



POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Análisis granulométrico y geoquímico de arenas recientes en tres playas de México (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos): implicación de procedencia

T E S I S

Que para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

Leslie Patricia Córdoba Saldaña

Director de tesis: Dr. John S. Armstrong-Altrin

Comité tutorial

Dr. Arturo Carranza-Edwards
Dr. Juan José Kasper-Zubillaga
Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy
Dr. Carlos R. Green Ruiz
Dr. Jayagopal Madhavaraju

México D.F. 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mi madre Barbará Saldaña a quien quiero con todo mi corazón por su apoyo incondicional que me ha brindado toda mi vida.

A mis hermanos Karina y Alfonso por estar siempre a mi lado apoyándome y compartiéndome sus conocimientos, a mi hermanita Samanta a quien amo sobre todas las cosas además de ser mi orgullo.

A mis sobrinos Gerardo, Natalia, Eduardo y Alfonso quienes me producen alegrías y me hacen feliz

Al compañero de mi vida Antonio Javier por ser mi amor y mi inspiración.

A todas esas bellas personas que de alguna manera me han acompañado en mi camino mis amigas Ana Claudia, Alejandra y Mariana, a mis compañeros de la universidad con quien he pasado muy buenos momentos juntos.

Y en especial a la memoria de mi padre Alfonso Cordova Maya a quien amo eternamente, quien fue y sigue siendo mi ejemplo a seguir, y quien siempre vivirá en mí ser.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en especial al Dr. John S. Armstrong-Altrin por darme la oportunidad de realizar esta tesis, por compartir sus invaluable conocimientos y sobre todo por su apoyo incondicional brindado durante la realización de esta tesis.

Mis agradecimientos a los miembros de mi comité tutorial al Dr. Arturo Carranza-Edwards, Dr. Juan Jose Kasper-Zubillaga, Dr. Priyadarsi Roy, Dr. Carlos R. Green Ruiz y al Dr. Madhavaraju Jayagopal por aceptar la supervisión de este trabajo a si como por sus valiosas asesorías, observaciones y comentarios.

Agradezco al M. en C. Omar Celis Hernández por apoyarme en la revisión de este trabajo y a mi compañero de laboratorio, Ing Geólogo Abdulin Fanis Rasimovic por sus sugerencias en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, a todos mis profesores, así como al personal académico que me permitieron llevar a cabo mis estudios y terminarlos.

Agradezco a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) quien se encargo de brindarme una beca para la realización de mi proyecto de maestría.

Agradezco al proyecto Institucional (*Petrografía y geoquímica de sedimentos marinos de Golfo de México, México: una herramienta para deducir ambientes sedimentarios, procedencia y procesos tectónicos en relación con su fuente de la región*, numero 616) otorgado por el Dr. John S. Armstrong-Altrin para llevar a cabo los análisis geoquímicos de mi tesis de Maestría.

Por último agradezco a la máxima casa de estudios UNAM por darme la oportunidad de seguir en el camino del aprendizaje, proporcionándome una formación integran así como una educación laica, pública y gratuita.

INDICE**PÁGINAS**

RÉSUMEN	1
CAPÍTULO 1	3
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general	4
Objetivos particulares	4
CAPITULO 2	5
ANTECEDENTES.....	5
AREA DE ESTUDIO.....	7
TECOLUTLA	7
Localización.....	7
Clima	8
Hidrología.....	8
Fisiografía	9
Geología del estado de Veracruz.....	9
Geología de Tecolutla	10
BAHÍA KINO Y SAN CARLOS	12
Localización.....	12
Clima	12
Hidrología.....	12
Fisiografía	13
Geología estado de Sonora.....	13
Geología de Bahía Kino	14

Geología San Carlos	15
CAPÍTULO 3	16
Metodología	16
Colecta de muestras	16
Análisis granulométrico.....	16
Parámetros texturales	17
Tamaño grafico promedio	17
Desviación estándar grafica inclusiva	18
Grado de asimetría	18
Curtosis	19
Análisis petrográfico	20
Análisis geoquímico elementos mayores, traza y tierras raras.....	21
CAPÍTULO 4	22
GRANULOMETRÍA	22
Introducción	22
Resultados y Discusiones	25
Parámetros texturales	25
Diagramas bivariantes	28
Petrografía	30
CAPÍTULO 5	32
GEOQUÍMICA	32
Introducción	32
Geoquímica de elementos mayores, traza y tierras raras	32
Resultados y discusiones	34

Geoquímica de elementos mayores	34
Geoquímica de elementos traza.....	38
Geoquímica de tierras raras	43
Intemperismo	50
Diagramas de función discriminante para identificar procedencia	51
Procedencia de arenas de playa	52
Probable fuente de roca madre	56
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	64

LISTA DE FIGURAS**PÁGINA**

Figura 1. Localización de las áreas de estudio (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos)	7
Figura 2. Geología del área de estudio (Tecolutla).....	11
Figura 3. Geología del área de estudio (Bahía Kino).....	14
Figura 4. Geología del área de estudio (San Carlos).....	15
Figura 5 a) Diagrama tamaño grafico promedio $Mz\phi$ contra desviación estándar σ_1 (Friedman, 1961). b) Diagrama $Mz\phi$ contra Sk_1 (Moiola y Weiser, 1968; Hails y Hoyt, 1969). c) Diagrama desviación estándar grafica contra grado de asimetría, propuesto por Friedman (1967). d) Diagrama $Sk_1 \phi$ contra $\sigma_1\phi$ (Friedman, 1967; Moiola y Weiser, 1968).....	29
Figura 6. Diagrama ternario Ct- Ft-Lt	31
Figura 7. Relación entre Al_2O_3/TiO_2 y SiO_2 para las arenas de playa en Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos (Le Bas <i>et al.</i> , 1986). n = número de muestras.....	35
Figura 8. Diagrama bivalente de SiO_2 contra Al_2O_3 para las arenas de playas. Los contenidos de SiO_2 en arenas de San Carlos son menores que en las arenas de Bahía Kino y Tecolutla.....	36
Figura 9. Diagrama $Al_2O_3-TiO_2$ muestra el enriquecimiento de TiO_2 en algunas muestras.....	37
Figura 10. Diagrama bivalente $TiO_2-Fe_2O_3$	37
Figura 11. Clasificación geoquímica de arenas (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos) usando el diagrama $(SiO_2/Al_2O_3)-\log(Na_2O/K_2O)$ (Pettijohn et al., 1972).	38
Figura 12. Diagrama normalizado de Multi-elementos para las arenas de playa de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos, y normalizados sobre el promedio de la corteza continental superior (Taylor y McLennan, 1985).....	41
Figura 13. Diagrama bivalente, muestra la relación entre Zr y Hf.	42
Figura 14. Diagrama normalizado de Condrita - elementos de tierras raras comparado con el promedio de la corteza continental superior (UCC; Taylor y McLennan, 1985) a) Tecolutla b) Bahía Kino y c) San Carlos.....	46
Figura 15. Diagrama ΣREE contra Al_2O_3 indicando las diferencias en la composición de los elementos de tierras raras entre las tres áreas de estudio	48
Figura 16. Diagrama Al_2O_3 contra Tamaño grafico promedio para arenas de playa de estudio...	48
Figura 17. Diagrama bivalente $TiO_2-\Sigma REE$ para arenas de playa de estudio.....	49

Figura 18. Diagrama de función discriminante para procedencia de sedimentos usando elementos mayores (Roser y Korsch, 1988).....	52
Figura 19. Diagrama bivalente Th/Sc vs Sc	55
Figura 20. Diagrama triangular La–Th–Sc.....	55
Figura 21. Áreas de estudio y localidades donde se compilo la base de datos geoquímica para comparar e identificar el probable tipo de roca.....	57
Figura 22. Patrones de REE normalizados con condrita (a) Para arenas de Tecolutla; (b) arenas de Bahía Kino y San Carlos. n = numero de muestras; UCC (Promedio de la corteza continental; Taylor y McLennan, 1985). ¹ Este estudio; ² Verma (2000, 2001a, 2001b); ³ Rosales-Lagarde <i>et al.</i> (2005); ⁴ Verma (2001a, 2001b); ⁵ Verma (2000, 2001a, 2001b), Gómez-Tuena <i>et al.</i> (2003), Carrasco-Núñez <i>et al.</i> (2005).(b) 6 Desonie (1992), Vidal-Solano <i>et al.</i> (2007); 7 Valencia-Moreno <i>et al.</i> (2001, 2003); ⁸ Desonie (1992); ⁹ Saunders <i>et al.</i> (1982), Saunders (1983).....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tamaño grafico promedio ($Mz \phi$) para arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.....	25
Tabla 2. Desviación estándar grafica inclusiva ($\sigma 1\phi$).....	26
Tabla 3 Grado de asimetría (SkI).....	27
Tabla 4. Curtosis (K_G).....	27
Tabla 5. Petrografía para arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.....	30
Tabla 6. Concentraciones de elementos mayores (%) en arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos	34
Tabla 7. Concentraciones de elementos traza (ppm) en arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos	39
Tabla 8. Concentraciones de elementos de tierras raras (ppm) en arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos	45

RESÚMEN

Se estudiaron arenas recientes en tres playas de México: 1) Tecolutla (Golfo de México), 2) Bahía Kino y 3) San Carlos (Golfo de California) con la finalidad de determinar variaciones en su procedencia mediante análisis granulométricos (parámetros texturales), petrográficos y geoquímicos (elementos mayores, traza y tierras raras).

El análisis granulométrico para arenas de Tecolutla indicó la presencia de arenas medias bien clasificadas. En las arenas de Bahía Kino hay presencia de arenas finas a medias bien clasificadas y en San Carlos las arenas son finas a medias bien y muy bien clasificadas. El estudio petrográfico reveló que el cuarzo es más abundante en las arenas de Bahía Kino (61-69 %) y San Carlos (55-64 %) que en las arenas de Tecolutla (43-48 %). En las arenas de Bahía Kino los fragmentos líticos volcánicos fueron dominantes (13-20 %), mientras que las arenas de Tecolutla tuvieron mayor cantidad de fragmentos líticos sedimentarios (5-11 %). Los minerales pesados fueron más abundantes en las arenas de Bahía Kino y San Carlos.

Las muestras de arena respecto con su contenido de SiO_2 fueron clasificadas como arenas intermedias para Tecolutla y San Carlos, y félsicas para las arenas de Bahía Kino. Las variaciones determinadas en el contenido de SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 y las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en las tres áreas de estudio reflejaron diferencias en las características de su roca fuente. El índice de alteración química mostro valores altos lo cual indica una alta intensidad de intemperismo en el área fuente y dentro del ambiente de playa.

El contenido de Σ ETR (elementos de tierras raras total) es más alto en arenas de Bahía Kino (54-107) que en muestras de arenas de Tecolutla (47-73) y San Carlos (43-72). Sin embargo, todas las muestras de arena presentaron patrones similares de ETR con enriquecimiento de ETRL (elementos de tierras raras ligeras), empobrecimiento de ETRP (elementos de tierras raras pesadas) y una anomalía negativa de Eu. Las variaciones en la anomalía de Eu son mayores en las arenas de San Carlos ($Eu/Eu^* 0.94-1.23$) que en arenas de Bahía Kino ($Eu/Eu^* 0.71-0.97$). La Comparación de los datos de ETR de las muestras en estudio con los datos de ETR de rocas fuente localizadas cerca del área de estudio, sugiere que las arenas de Tecolutla son probablemente derivadas de la mezcla de rocas de origen intermedio (andesita y andesita basáltica). Mientras que las arenas de Bahía Kino son derivadas de rocas félsicas (riolitas y granitos) y las arenas de San Carlos sugieren que la probable roca fuente es andesita. Por lo tanto este estudio de comparación revela que la geoquímica de arenas de playa depende principalmente de su roca fuente, de las cuales ellas fueron originalmente derivadas.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La composición de sedimentos detriticos esta principalmente controlada por la composición de la roca fuente, clima, relieve, procesos costeros (marinos, fluviales y eólicos), intemperismo, y diagénesis (McLennan, 1989; Le Pera y Critelli, 1997 Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 1995; Carranza-Edwards, 2001; Critelli et al., 2003; Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005;). De esta forma sedimentos detriticos como son las arenas son utilizadas en estudios de procedencia ya que proveen información valiosa acerca de la naturaleza del origen de la roca y del ambiente tectónico del cual provienen (Kasper-Zubillaga, 1999; Kasper-Zubillaga y Dickinson, 2001; Armstrong-Altrin et al., 2004; Nagarajan et al., 2007).

Estudios en geoquímica de arenas (elementos mayores, traza y tierras raras) han sido utilizados como herramienta para conocer la procedencia de los sedimentos, condiciones de intemperismo y ambientes tectónicos (Armstrong-Altrin et al., 2004; Kasper-Zubillaga et al., 2007; Roy y Smykatz-Kloss, 2007; Carranza-Edwards et al., 2009), debido a que estos elementos están contenidos de manera particular en la roca fuente. En general el estudio de los elementos de tierras raras es usado en estudios de procedencia ya que estos elementos presentan inmovilidad durante intemperismo, transporte, erosión y sedimentación por lo que reflejan una buena señal geoquímica de su roca fuente (Honda et al., 2004, Kasper-Zubillaga et al., 2008a; Etemad-Saeed et al., 2011).

