un enriquecimiento de tierras raras ligeras pero un mayor contenido de tierras raras pesadas que las arenas de Coatzacoalcos y Playa Azul, presentando mayoritariamente anomalías negativas de Eu; se presentan variaciones de la anomalía de Eu en las arenas de Playa Azul que va de las positivas a las negativas (Eu/Eu^* de 1.06 a 0.91) siendo predominantes las positivas, mientras que las arenas de Coatzacoalcos muestran en su totalidad anomalías negativas de Eu (Eu/Eu^* de 0.97 a 0.82).

Los lodos de los núcleos de plataforma muestran anomalías negativas de Eu (Eu/Eu^* de 0.7 a 0.63). Las diferencias entre los patrones de TR de las arenas de playa y la plataforma indican que los procesos sedimentarios han afectado su concentración.

La existencia de correlación entre Al_2O_3 vs ΣTR para las arenas de Coatzacoalcos ($r= 0.49$; $n=10$), Playa Azul ($r=0.879$; $n=10$), núcleo A ($r=0.988$; $n=3$), núcleo B ($r=0.962$; $n=3$), núcleo C ($r=0.951$; $n=3$), lo cual indica que la distribución de tierras raras está controlada por el tamaño de grano, mientras en Playa Azul el bajo valor de correlación indica que las tierras raras no dependen del tamaño de grano.

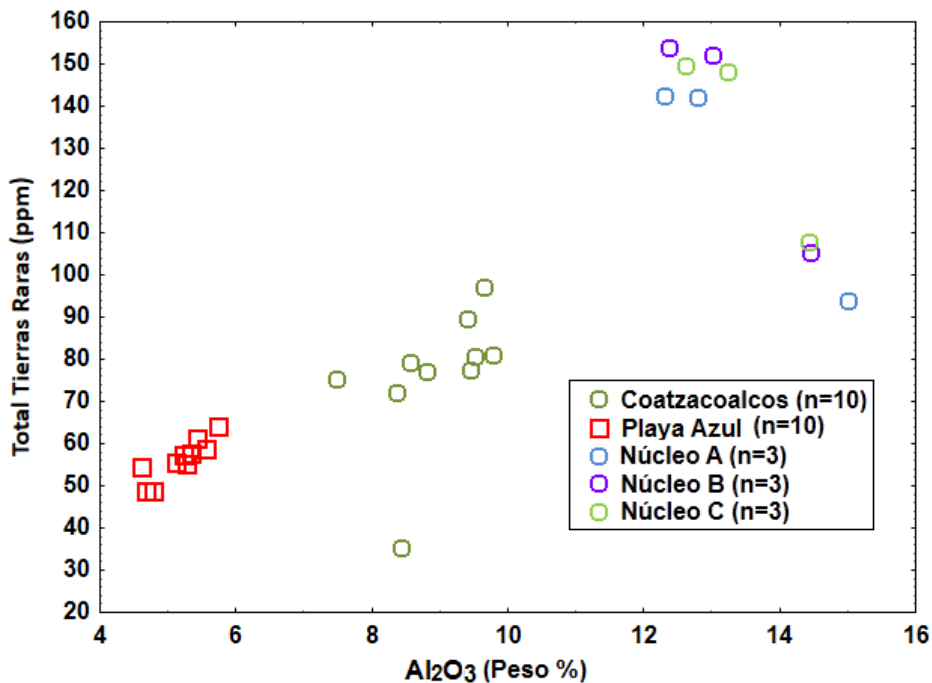


Figura 28 Diagrama ΣTR contra Al_2O_3 indicando las diferencias en las concentraciones de tierras raras de las arenas de playas Coatzacoalcos y Playa Azul así como los lodos de núcleos A, B y C.

La buena correlación entre Zr y Σ TR en las arenas de Coatzacoalcos ($r=0.865$, $n=10$) y en los núcleos de plataforma indica que el zircón controla la distribución de tierras raras, mientras que la baja correlación en las arenas de Playa Azul ($r=0.354$, $n=10$) indica que la distribución no es controlada por el zircón.

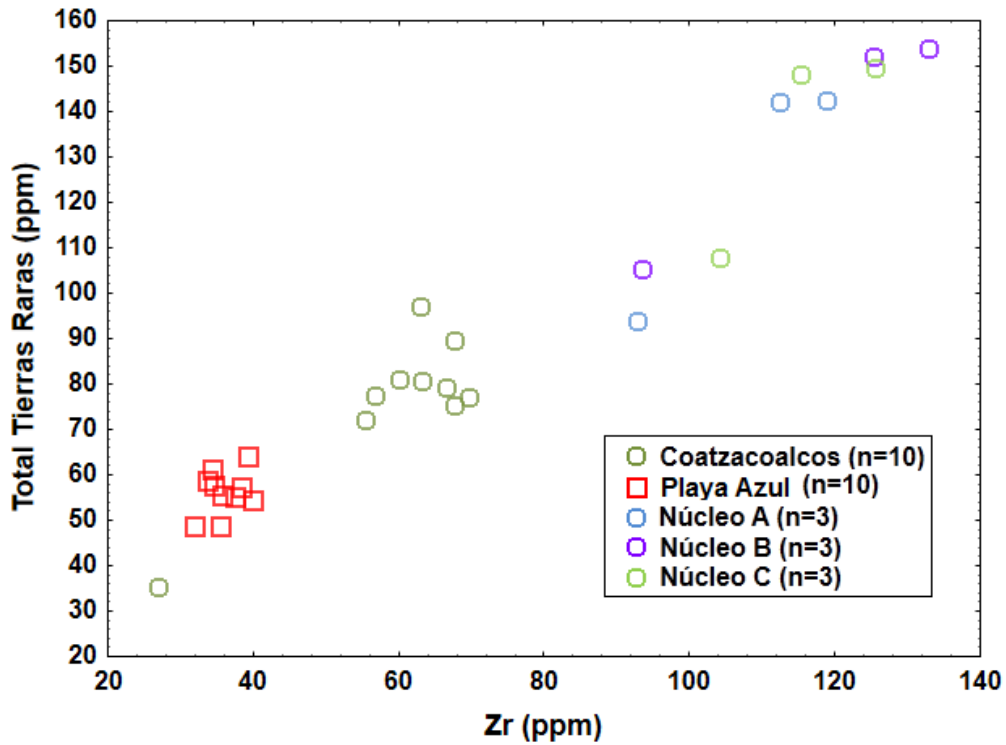


Figura 29 Diagrama binario Σ TR contra Zr para las arenas y lodos del presente estudio.

4.4 PROCEDENCIA

Los diagramas de funciones discriminantes propuestos por Roser y Korsh (1988) sirven para identificar la procedencia de sedimentos. El diagrama de función discriminante que utiliza elementos mayores permite separar la procedencia sedimentaria en cuatro grupos principales: ígneas máficas, intermedias y félsicas así como sedimentaria (Roser y Korsh, 1988). Las muestras de Playa Azul tienen una procedencia de reciclamiento sedimentario lo que concuerda con lo reportado por Tapia-Fernández (2013) para playas cercanas como Tuxpan y Tamiahua. La playa de Coatzacoalcos como los lodos de plataforma muestra una procedencia de rocas ígneas máficas.

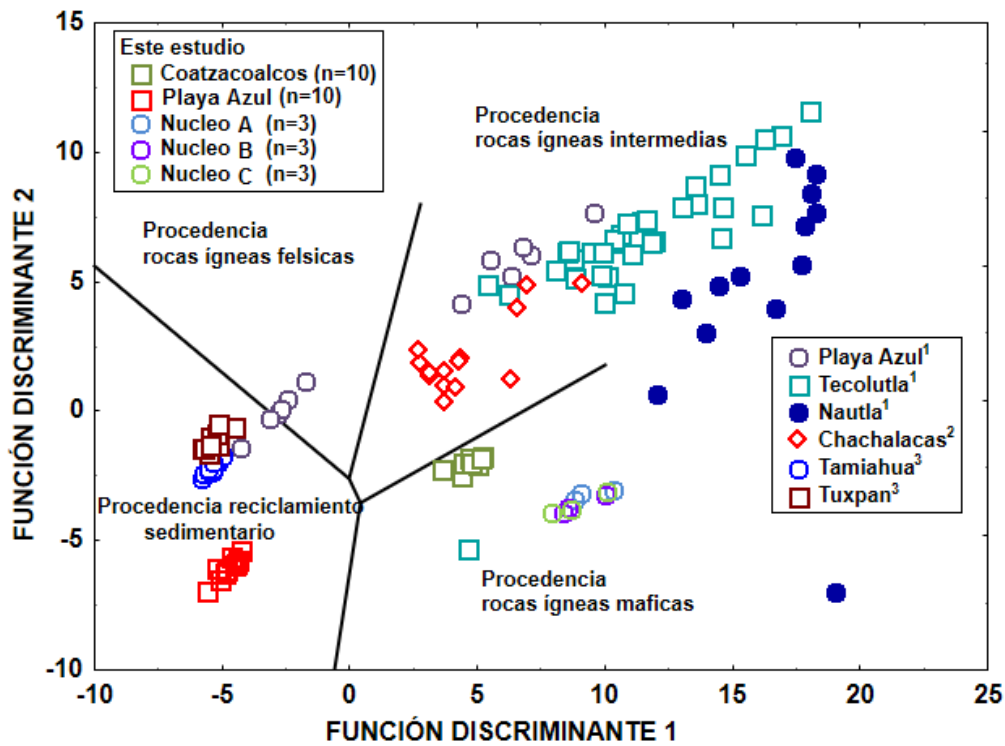


Figura 30 Diagrama de función discriminante para procedencia de sedimentos usando elementos mayores (Roser y Korsh, 1988). Las funciones discriminantes son: Función discriminante 1= $(-1.733 TiO_2) + (0.607 Al_2O_3) + (0.760 Fe_2O_3) + (-1.500 MgO) + (0.616 CaO) + (0.509 Na_2O) + (-1.224 K_2O) + (-9.090)$. Función discriminante 2 = $(0.445 TiO_2) + (0.070 Al_2O_3) + (-0.250 Fe_2O_3) + (-1.142MgO) + (0.438 CaO) + (1.475 Na_2O) + (-1.426 k_2O) + (-6.681)$. ¹Armstrong-Altrin et al. (2012); ²Ramirez-Munóz (2012).