Entender la dinámica de los diferentes procesos que intervienen en la formación de los sedimentos y en su transporte, así como conocer la procedencia de los mismos, es

importante ya que, a partir de la determinación de estos, es posible llevar a cabo la reconstrucción de los ambientes de depósito y sus probables correlaciones, lo que aporta evidencias clave para el conocimiento de la evolución geológica de una región en particular y su evolución. En este estudio se pretende conocer la procedencia de arenas en tres playas de México Tecolutla (Golfo de México), Bahía Kino y San Carlos (Golfo California) por medio del estudio granulométrico y geoquímico de arenas.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo es realizar el análisis granulométrico y geoquímico (elementos mayores, traza y tierras raras) en arenas recientes de tres playas de México (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos) con el fin de entender la procedencia de las arenas y su relación con los procesos costeros y/o continentales que se están llevando a cabo.

Objetivos específicos

- 1) Determinar los parámetros texturales de las distintas arenas de playas (Tecolutla, Bahía Kino, y San Carlos), con la finalidad de conocer el tipo de ambiente de depósito.
- 2) Determinar las concentraciones de elementos mayores, traza y tierras raras en arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos, con la finalidad de conocer su procedencia (roca máfica, intermedia o félsica), y condiciones de intemperismo.
- 3) Comparar datos geoquímicos de arenas de las playas con rocas relativamente cercanas a las áreas de estudio.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Entre las diversas investigaciones acerca de las arenas de las playas de México sobre estudios texturales y de procedencia se encuentran las siguientes:

Kasper-Zubillaga et al. (1999) analizaron las características petrográficas y geoquímicas de arenas de playa, duna y río ubicadas en el oeste del Golfo de México. Ellos observaron que las arenas de duna tuvieron menos minerales pesados y granos de cuarzo debido a la selectividad del viento, mientras que minerales pesados fueron encontrados en ambientes de playa y fluvial, debido a la alta energía de transporte. Además, estos autores observaron que los resultados geoquímicos en arenas de playa reflejaron rocas de origen ígneo por la presencia del Cinturón Volcánico Trans Mexicano.

Carranza-Edwards et al. (2001) realizaron un análisis petrológico y geoquímico en arenas superficiales de playas del litoral occidental de México, utilizando minerales pesados y elementos de tierras raras, observando que el contenido de minerales pesados fue mayor en arenas finas bien clasificadas de color gris oscuro ubicadas en zonas húmedas que en zonas secas. Además estos autores observaron que los contenidos de tierras raras y otros elementos traza están más relacionados con su área fuente que con el contenido de minerales pesados, sin embargo las concentraciones de elementos como Zn, Hf, Th, Ni estuvieron más vinculados con el contenido de minerales pesados.

Carranza-Edwards et al. (2005) estudiaron la distribución geoquímica de los sedimentos en una zona tectónicamente activa al sur este de México (Punta Maldonado, estado de Guerrero México) utilizando elementos mayores, materia orgánica, carbonatos, susceptibilidad magnética, así como parámetros texturales. Encontrando que los sedimentos de plataformas presentan bajas concentraciones de SiO₂ en comparación con arenas provenientes de sistemas fluviales, debido al efecto de disolución producido por el enriquecimiento de carbonatos biogénicos.

Kasper-Zubillaga et al. (2007) realizaron un estudio sedimentológico, petrológico y geoquímico en arenas de dunas del desierto de Vizcaíno, Noroeste de México. Para establecer el origen y procedencia de estas. Sugiriendo que las dunas están relacionadas a rocas acidas, fuentes félsicas-plutónicas asociadas a una margen continental activa.

Kasper-Zubillaga et al. (2008b) estudiaron minerales pesados y tierras raras de arenas en el desierto de vizcaíno, sugiriendo que existe una relación entre minerales pesados como hornblenda, piroxeno, y esfena con los elementos de tierras raras pesadas e indicando que estos minerales son acarreadores de estos elementos en el desierto. Estos autores también observaron que el contenido de tierras raras se correlacionó con las arenas de grano fino y con altos valores en el índice de intemperismo.

Armstrong-Altrin (2009) realizó un estudio petrográfico y geoquímico en arenas recientes en playas de México (Cazones y Nautla) con objeto de conocer su procedencia, sugiriendo la presencia de rocas félsicas e intermedias.

Carranza-Edwards et al. (2009) estudiaron la textura, petrología y geoquímica de sedimentos arenosos de playas del suroeste de México, con la finalidad de interpretar la procedencia de las arenas, encontrando que la cuenca del Río Cihuatlán está influenciada por granitoides, mientras que las cuencas de los ríos Armería y Coahuayana están dominadas por la influencia de rocas volcánicas intermedias a básicas y rocas sedimentarias representadas por calizas.

ÁREA DE ESTUDIO

En este trabajo se estudiaron arenas de tres diferentes playas en las costa oriental y occidental de México 1) Tecolutla (Golfo de México) 2) Bahía Kino (Golfo de California) y 3) San Carlos (Golfo de California) (Fig. 1), las cuales fueron seleccionadas debido a que reciben sedimentos de orígenes diferentes y pertenecen a distintos ambientes tectónicos, margen pasivo y margen de rift, respectivamente.



Figura 1. Localización de las áreas de estudio (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos).

TECOLUTLA

Localización

La playa Tecolutla se localiza en la costa oeste del Golfo de México (Lat. 19 °25' a 19°48' N y Long. 96°20' a 96°27' O) en el municipio de Tecolutla, estado de Veracruz (México) localizado en la región del Totonacapan, en el norte de la entidad veracruzana (Fig. 1).

Clima

El clima en el estado de Veracruz en general es tropical con una temperatura media anual de 25.3°C; tiene lluvias abundantes en verano y principios de otoño. Su precipitación pluvial media anual es de 1,6692 mm. El clima de Tecolutla es cálido-húmedo, con una temperatura media anual de 23.6°C y su precipitación pluvial media anual es de 1,494 mm (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Hidrología

El municipio de Tecolutla se encuentra dentro de la región hidrológica Tuxpan-Nautla la cual ocupa la porción noroeste del territorio Veracruzano y está integrada por las cuencas de los ríos Nautla, Tecolutla, Cazones y Tuxpan, además de la laguna de Tamiahua.

La cuenca del río Tecolutla cubre un área aproximada de 7,950.05 km² se forma por la confluencia de los ríos Necaxa, Axacal, Cempola y San Pedro, que nacen en la Sierra Madre Oriental. El río Tecolutla fluye de sureste a noroeste por aproximadamente 100 km, recibiendo las aguas de los ríos Laxaxalpan, Tecuantepec y Jaloapan, así como las aguas de la corriente de Chichicatzipa. Además en la desembocadura del río Tecolutla se forma el estuario Tecolutla que está situado a Lat. 20°30'N y Long. 97°01'W(Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Fisiografía

De acuerdo a la clasificación de Raisz (1959), el estado de Veracruz abarca áreas que corresponden a siete provincias o regiones fisiográficas del país, estas son: la llanura costera del Golfo Norte, la Sierra Madre Oriental, el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre del Sur, la llanura costera del Golfo Sur, la Cordillera Centroamericana y Sierras de Chiapas y

Guatemala. Las más extensas en el territorio Veracruzano son: la llanura costera del Golfo Norte y la llanura costera del Golfo Sur, que están dispuestas en forma paralela al Golfo de México y quedan interrumpidas por el Eje Neovolcánico y la sierra de los Tuxtlas (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Tecolutla se encuentra dentro de la Provincia de la llanura costera del Golfo Norte, esta provincia se extiende paralela a las costas del Golfo de México desde el Rio Bravo hasta la Zona de Nautla, en estas provincias predominan los materiales sedimentarios marinos no consolidados tales como arcillas, arenas y conglomerados.

La edad de las rocas que conforman esta provincia aumenta a medida que existe mas distancia de la costa. Las rocas Plio-Cuaternarias y Terciarias afloran cercanamente a la costa, mientras que en las proximidades de la Sierra Madre Oriental afloran rocas de edad Cretácica. Los principales ríos de esta provincia fisiografía son: el Rio Bravo, Soto la Marina, Tamesi, Pánuco, Tuxpan, Tecolutla y Nautla.

Geología del estado de Veracruz (Golfo de México)

La geología del estado de Veracruz está representada por un basamento de rocas plutónicas y metamórficas del Paleozoico Superior y una secuencia sedimentaria de tipo flysch (Fm. Guacamaya), que aflora al norte del poblado de Huayacocotla, localizada en la porción noroccidental de la entidad. La formación Guacamaya esta sobre yacida por unidades Mesozoicas, sedimentos clásticos del Triásico Superior y rocas sedimentarias marinas Jurasicas y Cretácicas, que afloran en los limites con los estados de Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Chiapas (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

En gran parte del estado se encuentra aflorando el Cenozoico (Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz. 1994) y está representado por sedimentos clásticos de origen marino y rocas volcánicas, que en el Terciario Superior y Cuaternario están constituidos por derrames de basalto, andesitas y tobas riolíticas, así como por depósitos de arena, gravas, arcillas y limos. La actividad ígnea que se inicio a finales del Cretácico, se manifiesta por intrusiones de composición acida e intermedia (granitos y granodioritas), que afectan a rocas Jurasicas y Cretácicas, principalmente en las regiones de Tatatila, Las Minas, y Huayacocotla.

Geología de Tecolutla

En general, en el área de estudio la geología está representada por rocas sedimentarias e ígneas del terciario y Cuaternario. Los depósitos sin consolidar del Cuaternario están constituidos por depósitos de arena, grava, limo y arcilla. Estas son producto de la alteración de rocas sedimentarias preexistentes ubicadas en las proximidades del área de estudio. Estos depósitos son abundantes en los márgenes y lechos de los ríos y arroyos así como en la proximidad de la línea de costa.

Así mismo, los depósitos del Terciario están constituidos por rocas sedimentarias marinas y rocas ígneas extrusivas volcánicas continentales. Las rocas sedimentarias marinas del Terciario marino Mioceno están representadas por depósitos de lutitas arenosas y areniscas. Las rocas ígneas extrusivas volcánicas continentales del Terciario superior, están representadas por andesitas, tobas andesíticas, tobas riolíticas y basaltos (Fig. 2) (Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz, 1994).

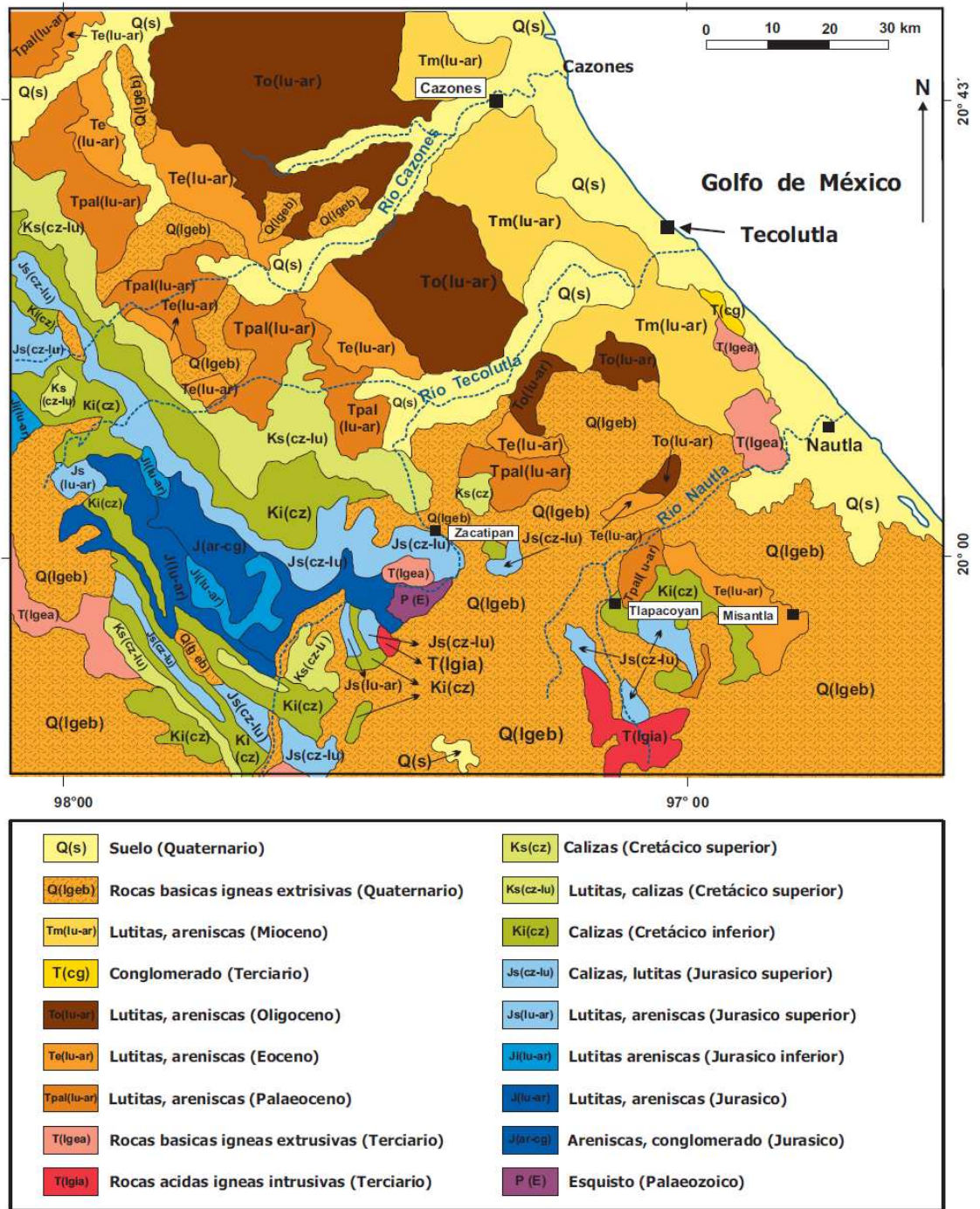


Figura 2. Geología del Tecolutla (mapa modificado de Recursos Minerales, 1994).