Taylor y McLennan (1985) sostienen que el factor determinante en la composición de los sedimentos es la roca fuente. Sin embargo, procesos secundarios (intemperismo, transporte, procesos diagenéticos, etc.) pueden alterar la composición química (Cullers *et al.*, 1987; Wronkiewicz y Condie, 1987) y debido a esto, es recomendable utilizar elementos que presenten baja movilidad bajo ciertas condiciones geológicas, tener bajos coeficientes de partición en aguas naturales y tiempos de residencia en la corteza y océano cortos (Taylor y McLennan, 1985)

Las tierras raras, el Th y Sc son útiles para inferir sedimentos procedentes de la corteza superior, debido a que no son afectados significativamente por procesos secundarios como la diagénesis y metamorfismo, y son menos afectados por el fraccionamiento de minerales pesados que otros elementos como el Zr, Hf y Sn (Bhatía y Crook, 1986; McLennan, 2001)

La abundancia de tierras raras y Th son mayores en rocas ígneas félsicas que en rocas ígneas máficas y a su vez en sus productos e intemperismo. Mientras que Co, Sc, V, Ni y Cr se encuentran más concentrados en rocas máficas que en félsicas y en sus productos de intemperismo. Se cree que estos elementos son transportados exclusivamente en el componente terrígeno de los sedimentos y por tanto puede reflejar la química de la roca fuente (Veizer 1978; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008).

Diversos estudios han utilizado las concentraciones de Cr y Ni para inferir la procedencia ultramáfica de los sedimentos. Además el enriquecimiento inusual de Ni sin acompañamiento de los elementos traza ferromagnesianos (e.g. Cr) fue observado por Armstrong-Altrin *et al.*, 2004. Sugirieron que las altas concentraciones de Cr (>150 ppm) y Ni (>100 ppm), con un coeficiente de correlación elevado entre Cr y Ni y una proporción Cr/ Ni de aproximadamente 1.4 son indicativos de una fuente ultramáfica.

En este estudio, los contenidos de Cr no son tan bajos en las arenas de Coatzacoalcos (21.135 ± 5.388) como lo son en Playa Azul (21.200 ± 1.221), mientras que los lodos de núcleos presentan concentraciones más altas de este elemento, A (62.90 ± 13.39), B (68.84 ± 5.44) y C (71.01 ± 4.95). De manera similar las arenas de Coatzacoalcos son pobres en Ni (5.57 ± 1.19), en Playa Azul (3.99 ± 1.24), siendo altos para los núcleos A (29.21 ± 9.48), B (36.31 ± 0.47) y C (30.71 ± 4.02). el coeficiente Cr/Ni para las arenas de Coatzacoalcos es de 4.07 además de una correlación baja Cr/Ni ($r = 0.174$, $n=10$), para las arenas de Playa Azul el coeficiente es 5.79 con una correlación Cr/Ni ($r = 0.11$, $n=10$), para los lodos de núcleos A el coeficiente es de 2.2 con una correlación de ($r = 0.9857$, $n = 3$), B el coeficiente es 5.68 y presenta una correlación ($r = 0.19$, $n = 3$), y C el coeficiente es 2.34 con una correlación de ($r = .17$, $n = 3$)

Del mismo modo, las concentraciones de V y Sc (Tabla 4) pueden ser usadas para inferir la roca fuente. McLennan (1991) indica que la concentración de V en los sedimentos es de aproximadamente 20 ppm. En este estudio, las arenas de Coatzacoalcos muestran altas concentraciones de V (108.57 ± 27.24) y de Sc concentración más baja (5.92 ± 1.18) estos valores ponen de manifiesto la naturaleza máfica de la roca fuente. Las arenas de Playa Azul muestran concentraciones un poco más bajas de V (102.85 ± 5.65) y de Sc más bajos aun (2.03 ± 0.11), que implicaría la naturaleza félsica de estas arenas.

Las concentraciones de V y Sc para los lodos de núcleos son mayores para A el V es (131.02 ± 17.94) y Sc (339.06 ± 9.16), B en V (122.51 ± 6.82) y Sc (337.81 ± 32.80) y C en V (122.48 ± 13.10) y Sc (345.74 ± 25.19), lo que evidencia que tanto los lodos con las arenas de Coatzacoalcos tienen más influencia de rocas máficas.