BAHÍA KINO Y SAN CARLOS

Localización

Bahía Kino es una cuenca semicerrada localizada en la costa este del Golfo de California y al oeste del estado de Sonora en las coordenadas Lat. 28° 50' N y Long. 111°57' O. San Carlos también se localiza en la costa del estado de Sonora en las coordenadas Lat. 28° 00' N y Long. 111° 00' O.

Clima

En el estado de Sonora se presenta una gran variedad de climas los cuales en términos generales se pueden agrupar por su grado de temperatura en tres tipos: cálidos, semicalidos y templados. Cada uno de ellos con variantes en relación a la precipitación, desde los secos hasta los subhúmedos (Consejo de Recursos Minerales, 1992)..

Bahía Kino presenta un clima semicálido muy seco. Los climas semicálidos muy secos son los que abarcan una mayor superficie de la entidad; presenta temperaturas media anual que fluctúa de 18°C a 22 °C, y se caracterizan por tener precipitaciones medias anuales de menos de 300mm. El clima de San Carlos se encuentra en el grupo de climas cálidos donde se presentan temperaturas media anual mayor de 22°C con precipitaciones de menos de 300mm anuales desde los muy secos, hasta los 700 mm anuales de los semisecos.

Hidrografía

En las regiones de Bahía Kino y San Carlos en general, la presencia de ríos es prácticamente ausente, el río mas cercano al área de estudio Bahía Kino es el río Bacavachi localizado al norte de esta región (Consejo de Recursos Minerales, 1992). .

Fisiografía

El territorio del estado de Sonora está comprendido dentro de cuatro provincias fisiográficas, 1) la provincia de la Sierra Madre Occidental 2) la provincia de Sierras Sepultadas 3) la provincia de Sierras y llanuras del norte 4) y la provincia de la llanura costera del Pacífico (Raisz, 1959; INEGI, 1988). El área de estudio Bahía Kino y San Carlos se encuentran dentro de la provincia de las Sierras Sepultadas.

Geología estado de Sonora

De acuerdo a la clasificación de Raisz (1959), el estado de Sonora presenta un contexto geológico muy complejo, con edades que varían del Precámbrico al reciente y una gran heterogeneidad litológica, predominando las rocas ígneas representadas en la Sierra Madre Occidental por extrusivas, principalmente al oriente del estado, y las intrusivas aflorando por todo Sonora, destacando las de carácter ácido e intermedio. En segundo lugar se encuentran las rocas sedimentarias tanto continentales como marinas, distribuidas desde Caborca y Agua Prieta hasta Sinaloa. Las rocas metamórficas afloran principalmente en la porción noroeste del estado. Dentro de los sedimentos recientes, predominan los aluviones, cubriendo la porción oeste del estado, formando la llanura Sonorense. En el Plio-Cuaternario se desarrollaron amplios y potentes paquetes de sedimentos continentales, principalmente hacia el oeste, con presencia esporádica de coladas de basalto y aparatos volcánicos. Así como también hacia la costa occidental del estado, afloran extensas llanuras costeras cubiertas por capas de sedimentos eólicos (Consejo de Recursos Minerales, 1992).

Geología de Bahía Kino

En general el área de estudio está representada por rocas sedimentarias del Cuaternario representadas por depósitos de aluvión y por rocas ígneas intrusivas del Cretácico Superior representadas por rocas graníticas a lo largo de una orientación Noroeste-Sureste (Valencia-Moreno et al., 2003).

Así mismo, afloran rocas ígneas volcánicas extrusivas del terciario superior representadas por andesitas y riolita y rocas sedimentarias del Jurásico temprano y Terciario, representadas por arenitas y areniscas, respectivamente (Fig. 3) (Desonie, 1992; Vidal-Solano et al., 2007).

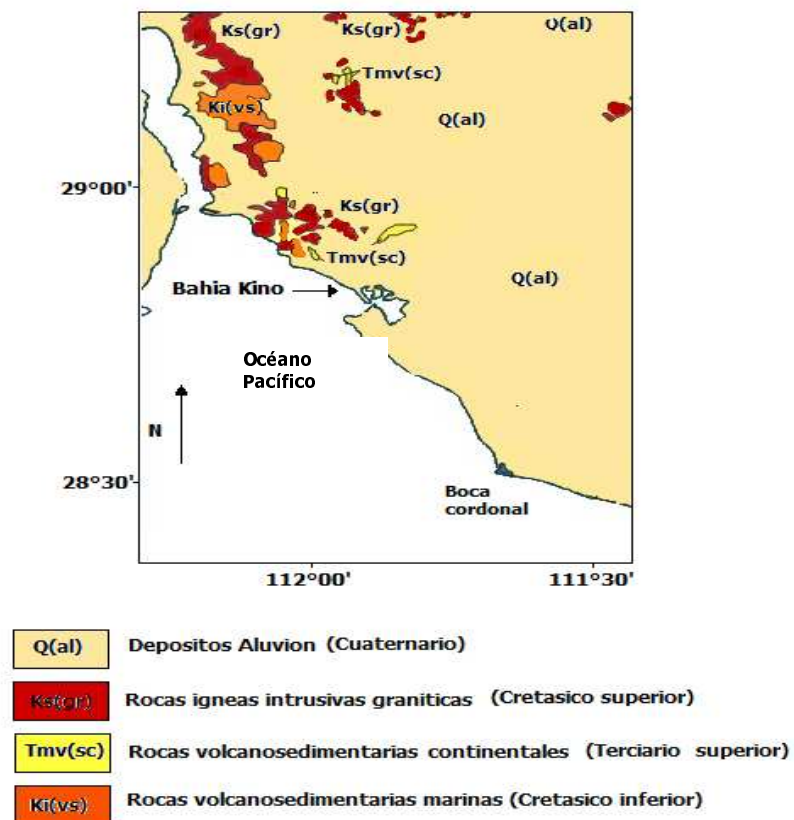


Figura 3. Geología de Bahía Kino (mapa modificado de Recursos Minerales, 1992).

Geología San Carlos

En la playa de San Carlos afloran rocas sedimentarias continentales del Cuaternario, representadas por depósitos aluviales y de talud. Rocas ígneas extrusivas volcanoclásticas del Terciario superior (Mioceno-Plioceno) como riolitas, andesitas y basaltos, y algunas rocas ígneas intrusivas del Mesozoico representadas por granitos y granodioritas (Consejo de Recursos Minerales, 1992) (Fig. 4).

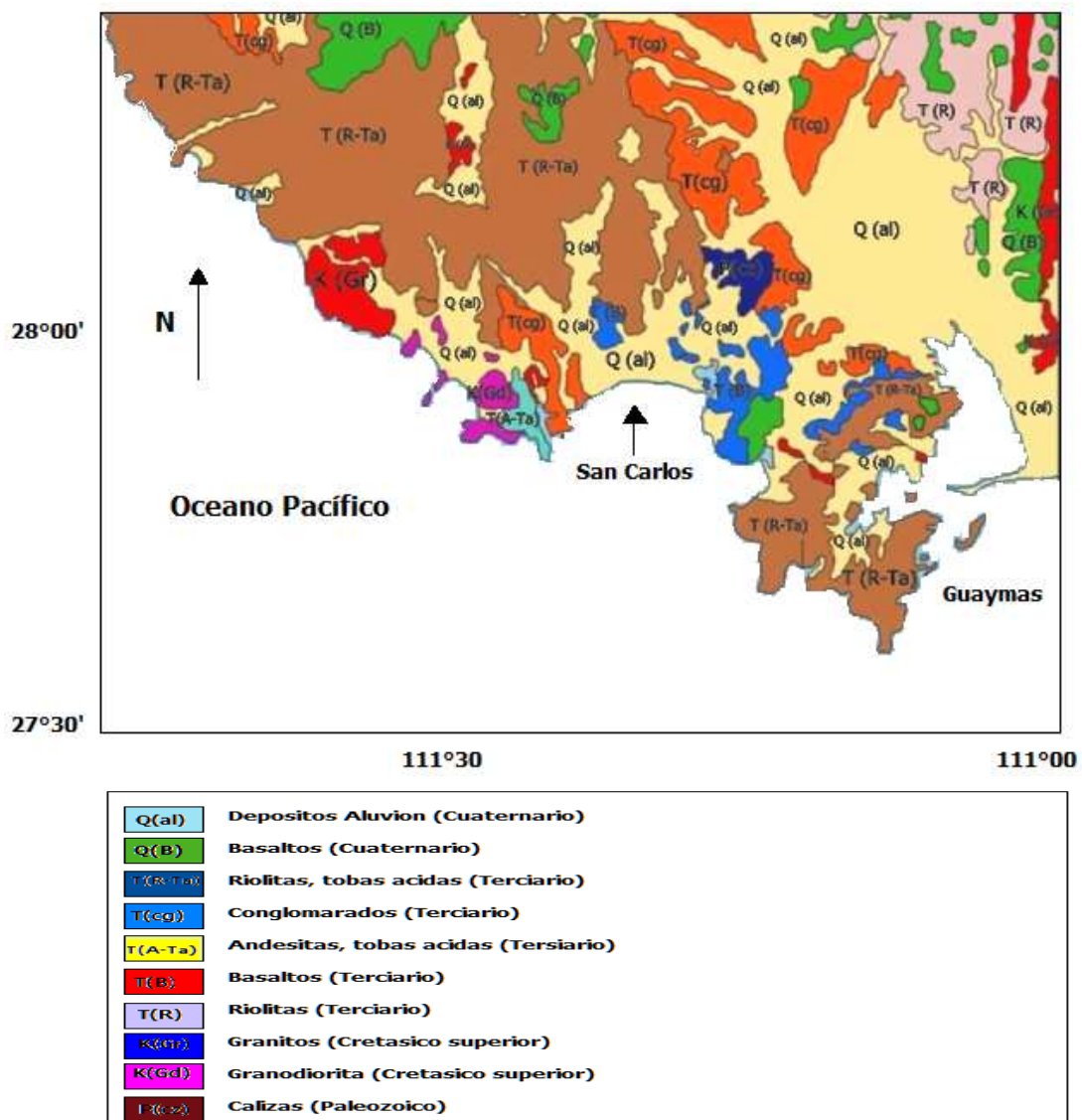


Figura 4. Geología de San Carlos (mapa modificado de Recursos Minerales, 1992).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Colecta de muestras

Las muestras fueron colectadas a lo largo de tres playas de México (17 muestras de Tecolutla, 7 muestras de Bahía Kino y 12 muestras de San Carlos), las cuales fueron colectadas en la zona de infraplaya donde se tomó aproximadamente 1kg de arena, colocadas en bolsas de plástico previamente etiquetadas con sus datos correspondientes.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM utilizando un equipo tamizador (Ro-Tap sieve shaker). Manteniendo un intervalo de 0.5ϕ , el tamizador fue unido a un contador de tiempo y cada muestra fue tamizada durante 20 min. Posteriormente, los materiales tamizados por cada malla fueron pesados por separado y guardados en bolsas debidamente etiquetadas. Posteriormente se calcularon los parámetros texturales (Tabla 1, 2, 3 y 4) los cuales fueron obtenidos usando las formulas y limites sugeridos por Folk y Ward (1957).

Parámetros texturales

Tamaño grafico promedio ($Mz \phi$)

Este parámetro expresa el diámetro promedio de las partículas de una muestra. Las diferencias en los tamaños de partícula se relacionan con el tipo litológico de la roca del área fuente y con la distancia entre el área fuente y el área de depósito. También los

diferentes tipos de energía que existen en el área de depósito van a influir en las características granulométricas del sedimento, por lo que este parámetro sirve para conocer la naturaleza de los sedimentos y sus condiciones deposicionales.

El tamaño grafico promedio se puede calcular usando la fórmula:

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

Sus límites son:

Mz ϕ	
-1.00 a 0.01 ϕ	Arena muy gruesa
0.01 a 1.0 ϕ	Arena gruesa
1.01 a 2.0 ϕ	Arena mediana
2.01 a 3.00 ϕ	Arena fina
3.01 a 4.00 ϕ	Arena muy fina

Desviación estándar grafica inclusiva ($\sigma_1\phi$)

La desviación estándar grafica inclusiva caracteriza el grado de clasificación de la muestra estudiada, es decir indica el grado de homogeneidad de la muestra de sedimento. Dicho parámetro puede estar influenciado por el grado de turbulencia, la velocidad de transporte, la naturaleza de los sedimento y por el transporte del viento (Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005).