4.4.1 AMBIENTE TECTÓNICO

Verma y Armstrong-Altrin (2005) proponen dos nuevos diagramas de función discriminante (Figura 31) basados en elementos mayores para discriminar entre tres ambientes tectónicos, arco (vulcanismo activo), *rift* continental (extensión) y colisión continental (compresión). Los factores que dominan la procedencia sedimentaria (condiciones del área fuente), son minimizados al mínimo debido a que trabajan solo con sedimentos siliciclásticos y subdividiendo la base de datos en dos tipos, sedimentos con alta sílice (contenidos de $(SiO_2) = 63\%-95\%$) y sedimentos de bajo sílice (contenidos de $(SiO_2) = 35\%-63\%$). Así, la dinámica de los ambientes tectónicos (en términos de la tectónica de placas) probablemente domina la composición geoquímica de cada tipo de sedimento más que los factores que indican en la procedencia como la litología, el clima, y el relieve de las áreas fuente.

Las muestras de Playa Azul y Coatzacoalcos presentan altos contenidos de sílice por lo que se utiliza el diagrama para contenidos $>63\%$ de sílice. Las muestras de Coatzacoalcos caen dentro del campo de arco volcánico, que puede indicar la influencia del campo volcánico de los Tuxtles en el sedimento. Las arenas de Playa Azul caen dentro del campo de *Rift*, que concuerdan bien con un ambiente de margen continental pasivo, donde existen dunas costeras y cordones litorales.

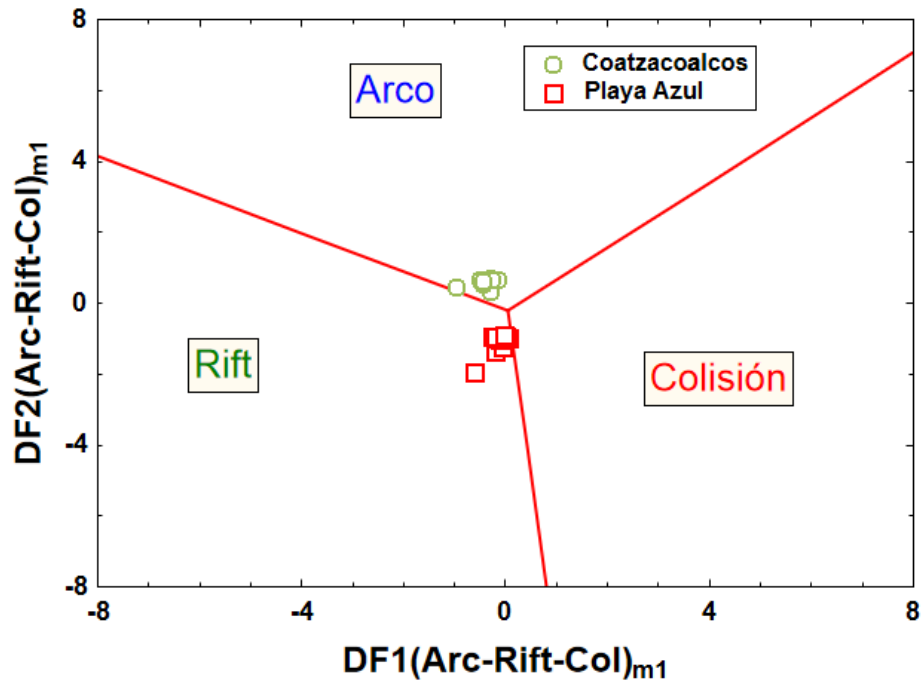


Figura 31 Diagrama de función discriminante propuesto por Armstrong-Altrin y Verma (2005).

CONCLUSIONES

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

El análisis granulométrico en las arenas de Coatzacoalcos y Playa Azul indica que ambas son arenas bien clasificadas.

Los diagramas binarios de discriminación de ambientes sedimentarios $\sigma\phi$ /Ski propuesto por Friedman (1967) y el Ski vs $\sigma\phi$ planteado por Friedman (1967) así como Miola y Weiser (1968); indican que, las arenas de Playa Azul se ubican dentro del ambiente de playa, para las arenas de Coatzacoalcos mayoritariamente se ubican en el ambiente de playa, solo tres muestras caen en medio de los ambientes y dentro de río, esto se puede interpretar por la influencia que tiene el río Coatzacoalcos sobre el aporte de sedimento hacia la playa.

El diagrama $Mz\phi$ vs $\sigma\phi$ propuesto por Friedman (1961) y el diagrama $Mz\phi$ vs $Ski\phi$ propuesto por Miola y Weiser (1968), así como Halls y Hoyt (1969) es utilizado para discriminar entre los ambientes sedimentarios litorales de playa y duna. En el primero la totalidad de las arenas de Coatzacoalcos caen dentro del campo de playa esto refleja que solo existe la interacción eólica en la sedimentación y esto concuerda con los tamaños fino encontrados en esta zona, para las arenas de Playa Azul caen dentro de los dos ambientes reflejando así una interacción importante en los procesos de oleaje de playa y la acción eólica que transporta granos finos hacia la misma.

ANÁLISIS GEOQUÍMICO

El análisis geoquímico de elementos mayores indico que los contenidos de SiO_2 en las arenas de Coatzacoalcos son altos, y varían de 78 a 83 % indicando una composición que va de intermedia a félsica, para las arenas de Playa Azul los valores de SiO_2 son altos y van de 83 a 88 % indicando una composición félsica.

Las variaciones en los contenidos de SiO_2 para los lodos de núcleos (A, B y C) son clasificadas como sílice medio, presentando un promedio de $SiO_2 = 54-56\%$ que indican empobrecimiento en cuarzo.

La variación en la relación Al_2O_3/TiO_2 es más amplia en las arenas de Playa Azul (51-36), que en las arenas de Coatzacoalcos (27-15). Estas diferencias observadas en la relación Al_2O_3/TiO_2 entre las arenas de Playa Azul y Coatzacoalcos puede deberse a las diferencias en el tamaño de grano entre las dos playas, así como el contenido de minerales pesados entre estas mientras que para los núcleos presentan A (22-25), B (24-20) y C (25-21).

El contenido de Al_2O_3 , es relativamente más alto en las arenas de Coatzacoalcos (7-10 %), que en las arenas de Playa Azul (4-6 %), observándose que los contenidos de Al_2O_3 se incrementan cuando el tamaño de arena aumenta.

Los valores de correlación obtenido para TiO_2 vs Al_2O_3 es pequeño y negativo en las arenas de Coatzacoalcos ($r = -0.36$, $n = 10$) mientras que en las arenas de Playa Azul ($r = 0.13$, $n = 10$) no existe correlación, indicando que no existe relación entre estos dos elementos. Los lodos de núcleos A ($r = -0.85$, $n = 3$), B ($r = -0.88$, $n = 3$), C ($r = -0.75$, $n = 3$) presentan correlaciones más altas y negativas. Esto indica la escasa presencia de minerales pesados para las arenas de Playa Azul.

Geoquímicamente las arenas de Coatzacoalcos se clasifican como arenas líticas, y las de Playa Azul como arenas subfeldespáticas. Los lodos de los Núcleos A, B y C son clasificados concordantemente y geoquímicamente como lodos.

Las muestras de Coatzacoalcos caen dentro del campo de arco volcánico, que puede indicar la influencia del campo volcánico de los Tuxtlas en el sedimento. Las arenas de Playa Azul caen dentro del campo de *Rift*, que concuerdan bien con un ambiente de margen continental pasivo, donde existen dunas costeras y cordones litorales.

En comparación con los valores de la corteza continental superior las muestras estudiadas de Coatzacoalcos y Playa Azul muestran un comportamiento similar, encontrándose empobrecidas en la mayoría de los elementos traza y solo muestran enriquecimiento en V, Zn, Ba y Pb, con concentraciones relativamente menores de Sr, Co y Sr, los lodos de núcleos, presentan concentraciones altas para la mayoría de los elementos traza y un enriquecimiento en Cs, Sc, Cr, Nb, Pb y Sr así como en Ta.

La concentración de ΣTR es más alto en los lodos de núcleos A (93.99- 142.60), B (105.47- 153.90) y C (107.760- 149.63), siendo B el de mayor concentración, para Coatzacoalcos van de (35.55- 97.10) y Playa Azul (54.80- 64.35) probablemente debido al tipo de roca fuente.

En las muestras de arena de Coatzacoalcos y Playa Azul se observan patrones similares de tierras raras ligeras y empobrecimiento de tierras raras pesadas y una marcada anomalía positiva de Eu para las muestras de Playa Azul, mientras que para las muestras de lodo de los núcleos de plataforma A, B y C presentan patrones distintos de tierras raras, muestran un enriquecimiento de tierras raras ligeras pero un mayor contenido de tierras raras pesadas presentando mayoritariamente anomalías negativas de Eu.

Las variaciones de anomalía positiva de Eu en las arenas de Playa Azul que va de las positivas a las negativas (Eu/Eu^* de 1.06 a 0.91) siendo predominantes las positivas, mientras que las arenas de Coatzacoalcos muestran en su totalidad anomalías negativas de Eu (Eu/Eu^* de 0.97 a 0.82), Los lodos de los núcleos de plataforma muestran anomalías negativas de Eu (Eu/Eu^* de 0.7 a 0.63). Las diferencias entre los patrones de TR de las arenas de playa y la plataforma indican que los procesos sedimentarios han afectado su concentración.

La existencia de correlación entre Al_2O_3 vs ΣTR para las arenas de Coatzacoalcos ($r= 0.49$; $n=10$), Playa Azul ($r=0.879$; $n=10$), núcleo A (0.988 ; $n=3$), núcleo B ($r=0.962$; $n=3$), núcleo EC ($r= 0.951$; $n=3$), sugieren que la distribución de tierras raras está controlada por el tamaño de grano, mientras en Playa Azul el bajo valor de correlación indica que las tierras raras no dependen del tamaño de grano.