La fórmula usada para su determinación es la siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6.6}$$

Sus límites son los siguientes:

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

Grado de asimetría (Sk_i)

Este parámetro indica el grado de asimetría de una curva de frecuencias, 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. Esta medida es importante ya que puede funcionar como un indicador de mezcla de arenas finas y gruesas (Folk, 1966).

La fórmula usada para su determinación es la siguiente:

$$SK_1 = \frac{(\phi_{86} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Sus límites son:

SK_1 de $+1.0$ a $+0.3 \phi$	Muy asimétrico hacia los tamaños finos
$+0.3$ a $+0.1 \phi$	Asimétrico hacia los tamaños finos
$+0.1$ a -0.1ϕ	Casi simétrico
-0.1 a -0.3ϕ	Asimétrico hacia los tamaños gruesos
-0.3 a -1.0ϕ	Muy asimétrico hacia los tamaños gruesos

Curtosis (K_G)

La curtosis es una medida de angulosidad de la curva de frecuencia, como relación de proximidad entre los valores centrales, generalmente el 50% central y los valores externos, en el 90%. En general si la curva de frecuencia unimodal, presenta un pico muy agudo es leptocurtica, si presenta una zona horizontal en el máximo es platicurtica y si es similar a la normal es mesocurtica. Esta medida refleja en cierto modo, el número de tamaños de grano que hay en la muestra y su distribución.

La curtosis se determina usando la siguiente fórmula:

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

Los límites establecidos son:

< 0.67 ϕ	Muy platicurtica
0.67 a 0.90 ϕ	Platicurtica
0.90 a 1.11 ϕ	Mesocurtica
1.11 a 1.50 ϕ	Leptocurtica
1.50 a 3.00 ϕ	Muy leptocurtica
> 3.00 ϕ	Extremadamente leptocurtica

Análisis petrográfico

Las láminas delgadas fueron preparadas en el Instituto de Geología con ayuda del Dr. Juan Jose Kasper-Zubillaga. Utilizando las muestras T1, T4, T6, T8, T10 para Tecolutla; SC1, SC11 para arenas de San Carlos y BK1, BK7 para arenas de Bahía Kino.

El estudio petrográfico se realizo en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM a cargo del Dr. Arturo Carranza-Edwards,

utilizando un microscopio de luz polarizada, en el cual se realizó un conteo de puntos (300 granos). Se cuantifican los granos de cuarzo total (Ct), feldespato total [Ft = feldespato potásico (Fk) + plagioclasa (P)], líticos totales [Lt = volcánicos + sedimentarios + metamórficos + plutónicos (Lv, Ls, Lm, Lp)], minerales pesados (MP), y componentes biogénicos (Bio), siguiendo el método sugerido por Franzinelli y Potter (1983).

Análisis geoquímicos

En total cuarenta y tres muestras (Tecolutla n=17, Bahía Kino n=14 y San Carlos n=12) fueron analizadas para determinar su concentración de elementos mayores, traza y tierras raras. Los elementos mayores en las arenas de Bahía Kino y San Carlos fueron analizados usando el método de Fluorescencia de rayos X (XRF) en el Instituto de Geología, UNAM. Elementos mayores en arenas de Tecolutla fueron analizadas por XRF en el Laboratorio de Geología de minas en Francia.

Los elementos traza y tierras raras (ETR) en Tecolutla, siguiendo la digestión estándar multi acida, fueron analizados por ICP-AES. Los elementos traza y ETR en muestras de arena en Bahía Kino fueron determinadas por INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis), usando un sistema automático detector dual (GeLi para alta energía de rayos gama y LEGe para baja energía de rayos gama). Los elementos traza y ETR para arenas de San Carlos fueron determinadas usando un espectrómetro de masas de alta resolución de plasma acoplado Finningan MAT ELEMENT (ICP-MS), en el Instituto Nacional de Geofísica, India, siguiendo el método de Balaram et al. (1995), Wu et al. (1996), y Yoshida et al. (1996). La precisión y exactitud para los estándares JG-2, según lo determinado por ICP-MS, están dentro de 5 a 10%.

CAPÍTULO 4

GRANULOMETRÍA

Introducción

Las arenas son materiales detríticos no consolidados que presentan un tamaño de partícula que va de 1/16 mm a 2 mm de diámetro. Las arenas en las playas y en los litorales se pueden dividir según su composición en dos grupos principales. Estas son las arenas carbonatadas, que son arenas hechas de partículas de CaCO_3 , y las arenas siliciclásticas, donde el prefijo “silici” se refiere a la composición química rica en el material silicatos y “clástico” se refiere al origen de los granos como clastos o fragmentos de rocas de silicato.

Varios estudios (Armstrong-Altrin et al., 2009; Carranza-Edwards et al., 2009) se han dedicado a conocer la relación que tienen las arenas siliciclásticas con su tipo de roca específica o con el ambiente tectónico en general. En el primer caso, se ha observado que las arenas ricas en cuarzo pueden derivarse del intemperismo de las rocas sedimentarias las cuales son comúnmente ricas en cuarzo, mientras que las arenas ricas en feldespatos potásico y cuarzo puede comúnmente ser derivadas de granitos, que son rocas ígneas ricas en feldespatos potásico y cuarzo. Esta línea de razonamiento es atractiva, pero algunas veces es difícil de utilizar ya que muchas rocas pueden producir arenas de composición similar y las variaciones en el ambiente tales como pendiente y cobertura vegetal influyen la producción de arenas.

Por otra parte las diferencias en los tamaños de grano de las arenas en playas ha contribuido a conocer el ambiente tectónico de una región ya que se ha observado que a lo largo de márgenes continentales pasivos los cuales son márgenes continentales en los que

no se produce la subducción (área de estudio Tecolutla, Golfo de México) las rocas sedimentarias relativamente abundantes provén mucho cuarzo. En estos ambientes el bajo relieve topográfico permite el excesivo intemperismo químico que destruye los minerales de sílice (transformación de feldespatos a minerales arcillosos), con excepción del cuarzo. Por lo tanto la producción final en estos sitios son arenas ricas en cuarzo debido a la alta estabilidad que presentan (Armstrong-Altrin et al., 2004). Además la forma que tienen los granos de arena en estos ambientes son sub-redondeados a redondeados debido al transporte y a la abrasión, provocada por la energía constante del ambiente, ya que estas arenas son transportadas continuamente por la energía de las olas. Asimismo la redondez de los granos de cuarzo puede sugerir un transporte fluvial o también se puede generar por el transporte de viento prolongado (Kasper-Zubillaga et al., 2009).

A lo largo de márgenes continentales activos en los cuales ocurre la subducción, como en el oeste de Norte América y Sur América, los diferentes tipos de roca formadas por el vulcanismo y el emplazamiento de rocas plutónicas proveen diversos minerales entre los cuales se encuentra el cuarzo. En estas zonas la elevada topografía del relieve permite una erosión inmediata sin presentar un intemperismo extensivo, por lo que los minerales de silicato además del cuarzo sobreviven al intemperismo. El resultado en estas zonas es la producción de diversas arenas con cuarzo, feldespatos, otros minerales de sílice y fragmentos líticos (granos de múltiples minerales), los cuales presentan formas angulares a sub angulares debido su menor transporte y menor abrasión (Kasper-Zubillaga et al., 2009).

A lo largo de los arcos de isla, los cuales son cadenas de volcanes en donde la corteza oceánica es subducida bajo la corteza oceánica, como en Tonga y en las islas Marianas en el oeste del Pacífico, y en Cuba, en estas zonas las rocas volcánicas de composición máfica son predominantes. De esta forma, las arenas a lo largo de esos ambientes tienen una gran proporción de minerales máficos oscuros y fragmentos de basalto.

También se ha observado que el estudio de tamaño de las partículas que constituyen a las arenas es de gran utilidad ya que la diferencia entre tamaño de partículas se relaciona con el tipo de rocas del área fuente, y con la distancia de esta y el área de depósito. Además los diferentes tipos de energía que existen en el área de depósito van a influir en las características granulométricas del sedimento (Carranza-Edwards et al., 2001). Diversos estudios han demostrado que las condiciones hidrodinámicas que prevalecen durante la depositación de sedimentos clásticos controlan el tamaño y composición de los sedimentos.

De este modo, este capítulo describe los parámetros de tamaño de grano según (Folk y Ward, 1957) tales como media, desviación estándar, grado de asimetría y curtosis, de las muestras colectadas en tres diferentes playas (Tecolutla Bahía Kino y San Carlos), con la finalidad de conocer e interpretar las diferencias texturales de cada área y conocer el tipo de ambiente de depósito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros texturales

Observando los parámetros de tamaño de grano para las tres playas en estudio calculados con base en el método gráfico de Folk y Ward (1957). El tamaño medio de las arenas para Tecolutla muestran valores que van de 1.2 a 2.0 ϕ (Tabla 1). Según los límites propuestos por Folk y Ward (1957), dichas arenas son principalmente arenas de grano medio. Asimismo, el tamaño medio de las arenas en Bahía Kino va de 1.6 a 2.4 ϕ , indicando principalmente arenas de grano medio y arenas de grano fino. Las arenas de San Carlos tienen valores entre 1.5 y 2.4 ϕ , lo cual indica tamaño de arenas que van de arenas de grano medio a arenas de grano fino.

Tabla 1. Tamaño gráfico promedio (Mz ϕ) para arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.

Playa	Tamaño gráfico promedio	Clasificación
Tecolutla	1.2 a 2.0 ϕ	Arenas medias
Bahía Kino	1.6 a 2.4 ϕ	Arenas medianas a arenas finas
San Carlos	1.5 a 2.4 ϕ	Arenas medianas a arenas finas

Los valores de la desviación estándar para arenas de Tecolutla son de 0.4 ϕ en la mayoría de todas las muestras, indicando arenas bien clasificadas (Tabla 2). También los valores para arenas de Bahía Kino (0.4 - 0.5 ϕ) indican arenas bien clasificadas. Mientras que en San Carlos los valores fueron de (0.2 a 0.4 ϕ) (Tabla 2) sugiriendo la presencia de

arenas muy bien clasificadas a bien clasificadas. Los valores de desviación estándar muestran arenas bien clasificadas a muy bien clasificadas en las playas estudiadas, esto puede deberse a que las arenas están expuestas a la abrasión por olas de mar que produce la reducción del tamaño de arena y mejora la clasificación de estas (Carranza-Edwards et al., 2009).

Tabla 2. Desviación estándar grafica inclusiva ($\sigma_1\phi$) para las arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos

Playa	Desviación estándar ($\sigma_1\phi$)	Clasificación
Tecolutla	0.4 ϕ	Bien clasificado
Bahía Kino	0.4-0.5 ϕ	Bien clasificado
San Carlos	0.2-0.4 ϕ	Muy bien clasificado y Bien clasificado

El estudio de Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards (2005) sugiere que las arenas finas son bien clasificadas debido a los procesos de la selectividad marina, fluvial y eólica que afecta la arena. Kasper-Zubillaga et al. (2009) sugieren que el transporte eólico y la selectividad del viento produce arena de grano fino moderadamente a bien clasificada mientras que la presencia de arenas moderadamente clasificadas puede indicar la mezcla de procesos eólicos/marinos que generan diferentes tamaños de grano. Además, la clasificación de los sedimentos puede depender de su distancia de transporte, si esta es larga o corta, ocasiona un buen clasificado y un mal clasificado, respectivamente así como del tipo de depositación, la energía del ambiente y la mezcla de sedimentos.

Los valores observados en el grado de asimetría para las arenas de Tecolutla (Tabla 3) fueron de -0.1ϕ a 0.1ϕ , dominado principalmente los valores negativos, lo cual sugiere que el tamaño de grano en las arenas de Tecolutla tiende a presentar tamaños principalmente gruesos. Bahía Kino mostró valores de -0.1ϕ a 0.1ϕ . En las arenas de San Carlos (Tabla 3), se observan valores de -0.1ϕ a -0.2ϕ indicando tamaño de las arenas gruesas

Tabla 3. Grado de asimetría (Sk_i) para las arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.

Playa	Grado de asimetría (Sk_i)	Clasificación
Tecolutla	-0.1 a 0.1ϕ	Casi simétrico y asimétrico hacia los gruesos
Bahía Kino	-0.1 a 0.1ϕ	Casi simétrico
San Carlos	-0.1 a 0.1ϕ	Casi simétrico y asimétrico hacia los finos

Los valores de grado de asimetría en las muestras de arenas de las playas de Tecolutla, y Bahía Kino mostraron grado de asimetría simétrico, lo cual puede indicar que las arenas de estas playas tienden a presentar arenas finas y gruesas. Lo cual nos sugiere que las condiciones de erosión, transporte y de sedimentación son particulares para cada área de estudio (Kasper-Zubillaga et al., 2008b).

Los valores de curtosis en arenas de Tecolutla son de 1.0ϕ a 1.8ϕ representando una clase de curtosis que va de mesocurtica a muy leptocurtica (Tabla 4). En Bahía Kino, los valores de 0.9ϕ a 1.8ϕ indican una clase de curtosis mesocurtica a leptocurtica. Los valores

de San Carlos oscilaron entre 0.8ϕ a 1.27ϕ y muestran una clase de curtosis principalmente platicurtica a leptocurtica (Tabla 4).

Tabla 4. Curtosis (K_G) para las arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.

Playa	Curtosis (K_G)	Clasificación
Tecolutla	$1.0 - 1.8\phi$	Mesocurtica - Muy leptocurtica
Bahía Kino	$0.9 - 1.8\phi$	Mesocurtica - Muy leptocurtica
San Carlos	$0.8 - 1.3\phi$	Platicurtica- Leptocurtica

Diagramas bivariantes para interpretar los ambientes deposicionales

Los diagramas bivariantes ayudan a interpretar el origen de las arenas ya que discriminan los sedimentos provenientes de playa y de duna (Friedman, 1961; Moiola y Weiser, 1968). En la Figura 5 a) se observan los valores de desviación estándar ($\sigma_1\phi$) y los valores medios ($Mz\phi$). En estos diagramas se observa que la mayoría de las muestras de arena de las playas Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos caen dentro del campo de arenas propuesto por Friedman (1961) y Moiola y Weiser (1968).

El diagrama de $Mz\phi$ contra $Sk_1\phi$ (Fig. 5 b) propuesto por Moiola y Weiser (1968), Hails y Hoyt (1969) es utilizado para diferenciar los campos de playa y duna, en este diagrama la mayoría de las muestras se observan dentro del campo del ambiente de playa. El diagrama de $\sigma_1\phi$ contra $Sk_1\phi$ propuesto por Friedman (1967) se utiliza para distinguir ambientes de rio y playa, en este diagrama todas las muestras cayeron dentro de ambientes de playa (Fig. 5 c).

En el diagrama $Sk_1 \phi$ contra $\sigma_1 \phi$ mostrado en la Figura 5d, la concentración de todas las muestras caen dentro del ambiente de playa según diagramas propuesto por Friedman (1961), Muiola y Weiser (1968). Por lo tanto estos diagramas indican que las arenas de las tres playas en estudio pertenecen principalmente a arenas de ambientes de playa.

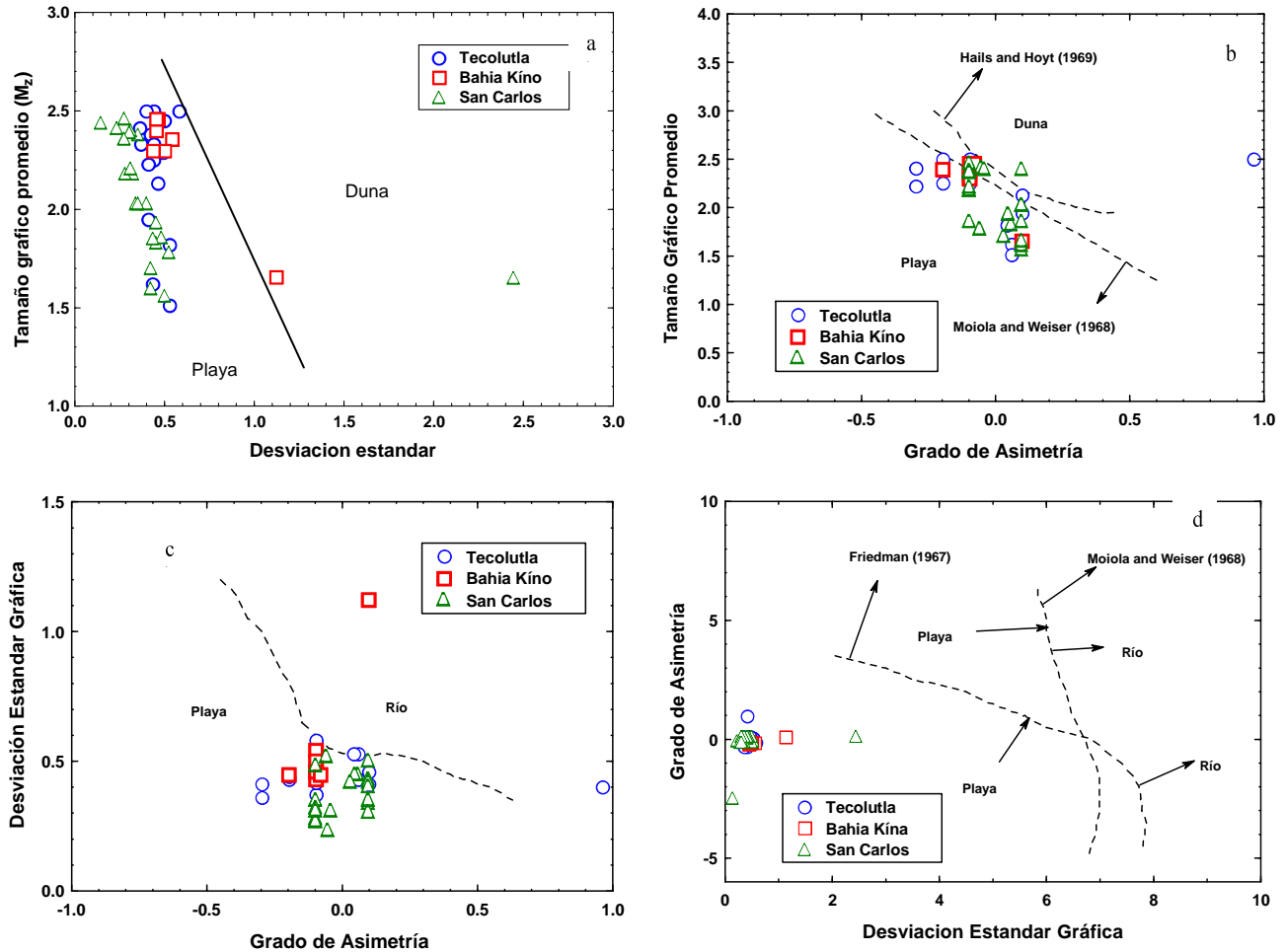


Figura 5 a) diagrama $Mz\phi$ contra desviación estándar σ_1 (Friedman, 1961). b) Diagrama $Mz\phi$ contra Sk_1 (Muiola y Weiser, 1968; Hails y Hoyt). c) Diagrama desviación estándar grafica contra grado de asimetría, propuesto por Friedman (1967). d) Diagrama $Sk_1 \phi$ contra $\sigma_1 \phi$ (Friedman, 1967; Muiola y Weiser, 1968).

Petrografía

El análisis petrográfico mostró que el cuarzo es más abundante en las arenas de Bahía Kino (61-69 %) y San Carlos (55-64 %) que en las arenas de Tecolutla (43-48 %), como se muestra en la Tabla 5. El promedio de cuarzo-feldespatos-fragmentos líticos que se obtuvo fue de Qt₄₅-Ft₆-Lt₂₄, Qt₆₅-Ft₇-Lt₁₇, y Qt₆₀-Ft₂₀-Lt₉ para arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos, respectivamente.

Tabla 5. Petrografía arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos.

Localidad	Tecolutla					San Carlos		Bahía Kino	
Muestra#	T1	T4	T6	T8	T10	SC1	SC11	BK1	BK7
Ct	46	48	46	43	46	55	64	69	61
Fk	0	3	1	4	5	22	19	6	8
P	4	3	3	3	4	0	0	0	0
Lv	14	9	7	6	10	10	8	13	20
Ls	5	5	7	11	11	0	1	0	0
Lm	3	7	7	3	5	0	0	0	0
Lp	3	0	4	4	0	0	0	0	0
MP	0	3	0	3	2	14	8	12	11
Biog.	25	22	24	23	20	0	0	0	0
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Ct = cuarzo; Fk = feldespato potásico; P = plagioclasa; Lv = líticos volcánicos; Ls = líticos sedimentarios; Lm = líticos metamórficos; Lp = líticos plutónicos; MP = minerales pesados; Biog. = componentes biogénicos.

Entre los fragmentos líticos, los fragmentos líticos volcánicos (Lv) son dominantes en arenas de Bahía Kino (13-20%). Mientras que las arenas de Tecolutla contienen mayor cantidad de fragmentos líticos sedimentarios (Ls = 5-11%) tal vez derivados de areniscas. Los fragmentos líticos metamórficos y plutónicos son escasos en arenas de Bahía Kino y San Carlos.

Además, se observó que los minerales pesados son más abundantes en arenas de Bahía Kino y San Carlos que en arenas de Tecolutla. También se observó que los contenidos biogénos son más abundantes en Tecolutla que en Bahía Kino y San Carlos.

El diagrama ternario Ct- Ft-Lt (Fig. 6) muestra que las arenas en las tres playas de estudio (Tecolutla, Bahía Kino, y San Carlos) tienen diferencias en su composición.

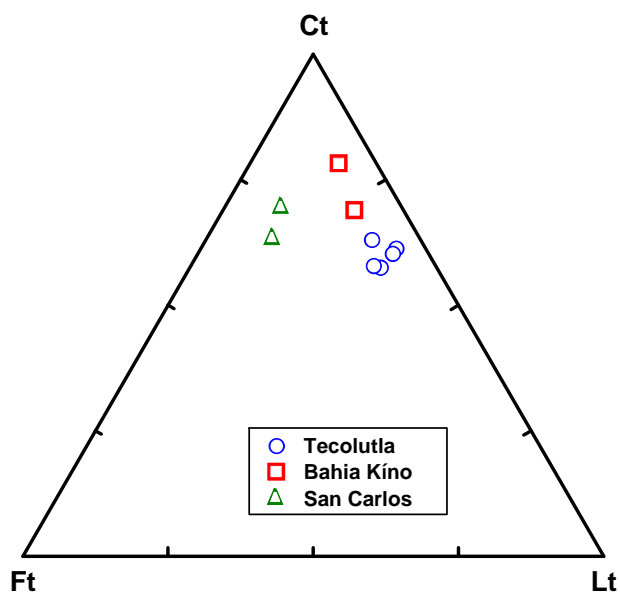


Figura 6. Diagrama ternario de Ct- Ft-Lt.

CAPÍTULO 5

GEOQUÍMICA

Introducción

La composición mineralógica y química en arenas de playa es comúnmente utilizada como un sensible indicador de procedencia. También se utiliza para identificar las condiciones de intemperismo y en algunos casos es utilizada para distinguir ambientes tectónicos (Cullers, 1994b; Cox y Lowe, 1996; Carranza-Edwards et al., 1998; Cullers, 2000; Armstrong-Altrin et al., 2004;; Kasper-Zubillaga et al., 2008b). Sin embargo, la composición de las arenas esta influenciada por la naturaleza de los procesos sedimentarios dentro de la cuenca de depósito y por el tipo de ruta de dispersión que la enlaza hacia la cuenca (Armstrong-Altrin y Verma, 2005; Gosen et al., 2009; Etemad-Saeed et al., 2011).

Los elementos traza tales como Y, Sc, Cr, Th, Zr, Hf, Nb, y Ti son los más adecuados para la determinación de procedencia y ambiente tectónico, debido a su movilidad relativamente baja durante los procesos sedimentarios. Estos elementos se presentan preferentemente en minerales resistentes y no son liberados por intemperismo y transportación, por lo que estos pueden reflejar mejor el material parental del cual provienen (McLennan et al., 1993). Debido a esto, se espera que los elementos traza sean más útiles en estudios de procedencia y en la discriminación de ambientes tectónicos que los elementos mayores (i.e. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2) (Cullers, 1994b; Bakkiaraj et al., 2010)

Diversos estudios han sido establecidos usando la geoquímica de arenas para determinar la procedencia y el ambiente tectónico de las cuencas sedimentarias de diferentes partes del mundo (McLennan et al., 1993; Kasper-Zubillaga et al., 1999, 2009,

2008b; Carranza-Edwards et al., 2001, 2009; Armstrong-Altrin et al., 2004; Nagarajan et al., 2007a, b; Ryan y Williams, 2007). Se ha observado que la distribución relativa de elementos inmóviles como el La y Th (enriquecidos en rocas silíceas) y Sc, Cr, Co (enriquecidos en rocas básicas y menor en rocas silíceas) han sido usados para inferir la contribución de materiales de origen félsico o máficos en arenas de diferentes ambientes tectónicos (Borges y Huh, 2007; Borges et al., 2008).

Cullers et al. (1988) ha demostrado que el Ba y Co son abundantes en sedimentos clásticos los cuales son utilizados como diagnósticos para distinguir la fuente félsica o máfica, respectivamente. La proporción La/Lu y también otras proporciones de elementos traza, pueden ser usados para determinar la procedencia de las arenas de playa debido a que la mayoría de las rocas básicas contienen una baja proporción La/Lu, mientras que rocas mas silíceas tienen una alta proporción La/Lu (e.g., granita, riolita).

De forma similar, las variaciones en la composición geoquímica en arenas de playa refleja cambios en la composición mineralógica debido a los efectos del intemperismo y procesos diagenéticos (García et al., 2004; Roddaz et al., 2005, 2006; Nesbitt et al., 2006; Selvaraj y Chen, 2006;). Aunque elementos mineralogicamente inestables y solubles son afectados durante el intemperismo, otros elementos químicamente inmóviles (e.g., ETR, Th, Cr, Sc) son preservados en sedimentos clásticos, por lo que registran la señal química de su roca fuente. Por lo tanto, estos elementos y sus proporciones elementales son muy útiles para determinar las características de procedencia del sedimento. El objetivos principal de este capítulo es evaluar la procedencia y las características de la roca fuente de las arenas en (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos) utilizando concentraciones de elementos mayores, traza y tierras raras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Geoquímica de elementos mayores

La Tabla 6 enlista las concentraciones de elementos mayores analizados en las arenas de las tres playas en estudio. En la Figura 7, se muestra la composición de las arenas clasificadas como silíceas intermedias ($\text{SiO}_2 = 52 - 63 \%$) y altas en silicio ($\text{SiO}_2 > 63 \%$) (Le Bas et al., 1986).