La buena correlación entre Zr y ΣTR en las arenas de Coatzacoalcos ($r=0.865$, $n=10$) y en los núcleos de plataforma indica que el zircón controla la distribución de tierras raras, mientras que la baja correlación en las arenas de Playa Azul ($r=0.354$, $n=10$) indica que la distribución no es controlada por el zircón.

El diagrama de función discriminante propuesto por Roser y Korsh (1988) revela que las arenas de Playa Azul tienen una procedencia de reciclamiento sedimentario lo que concuerda con lo reportado por Tapia-Fernández (2013) para playas cercanas como Tuxpan y Tamiahua. La playa de Coatzacoalcos como los lodos de plataforma muestra una procedencia de rocas ígneas maficas.

REFERENCIAS

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

Armstrong-Altrin, J.S., y Verma, S.P. (2005) Critical evaluation of six tectonic setting discrimination diagrams using geochemical data of Neogene sediments from known tectonic setting, *Sedimentary Geology*, v. 177 (1-2), pp. 115-129.

Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Garcia, D., Nelson-Evy, G., Balaram, V. y Cruz-Ortiz, N.L.(2012) Geochemistry of Beachs Sands along the western Gulf of Mexico, Implication for Provenance, *Chemie Der Erde*, Artículo (en prensa).

Banfield, J.F. y Eggleton, R.A (1989) Apatite replacement and rare earth mobilization, fractionation, and fixation during weathering, *Clays and Clay Mineralogy*, v. 37, pp113-127.

Bakkiaraj, D., Nagendra, R., Nagarajan, R. y Armstrong- Altrin, J. S. (2010). Geochemistry of sandstones from the Upper Cretaceous Sillakkudi Formation, Cauvery Basin, Southern India: Implication for provenance, *Journal of the Geological Society of India*, V. 76, pp. 453- 467.

Barber, C. (1976). Major and trace element associations in limestones and dolomites, *Chemical Geology.*, 14, pp. 273- 280.

Bhatia, M. R. (1983). Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, *Journal of Geology*, V. 91, pp. 611- 627.

Bhatia, M. R. y Crook, K. A. W. (1986) trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 92, pp. 181-193.

Böse, E. 1899, *Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mes Central de México*: Instituto Geológico de México, Boletín 13, 54 p.

Cantú-Chapa, A. (1984). El Jurasico Superior de Tamán, San Luis Potosí, este de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Congreso Latinoamericano de Paleontología, 3, Oaxtepec, Morelos, Memoria, p 207-215.

Carranza- Edwards, A., (1980).- Ambientes Sedimentarios Recientes de la Llanura Costera Sur del Istmo de Tehuantepec, *Centro Ciencias del Mar y Limnología*; Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 42-48.

Carranza-Edwards, A. y Caso-Chávez M. (1994) Zonificación del perfil de playa. *GEO UNAM* 2(2): 26-32.

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

Carranza- Edwards, A. y Rosales- Hoz, L. (1995) Grain size trends and provenance of Southwester Gulf of Mexico beach sands, *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 32, pp. 2009- 2014.

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

Carrillo- Bravo, J. (1965). Estudio geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 17, núms. 5-6, p 73-96.

Carrillo-Bravo, J., (1971), La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13 (1-6), 113 p.

2005. Situación de los recursos Hídricos, Capítulo 2 Situación de los recursos hídricos, Estadísticas del agua en México, CONAGUA edición 2005.

1994, Serie monografica geológico-minera del Estado de Veracruz. COREMI, México.

Crook, K. A. W. (1974). Lithogenesis and tectonics: the significance of compositional variations in flysch arenites greywackes. In: R. H. Dott and R. H. Shaver (Ens.). Modern and ancient geosynclinals sedimentation, Society Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication, V. 19. Pp 304- 310.

Cullers, R. L. (1988). Mineralogical and chemical changes of soil and stram sediment formed by intense weathering of the Danburg Granite, Georgia, USA, Lithos, v. 21. pp. 301- 314.

Cullers, R. I., Basu, A., Suttner y L. J. (1987) Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Rot batholith, Montana, USA, Chemical Geology, v. 70, pp. 335- 348.

Demant A. (1975). Caracteres químicos principales del vulcanismo terciario y cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con la evolución del margen continental pacifico de México. Revista Ints. Geol. UNAM 75 (1) p. 19-65.

Dickinson W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., Rybeg, P. T., (1983), Provenance of Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting, *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, pp. 222-235. J. C., y Krinsley, D. H. (1971) Electron microscopy applied to quartz grains from a tropical environment: *Sedimentology*, v. 17, pp. 89- 101.

Duane, D.B. 1964. Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *J. Sed. Petrol.*, 34(4): 864-874.