Tabla 6. Elementos mayores (%) en arenas de Tecolutla (T) Bahía Kino (BK) y San Carlos (SC), CIW = índice de intemperismo químico

Mzφ	Elementos Mayores	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	SUMA	CIW
Arenas medias	T 1	50.87	0.34	8.03	2.57	0.06	1.02	18.13	1.81	1.24	0.10	15.28	99.45	81
Arenas medias	T 2	53.07	0.33	8.99	2.54	0.06	1.09	16.47	2.03	1.50	0.08	13.47	99.63	81
Arenas medias	T 3	48.96	0.34	7.92	2.59	0.06	1.01	19.04	1.83	1.32	0.10	15.79	98.96	81
Arenas medias	T 4	54.27	0.29	7.86	2.45	0.06	1.27	16.71	1.86	1.17	0.08	13.11	99.13	80
Arenas medias	T 5	51.31	0.34	7.95	2.61	0.06	1.01	18.43	1.89	1.33	0.10	14.83	99.86	80
Arenas medias	T 6	49.17	0.40	6.53	3.32	0.08	1.08	20.21	1.40	1.04	0.09	15.61	98.93	82
Arenas medias	T 7	50.11	0.34	6.95	3.01	0.08	1.65	19.24	1.52	1.08	0.09	15.09	99.16	82
Arenas medias	T 8	51.89	0.30	8.32	2.39	0.06	1.06	18.01	1.94	1.32	0.08	14.22	99.59	81
Arenas medias	T 9	53.77	0.24	3.85	1.52	0.05	0.82	20.50	0.86	0.86	0.07	16.81	99.35	81
Arenas medias	T10	49.93	0.24	7.92	2.63	0.06	1.02	19.75	1.87	1.31	0.10	13.58	98.41	80
Arenas medias	T11	56.39	0.23	4.01	1.46	0.04	0.65	19.51	0.87	0.89	0.07	16.15	100.3	82
Arenas medias	T12	50.72	0.19	4.56	1.79	0.06	0.76	21.70	1.08	0.99	0.08	18.11	100.0	80
Arenas medias	T13	54.79	0.18	4.84	1.56	0.05	0.72	19.34	1.06	1.18	0.07	15.96	99.75	82
Arenas medias	T14	60.26	0.33	9.03	2.58	0.05	0.86	11.82	2.19	2.09	0.09	10.55	99.85	80
Arenas medias	T15	58.65	0.36	4.07	1.55	0.05	0.73	17.78	0.90	0.97	0.07	14.37	99.50	n
Arenas medias	T16	50.66	0.36	8.43	2.92	0.07	1.32	17.42	1.95	1.42	0.09	14.25	98.89	81
Arenas medias	T17	54.03	0.16	4.63	1.45	0.05	0.71	19.26	1.06	1.10	0.07	16.35	98.87	81
	Prom	52.87	0.29	6.70	2.29	0.06	0.99	18.43	1.54	1.22	0.08	14.91	99.39	81
	Dest	3.26	0.07	1.91	0.61	0.01	0.26	2.18	0.47	0.29	0.01	1.72	0.49	0.8
Arenas finas	BK 1	70.91	0.26	12.39	1.58	0.01	1.33	3.27	3.49	3.65	0.12	2.64	99.65	78
Arenas finas	BK 2	69.87	0.38	12.26	2.09	0.03	1.18	3.25	3.44	3.49	0.14	2.59	98.72	78
Arenas finas	BK 3	70.34	0.26	12.32	1.61	0.02	1.10	3.09	3.56	3.74	0.12	2.74	98.90	79
Arenas finas	BK 4	69.65	0.24	12.38	1.56	0.02	1.11	3.43	3.53	3.77	0.12	2.99	98.81	78
Arenas finas	BK 5	70.19	0.30	12.27	1.76	0.03	1.11	3.13	3.57	3.63	0.12	2.61	98.72	77
Arenas finas	BK 6	70.57	0.26	12.35	1.60	0.02	1.11	3.18	3.55	3.72	0.12	2.83	99.30	77
Arenas finas	BK 7	69.52	0.28	12.07	1.63	0.02	1.23	3.36	3.58	3.63	0.12	2.93	98.37	77
Arenas medias	BK 8	63.65	0.12	10.09	1.03	0.02	1.02	8.83	2.75	4.15	0.13	8.02	99.81	78
Arenas medias	BK 9	69.33	0.14	10.77	1.04	0.02	0.87	5.37	3.00	4.20	0.12	4.81	99.66	79
Arenas medias	BK 10	67.64	0.11	10.06	0.88	0.02	0.78	7.07	2.60	4.22	0.12	6.17	99.67	79
Arenas medias	BK 11	61.14	0.11	8.98	0.93	0.02	0.94	11.14	2.43	4.01	0.13	10.04	99.88	78
Arenas medias	BK 12	68.92	0.12	10.21	0.92	0.01	0.77	6.17	2.64	4.16	0.12	5.55	99.58	78
Arenas medias	BK 13	67.33	0.10	9.71	0.85	0.02	0.79	7.41	2.50	4.28	0.13	6.57	99.68	77
Arenas medias	BK 14	69.89	0.13	10.81	1.00	0.01	0.82	4.93	2.92	4.22	0.11	4.51	99.33	77
	Prom	68.50	0.20	11.19	1.32	0.02	1.01	5.26	3.11	3.92	0.12	4.64	99.29	78
	Dest	2.82	0.09	1.22	0.41	0.01	0.18	2.55	0.46	0.28	0.01	2.36	0.49	0.8
Arenas medias	SC 1	44.40	0.10	9.30	0.90	0.00	0.80	21.20	2.50	1.20	0.20	18.30	98.90	78
Arenas medias	SC 2	46.60	0.10	9.50	0.90	0.00	0.80	20.40	2.70	1.20	0.10	17.52	99.82	80
Arenas medias	SC 3	47.00	0.10	9.50	0.80	0.00	0.90	19.70	2.70	1.40	0.10	17.30	99.50	80
Arenas medias	SC 4	46.30	0.10	9.70	0.90	0.00	0.80	20.00	2.60	1.40	0.10	16.89	98.79	80
Arenas medias	SC 5	48.10	0.10	9.70	0.80	0.00	0.80	18.90	2.60	1.50	0.10	16.41	99.01	80
Arenas medias	SC 6	47.30	0.10	9.80	0.90	0.00	0.80	19.80	2.70	1.40	0.10	16.75	99.65	80
Arenas medias	SC 7	49.30	0.20	10.90	1.20	0.00	0.90	18.60	2.90	1.80	0.20	13.98	99.98	78
Arenas medias	SC 8	56.80	0.10	11.70	0.80	0.00	0.80	13.80	2.80	2.30	0.20	10.39	99.69	77
Arenas medias	SC 9	50.90	0.20	11.20	1.10	0.00	0.80	17.50	2.70	2.00	0.20	13.56	100.0	77
Arenas finas	SC 10	48.30	0.20	10.40	1.40	0.00	0.80	19.80	2.50	1.80	0.20	14.50	99.90	78
Arenas finas	SC 11	51.90	0.20	10.80	1.20	0.00	0.80	17.20	2.60	1.90	0.20	13.00	99.80	78
Arenas finas	SC 12	51.40	0.20	10.60	1.10	0.00	0.80	17.60	2.50	1.90	0.20	13.27	99.57	78
	Prom	49.03	0.14	10.26	1.00	0.00	0.82	18.71	2.65	1.65	0.16	15.16	99.55	79
	Dest	3.18	0.05	0.75	0.19	0.00	0.04	1.90	0.12	0.33	0.05	2.28	0.41	1.2

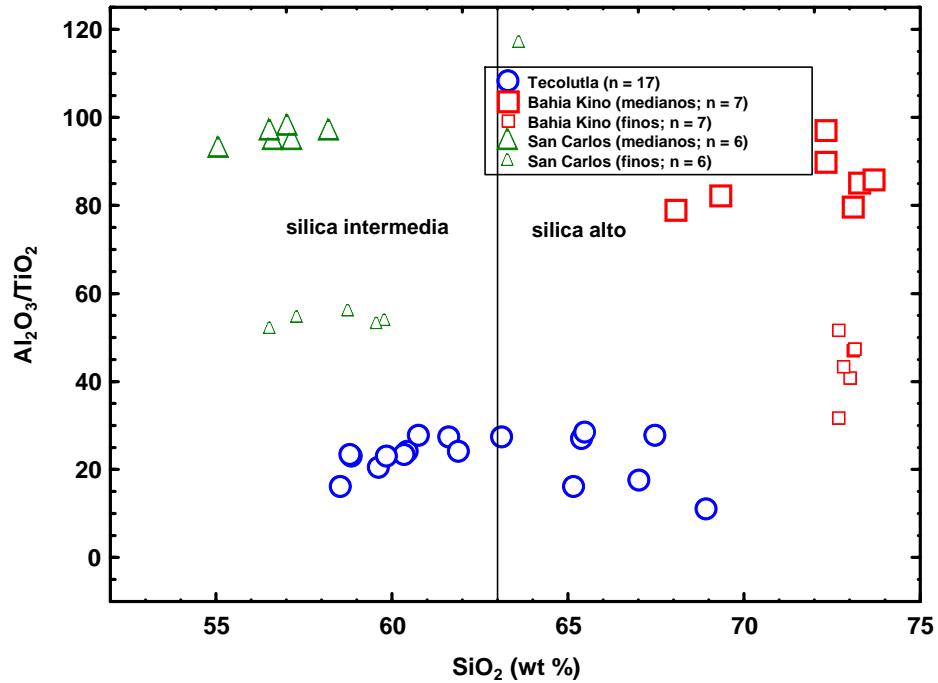


Figura 7. Relación entre Al_2O_3/TiO_2 y SiO_2 para las arenas de playa en Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos (Le Bas et al., 1986). n = número de muestras.

En este diagrama (Fig. 7), las arenas de Tecolutla presentan alta variación y muestran contenidos intermedios y altos de SiO_2 . Los contenidos de SiO_2 para las playas de Bahía Kino y San Carlos son ampliamente variables. Para Bahía Kino las arenas tienen un alto contenido de SiO_2 este varía de 68 a 74 %, por lo que muestran una composición félsica. Las variaciones en el contenido SiO_2 para las arenas de San Carlos son bajas (55-63), las cuales muestran una composición intermedia (Fig. 7).

La variación en la relación Al_2O_3/TiO_2 es más pequeña en las arenas de Tecolutla (11-29, 23 ± 5 , n = 17) que en las de Bahía Kino (32-97, 65 ± 22 ; n = 14) y San Carlos (52-117, 80 ± 24 , n = 12). Las amplias diferencias observadas en la relación Al_2O_3/TiO_2 entre las arenas de Bahía Kino y San Carlos puede ser debido a las variaciones en el tamaño de grano entre estas dos (Bakiaraj et al., 2010).

De forma similar, el contenido de Al_2O_3 es más bajo en las arenas de Tecolutla (5-10, 8 ± 2) que en las arenas de Bahía Kino (10-13, 12 ± 1) y San Carlos (12 - 13, 12 ± 0.55). Observándose que los contenidos de Al_2O_3 incrementan de arenas medianas a arenas muy finas (Fig. 8).

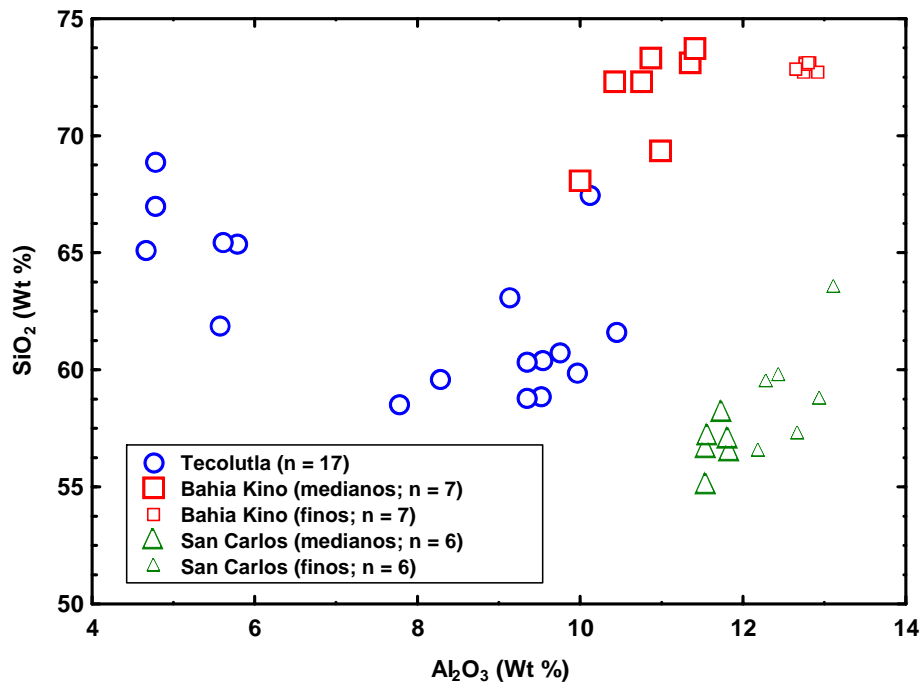


Figura 8. Diagrama bivalente de SiO_2 versus Al_2O_3 para las arenas de playas. Los contenidos de SiO_2 en arenas de San Carlos son menores que en las arenas de Bahía Kino y Tecolutla.

La medición de correlación entre TiO_2 y Al_2O_3 es más alta en las arenas de Bahía Kino ($r = 0.89$, $n = 14$) que en las de Tecolutla ($r = 0.59$, $n = 17$) y San Carlos ($r = 0.54$, $n = 12$; Fig. 9). Los valores del coeficiente de correlación para TiO_2 contra Fe_2O_3 siguen una tendencia similar, la cual es mayor en arenas de Bahía Kino ($r = 1.00$, $n = 14$) que en arenas de Tecolutla ($r = 0.79$, $n = 17$) y San Carlos ($r = 0.87$, $n = 12$; Fig. 10). Esto indica que la abundancia de TiO_2 y Fe_2O_3 tiene un comportamiento de minerales pesados (i.e. titanomagnetita, ilmenita y magnetita) en arenas de Bahía Kino.

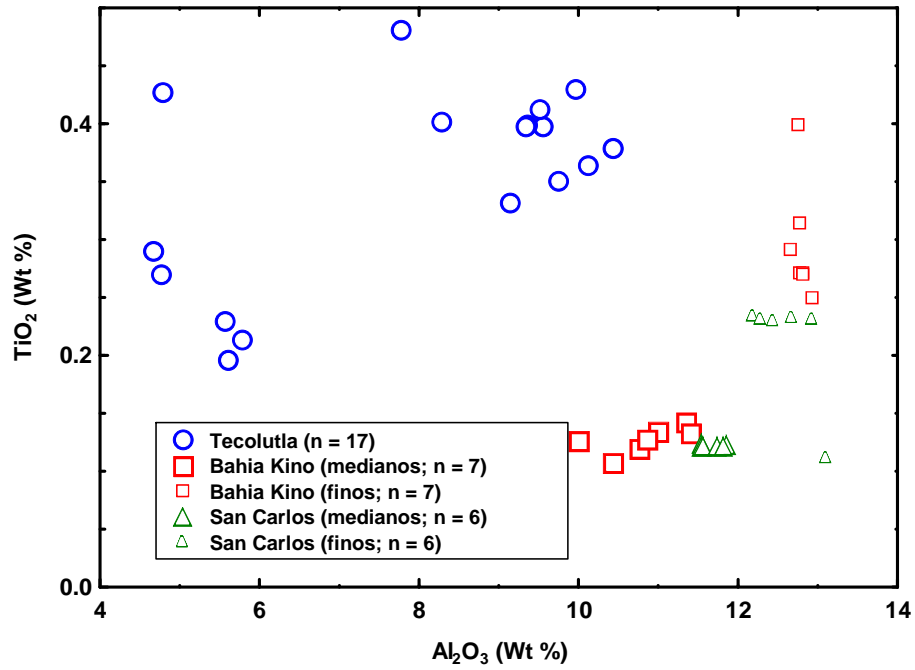


Figura 9. Diagrama Al_2O_3 - TiO_2 muestra el enriquecimiento de TiO_2 en algunas muestras.

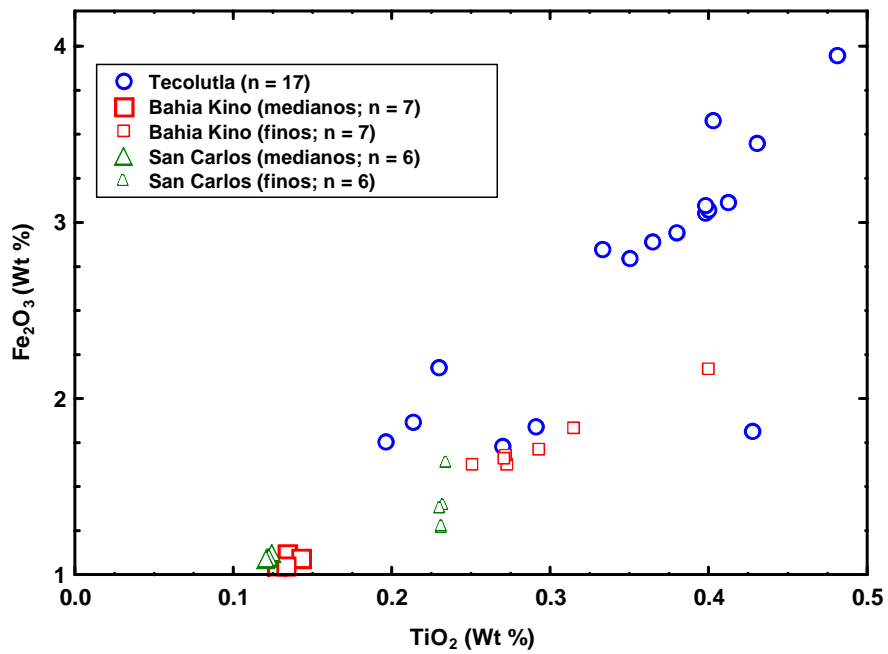


Figura 10. Diagrama bivalente TiO_2 - Fe_2O_3

En el diagrama de clasificación química de $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ vs. $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Fig. 11) (Pettijohn et al., 1972), las arenas de San Carlos cayeron dentro del campo de las grauwacas y las arenas de Bahía Kino cayeron en el campo de las lit-arenita. Las arenas de Tecolutla principalmente son clasificadas como lit-arenita, con excepción de algunas muestras las cuales cayeron en el campo de las rocas sub-arkosa.

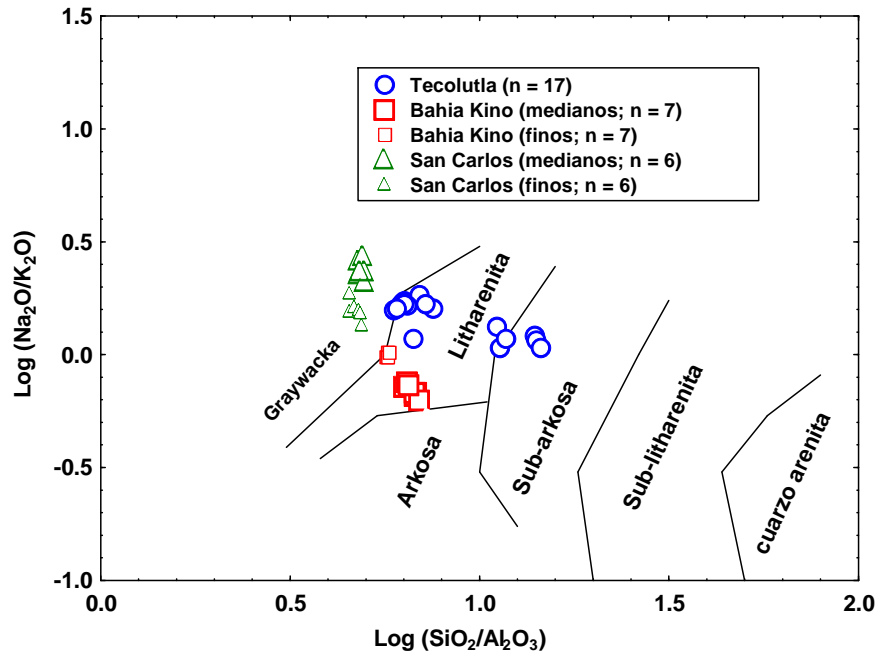


Figura 11. Clasificación geoquímica de arenas (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos) usando el diagrama $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)\text{-log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Pettijohn et al., 1972).

Geoquímica de elementos traza

Elementos litófilos de ion grande (LILE) Rb, Ba, Sr, Th, y U

Las concentraciones de elementos traza están reportadas en la Tabla 7 y Figura 12. En comparación con los valores superiores de la corteza continental, la concentración de las muestras estudiadas son generalmente bajas en Rb, Ba, Th, y U. Sin embargo, las arenas de Bahía Kino son ligeramente mayores en el contenido de Ba que en las arenas de

San Carlos. De forma similar, se nota un ligero enriquecimiento en el contenido de Sr en las muestras de arena estudiadas.

Tabla 7. Concentraciones de elementos traza (ppm)

Elementos traza	Ba	Bc	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Nb	Ni	Pb
T 1	279	-	11.0	16.4	-	68.2	8.2	-	4.6	11.5	22.7
T 2	326	-	15.0	21.1	-	60.7	9.1	-	4.5	12.4	12.3
T 3	295	-	16.0	16.2	-	108	8.0	-	4.5	11.6	12.4
T 4	287	-	19.0	26.3	-	126	7.7	-	3.2	14.8	12.6
T 5	301	-	18.0	16.4	-	44.4	7.9	-	4.7	12.6	13.7
T 6	261	-	20.0	37.9	-	47.0	6.5	-	3.8	18.4	13.7
T 7	274	-	17.0	34.1	-	60.1	6.7	-	3.4	17.9	12.6
T 8	326	-	11.0	20.2	-	33.1	8.5	-	3.8	12.6	7.9
T 9	239	-	26.0	20.4	-	18.6	3.6	-	3.0	7.9	4.5
T 10	287	-	12.0	16.2	-	33.2	7.9	-	4.4	11.9	7.6
T 11	254	-	19.0	19.0	-	46.2	3.2	-	2.9	7.4	6.0
T 12	274	-	24.0	16.2	-	27.8	4.5	-	2.8	8.8	6.3
T 13	295	-	35.0	15.8	-	21.4	4.4	-	2.6	8.1	5.7
T 14	351	-	16.0	15.3	-	48.7	9.8	-	6.9	11.9	11.4
T 15	278	-	15.0	26.0	-	111	3.4	-	4.7	7.1	11.6
T 16	313	-	13.0	27.0	-	52.4	8.7	-	5.0	15.9	11.5
T 17	291	-	21.0	14.3	-	22.8	4.2	-	2.4	7.4	5.4
Prom	290		18.1	21.1		54.7	6.6		4.0	11.7	10.5
Dest	28		6.1	6.9		32.3	2.2		1.1	3.6	4.5
BK 1	883	-	2.2	7.2	3.0	-	-	1.8	-	6.1	-
BK 2	860	-	3.7	15.0	3.3	-	-	2.2	-	8.8	-
BK 3	939	-	2.2	7.6	2.9	-	-	1.9	-	4.3	-
BK 4	850	-	4.2	19.2	3.3	-	-	5.5	-	13.7	-
BK 5	948	-	1.7	5.9	2.7	-	-	1.6	-	5.7	-
BK 6	852	-	3.7	14.0	3.3	-	-	2.8	-	7.1	-
BK 7	883	-	1.8	5.4	2.7	-	-	1.5	-	4.5	-
BK 8	866	-	3.6	12.7	3.4	-	-	2.4	-	5.9	-
BK 9	932	-	1.9	6.2	2.7	-	-	1.7	-	6.6	-
BK 10	880	-	3.9	15.8	3.3	-	-	3.6	-	9.7	-
BK 11	924	-	1.7	5.3	2.8	-	-	1.5	-	5.0	-
BK 12	863	-	3.8	14.6	3.4	-	-	2.8	-	11.3	-
BK 13	923	-	2.0	7.3	2.8	-	-	1.8	-	4.8	-
BK 14	834	-	3.8	14.5	3.3	-	-	2.8	-	12.0	-
Prom	888		2.9	10.8	3.1			2.4		7.5	
Dest	38		1.0	4.8	0.3			1.1		3.1	
SC1	460	0.8	2.5	13.6	1.2	54.1	24.9	0.9	3.1	6.8	8.3
SC2	531	0.9	2.1	9.9	1.4	27.4	28.3	1.1	2.7	6.9	9.1
SC3	479	0.9	2.6	12.1	1.3	22.9	26.0	1.0	3.1	7.1	8.5
SC4	450	0.8	2.5	11.6	1.2	19.6	24.3	0.9	2.7	7.0	8.5
SC5	481	0.9	2.8	12.4	1.3	15.8	25.3	1.0	3.0	6.9	8.3
SC6	459	0.9	2.7	11.6	1.3	13.2	25.0	0.8	1.9	7.0	8.2
SC7	405	0.7	2.6	8.4	1.1	11.2	22.2	0.8	0.4	7.5	7.6
SC8	395	0.7	2.3	8.8	1.1	14.4	22.5	0.1	1.0	7.4	8.1
SC9	422	0.7	2.1	6.9	1.2	9.0	22.5	0.8	2.4	7.2	7.8
SC10	427	0.7	2.2	7.7	1.1	11.2	23.1	0.8	2.3	6.7	7.8
SC11	506	0.8	1.9	6.2	1.2	9.4	23.2	1.0	2.2	6.2	8.4
SC12	459	0.8	2.1	7.5	1.1	8.6	22.9	0.9	2.2	6.6	7.8
Prom	456	0.8	2.4	9.7	1.2	18.1	24.2	0.8	2.2	6.9	8.2
Dest	40.0	0.1	0.3	2.5	0.1	12.8	1.8	0.2	0.8	0.3	0.4