Dunkl, I., Mikes, T., Simon, K. & von Eynatten, H. (2008) Brief introduction to the Windowsprogram Pepita: data visualization, and reduction, outlier rejection, calculation of trace element ratios and concentrations from LA-ICP-MS data. In: *Laser ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current practices and outstanding issues*. Mineralogical Association of Canada, Short Course (Ed. by Sylvester, P.), 40, 334-340.

Fabian R.A., y Villalba A.A. (1991). *Sedimentología y Geoquímica de la bahía de los Ángeles Baja California, México*. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, 1991, V. 8, NR. 1, p. 29-40.

Ferrari, L., Tagami T., Eguchi M., Orozco Esquivel M. T., Petrone C. M., Albarran J. J., Lopez-Martinez M. (2005). Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic volcanism along the southwestern Gulf of Mexico: The Eastern Alkaline Province revisited. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 146. P 284-306.

Folk, R. L y Ward, W. C. (1957) Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters, *Journals of Sedimentary Petrology*, v. 27, pp 3-26.

Friedman, G. M. (1961) Distinction between dune, beach and river sand from their textural characteristics. *J. Sedimentary Petrol.* 31, 514.

Friedman, G. M., (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Jour. Sediment. Petrol.*, v. 37 (2), pp. 327-354.

Hails, J. R. y Hoyt, J. H. (1969). The significance and limitations of statistical parameters for distinguishing ancient and modern sedimentary environments of the Lower Geogia Plain. *Jour. Sediment. Petrol.*, v. 39, pp. 559-580.

Handschy, J.W., Keller, G.R y Smith, K.J.(1987), The Ouachita system in northern Mexico: *Tectonics*, v.6, p. 323-330.

Herron, M. M. (1988). Geochemical classifications of terrigenous sands and shales from core or log data, *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 58, pp. 820- 82.

Horikawa, K. and H.W. Shen (1960): Sand movement by wind action (on the characteristics of sand traps), BEB, Tech. Memo. No. 119, 51 pp.

Imlay, R.W., Cepeda, E., Alvarez, M., Díaz–Gonzalez, T. (1948), Stratigraphic relations of certain Jurassic formations eastern Mexico: *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 32(9), 1750–1761.

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

Kasper-Zubillaga, J.J. y Dickinson, W.W. (2001)Discrimination depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis, *Sedimentary Geology*, v.143, p. 19-167.

Kasper- Zubillaga, J. J y Carranza- Edwards, A. (2005) Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, v. 22 pp. 383- 390.

Kasper- Zubillaga, j. J., Carranza- Edwards , A. y Morton- Bermea, O. (2008) Heavy metals and rare earth elements in coastal and inland dune sands of the El Vizcaino desert, Baja California peninsula, México: *Marine Georeources and Geotechnology*, v. 26(3), pp. 172-188.

Kasper- Zubillaga, J. J. (2009) Roundness in quartz grainz from inland and coastal dune sands, Altar Desert, Sonora, Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, V. 61 (1), pp. 1- 12.

Kellum, L. B. (1930) Similarity of surface geology in front rangers of Sierra Madre Oriental to subsurface in Mexican south fields: *American Association of Petroleum Geologist*, v. 140, p 73-91.

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. (1986). Achemical Classification of Volcanic rocks based on the total alkali- silica diagram, *Journal of Petrology*, v. 27 (3), pp. 745-750.

Le Maitre, R.W. (1976) The chemical variability of some common igneous rocks, *Journal of Petrology*, V. 17, pp. 589-637.

Lozano- Santa Cruz, R., Verma, S. P., Girón, P., Velasco, F., Morán- Zenteno, D., Viera, F., y Chavéz, G. (1995) Calibración preliminar de fluorescencia de rayos- X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas. *Actas INAGEQ*, v. 1 pp. 203- 208.

Marín- Guzmán, A.P., y Carranza- Edwards, A. (2011). Inferencia del transporte litoral dominante del Golfo de México, *Transporte Litoral, Interacciones del Planeta Tierra*, Gio- Argáez, R., y Rosales- Hoz, M. T. L., Editores, ICML, UNAM, México D. F. pp. 39- 46.

Martín-Barajas, J.A. (1982), Tesis Profesional, Estudio sedimentológico del depósito de arenas titanoferríferas de El Cayacal, Guerrero. *Fac. Ingeniería, Univ. Nal. Autón. México*, 1982. 42 p.

Martínez-Bringas, A. Y C. Javier-Castro. (1982), Tesis Profesional, Sedimentología litoral de los Estados de Nayarit, Jalisco, Michoacán y Guerrero, Fac. Ingeniería, Unív. Nal. Autón. México, México. 1982. 154 p.

McLennan, S. M (1989). Rare earth elements in sedimentary rocks: influences of provenance and sedimentary processes, In. B. R. Lipin and G.A McKay (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare earth Elements*, Mineralogical Society of America, v. 21, pp. 168-200.

McLennan, S. M., Taylor, S. R., McCulloch, M. T. y Maynard, J. B. (1990). Geochemical and Nd- Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations, *Geochimical Cosmochimica Acta*, V. 54, pp. 2015- 2050.

McLennan, S. M. (1991) Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends, *Journal of Geology*, v. 99, pp. 1-21.

McLennan, S.M (2001) Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust, *Geochemistry, Geophysics. Geosystems*, 2, paper number. 2000GC000109, Published April 20, 2001.

Mena, R. E. (1962), *Estratigrafía y correlación de las formaciones Jurásico-Cretácico del área comprendida entre Teotitlan del Camino- Huautla de Jiménez, Oaxaca y Coveatlan-Cerro Zizintepel*, Puebla. *Inf. Geol.* 49 Z. V. Pemex (inded.)

Moiola, R. J., y Weiser, D., (1968). Textural parameters: an evaluation. *Jour. Sediment. Petrol.*, v. 38 (1). pp. 45- 53.

Montaño-Ley, M. Gutiérrez-Estrada, J., Aldeco-Ramírez. (1988), Análisis de funciones empíricas de origen en perfiles de playa de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México 15 (2): 121-128.

Nelson S.A y Gonzalez-Caver E. (1992). Geology and K-Ar dating of the Tuxtla Volcanic Field, Veracruz, México. Bull. Volcanol., 55, p 85-96.

Ortega–Gutiérrez F., Mitre–Salazar L.M., Roldán- Quintana J., Aranda- Gómez J., Morán-Zenteno D., Alaniz–Álvarez S., Nieto–Samaniego A., (1992), Carta Geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales.

Ortuño - Arzate, S., Ferket, H., Cacas, M.C., Swennen, R., Roure, F., (2003). Late Cretaceous carbonate reservoirs in the Cordoba Platform and Veracruz Basin, eastern Mexico: en Bartolini, C., Buffler, R.T., Blickwede, J., (eds.), The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics, AAPG, Memoir 79, 476–514.

Passega, R., (1964). Grain size representation by CM pattern as a geological tol. Jour. Sediment. Petrol., v. 34, pp. 830 -847.

Pereyra Díaz, D. y Pérez-Sesma, J.A. (2005). Hidrología De Superficie Y Precipitaciones Intensas 2005 En El Estado De Veracruz, Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz.

Pe-Piper, G., Triantafyllidis, S. y Piper, D. J. E. (2008) Geochemical identification of clastic sediment provenance from known sources of similar geology: The Cretaceous Scotian Basin, Canada, Journal of Sedimentary Research, v. 78 (9), pp. 595-607.

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. y Sieber, R. (1972). Sand and Sandstone, Springer- Verlag. New York, 618 p.

Ramírez- Munóz, M. A. (2012) Geoquímica de sedimentos de playa Chachalacas Veracruz, Implicaciones de procedencia y ambiente tectónico, Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM.

Ryan, K.M., Williams, D.M., 2007, Testing the reliability of discrimination diagrams for determining the tectonic depositional environment of ancient sedimentary basins: *Chemical Geology*, 242(1-2), 103-125

Rollinson, H. R. (1993) *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation* Logman Group, England, 352 p.

Roser, B. P. y Korsh, R. J. (1988). Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major- elements data. *Chemical Geology*, v. 67, pp. 119- 139.

Sedlock, R. L., Ortega-Gutierrez, F., y Speed, R. C. (1993) *Tectonostratigraphic terrane and tectonic evolution of Mexico: Geological Society of America, Special Paper 278*, 153 p.

Tapia-Fernández, H.J. (2013) *Análisis composicional de sedimentos recientes en las playas de Tamiahua y Tuxpan, Golfo de México: Implicación sobre su procedencia*, Tesis de Maestría, ICMYL, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 8-9.

Taylor, S. R. y McLennan, S. M. (1985) *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford, UK, 349 p.

Veizer, J. (1978). Secular variations in the composition of sedimentary carbonate rocks II. Fe, Mn, Ca, Mg, Si, and minor constituents, *Precambrian Research*, v. 6, pp. 381- 413.

Verma, S., Lozano-Santa Cruz, R., Girón- García, P., y Velasco, F., (1996) Calibración preliminar de fluorescencia de rayos- X para el análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas. *Actas INAGEQ*, 2 (1996), pp. 237- 242.

Villwock, (1978).- *Aspectos da sedimentacao no regio nordeste de Lago Dos patos: Lago Do Casamento e aco do Cocuruto-RS-Brasil*; pág. 15.

Wronkiewics, D. J., y Condie, K. C. (1987) Geochemistry of Archean Shales from the Witwatersand supergroup, South Africa, Source- area weathering and provenance, *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 51, pp. 2401- 2416.

Zavala Hidalgo, J. y A. Fernández Eguiarte. 2004. Propuesta para la regionalización de los mares mexicanos desde el punto de vista de los procesos físicos: el caso del Golfo de México. Taller de Ordenamiento Ecológico Costero. Nov. 15-16, 2004.