Tabla 7. Concentraciones de elementos traza (ppm) *continuación*

Elementos traza	Rb	Sb	Sc	Sr	Ta	Th	U	V	Y	Zn	Zr
T 1	38.7	-	4.9	393	-	3.3	-	43.2	14.7	83.9	93.1
T 2	44.3	-	5.1	407	-	3.9	-	41.4	14.7	78.0	89.7
T 3	37.9	-	4.7	410	-	2.9	-	43.9	15.2	83.9	91.4
T 4	34.4	-	5.1	396	-	8.8	-	37.0	12.2	61.9	68.4
T 5	39.3	-	4.6	393	-	3.2	-	42.9	15.3	80.3	94.0
T 6	31.2	-	7.2	400	-	1.3	-	44.7	14.4	69.5	71.6
T 7	31.8	-	6.5	401	-	2.7	-	44.5	13.8	68.7	66.4
T 8	38.8	-	4.5	416	-	4.9	-	38.6	13.3	65.4	77.3
T 9	28.6	-	3.4	320	-	1.0	-	27.3	12.1	25.0	55.6
T 10	36.9	-	4.8	414	-	3.6	-	43.4	14.6	78.7	87.2
T 11	30.2	-	3.0	303	-	2.6	-	25.3	11.6	25.8	54.9
T 12	31.4	-	3.1	403	-	1.4	-	30.6	13.7	37.0	68.9
T 13	36.8	-	3.0	333	-	2.6	-	26.8	12.4	29.4	59.4
T 14	56.6	-	4.2	310	-	4.9	-	44.0	16.9	84.2	120
T 15	30.3	-	3.1	288	-	2.1	-	28.5	11.1	30.0	87.4
T 16	41.8	-	5.6	407	-	3.3	-	48.3	15.2	80.0	90.1
T 17	35.8	-	2.7	328	-	2.2	-	25.9	11.9	28.5	56.9
Prom	36.8		4.4	372		3.2		37.4	13.7	59.4	78.4
Dest	6.8		1.3	45.7		1.8		8.1	1.6	23.9	17.8
BK 1	131	1.5	1.7	535	0.4	5.1	1.7	-	-	21.2	65.0
BK 2	115	2.1	3.5	332	0.6	6.2	1.9	-	-	29.4	77.0
BK 3	133	1.6	1.8	414	0.4	5.1	1.6	-	-	19.6	61.0
BK 4	118	2.2	4.4	359	1.0	7.6	2.7	-	-	31.9	210
BK 5	133	1.4	1.4	446	0.3	4.8	1.6	-	-	18.2	66.0
BK 6	124	2.0	3.4	330	1.1	6.1	1.8	-	-	27.9	100
BK 7	127	1.5	1.4	628	0.3	4.9	1.7	-	-	17.5	59.0
BK 8	128	2.0	3.1	362	0.6	6.1	2.0	-	-	28.3	93.0
BK 9	134	1.4	1.5	409	0.4	4.9	1.6	-	-	18.3	63.0
BK10	121	2.0	3.6	331	0.7	6.3	2.0	-	-	30.1	145
BK11	133	1.4	1.3	449	0.3	4.5	1.6	-	-	15.5	40.0
BK12	113	2.0	3.4	362	0.7	6.0	1.9	-	-	29.3	102
BK13	129	1.5	1.6	361	0.4	4.7	1.6	-	-	20.0	71.0
BK14	113	2.0	3.5	317	0.6	6.0	2.0	-	-	29.4	109
Prom	125	1.8	2.5	403	0.6	5.6	1.8			24.0	90.1
Dest	7.8	0.3	1.1	88.7	0.3	0.9	0.3			5.8	43.7
SC1	52.3	-	1.0	978	-	3.5	1.5	24.5	9.7	22.8	22.1
SC2	66.4	-	2.5	793	-	3.6	1.5	16.2	8.5	18.4	27.2
SC3	57.4	-	3.3	935	-	3.9	1.6	20.6	10.0	19.0	22.1
SC4	54.4	-	3.1	969	-	4.2	1.6	26.4	9.6	18.7	21.1
SC5	55.9	-	3.7	947	-	2.8	1.5	20.4	9.7	19.4	24.2
SC6	55.8	-	3.5	924	-	2.7	1.5	19.9	9.4	18.7	2.4
SC7	48.0	-	2.9	995	-	2.8	1.6	17.7	7.9	19.9	0.6
SC8	51.8	-	1.0	922	-	3.3	1.5	15.0	7.7	18.6	1.4
SC9	54.8	-	1.0	960	-	2.4	1.4	13.4	7.7	23.0	21.0
SC10	51.1	-	1.0	981	-	2.3	1.4	15.2	7.3	19.2	20.5
SC11	55.2	-	1.7	948	-	2.3	1.3	12.6	7.0	16.7	25.6
SC12	52.7	-	2.2	974	-	2.2	1.3	14.8	7.3	16.3	20.3
Prom	54.7		2.3	944		3.0	1.5	18.1	8.5	19.2	17.4
Dest	4.5		1.1	53		0.7	0.1	4.4	1.1	2.0	9.8

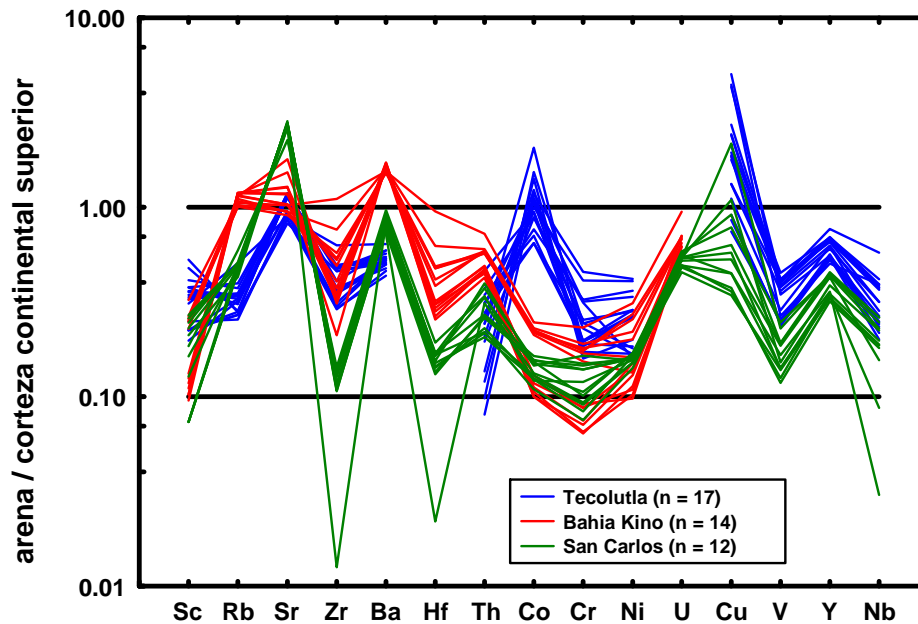


Figura 12. Diagrama normalizado de Multi-elementos para las arenas de playa de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos, y normalizados con el promedio de la corteza continental superior CCS (Taylor y McLennan, 1985). Los valores de CCS son: Sc = 13.6, Rb = 112, Sr = 350, Zr = 190, Ba = 550, Hf = 5.8, Th = 10.7, Co = 10, Cr = 35, Ni = 20, U = 2.8, Cu = 25, V = 60, Y = 22, y Nb = 25.

Elementos de alta resistencia de campo (EARC): Y, Zr, Nb, y Hf

El diagrama normalizado de la corteza continental superior (Fig. 12) muestra que los elementos EARC están empobrecidos en las muestras estudiadas. Considerando las áreas de estudio individualmente las arenas de Bahía Kino son más altas en los contenidos de Zr y Hf que en las arenas de San Carlos, lo cual probablemente indica el efecto de la clasificación o selección de los sedimentos durante su transportación. Una correlación positiva (Fig. 13) observada entre Hf y Zr ($r = 0.99$; $n = 26$) para las arenas de Bahía Kino y San Carlos indica que ambos elementos pueden derivarse de un origen similar. También se observa que arenas de grano fino para arenas de Bahía Kino son mayores las concentraciones de Zr y Hf esto puede ser debido a que sedimentos finos pueden tener

mayores concentraciones de minerales pesados (e.g., zircon). También, las diferencias observadas entre BK y SC puede indicar las diferencias en su roca fuente.

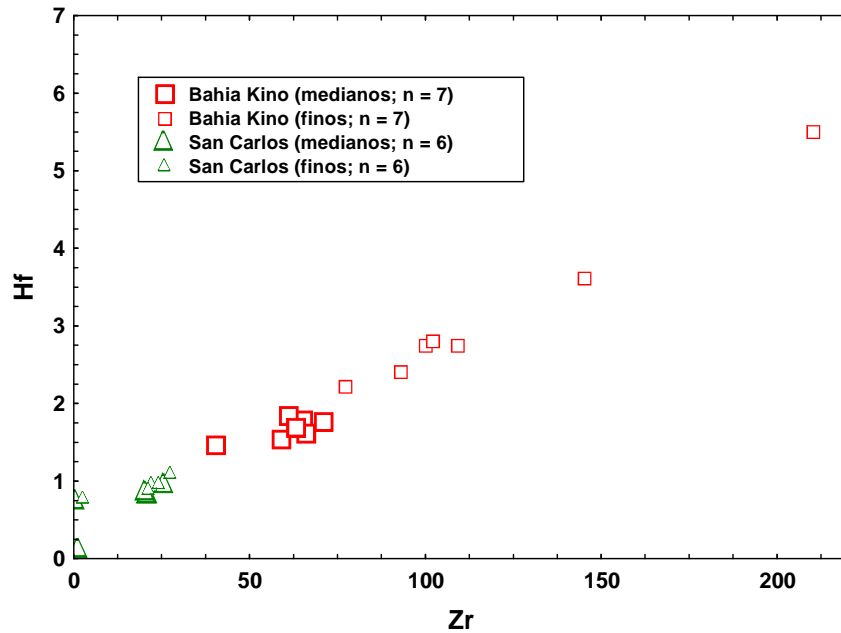


Figura 13. Diagrama bivariente, muestra la relación entre Zr y Hf.

Elementos traza de transición (ETT): V, Cr, Co, Cu, Ni, y Sc

Las concentraciones de Ni (4 - 18) son muy bajas en todas las muestras de arena. De manera similar, los contenidos de Cr son también bajos en las muestras de arena de Bahía Kino (5-19) y San Carlos (6-14). Sin embargo, las muestras de arena de Tecolutla son ligeramente altas en los contenidos de Cr (5-38) que en otras muestras de arena de playa. Excepto, en arenas de Tecolutla (Co: 11-35) todas las otras muestras tienen menos Co (2-4). Los contenidos de Sc están agotados en todas las muestras de arena (1-7). Las concentraciones de V son también altas en arenas de Tecolutla (25-48) que en arenas de San Carlos (13-26). Las variaciones en la concentración de elementos traza entre las tres arenas de playas indica probablemente las diferencias en la roca fuente.

Elementos de tierras raras (ETR)

Algunos minerales importantes que contienen tierras raras incluyen, la monacita [(Ce, La, Nd, Th) (PO₄)], [(ETR)PO₄], xenotimo [Y, ETR(PO₄)], zircon [Zr(SiO₄)], bastnaesita [(Ce, La)(CO₃)F] y apatita [Ca, ETR)₅ (PO₄)₃ (OH,F)]. Además, Kasper-Zubillaga et al. (2008b) encontró que la esfena es un potencial transportador de tierras raras.

Los elementos de tierras raras más importantes comercialmente han sido la monacita, depósitos de placer como depósitos de fluvial en Carolina de Norte y playas de placer en Brazil, India, China y Australia. Bastnaesita y monacita contienen tierras raras ligeras y representan cerca del 95% de la actual producción de elementos de tierras raras, mientras que el xenotimo y la allanita originan tierras raras pesadas e itrio. La monacita comúnmente contiene más de 10% de torio, poco itrio y pequeñas cantidades de uranio. El Zirconio (ortosilicato encontrado más en rocas ígneas y algunas metamórficas) como pequeños cristales, está ampliamente distribuido y raramente representa más de 1% del total de la masa de la roca. Este es también encontrado en granos aluviales de algunas rocas sedimentarias debido a la alta dureza del zircón.

En la naturaleza los elementos de tierras raras no están presentes como metales libres. Se encuentran en su mayoría en estructuras minerales en forma covalente o iónica bordeados por otros elementos de tierras raras y no metales. La monacita, zircón, y xenotimo son minerales accesorios muy comunes en granitos y gneises. Estos minerales son también muy estables en ambientes cerca de la superficie. Debido a su resistencia

química y a su alta densidad son frecuentemente concentrados en depósitos de placer. Los elementos de tierras raras en sedimentos terrígenos se concentran esencialmente en la fracción fina y representan un buen indicador establecido de procedencia (McLennan et al., 1990, 1993; McLennan, 2001).

Las diferencias en el contenido de elementos de tierras raras depende de la composición de la roca origen, de la adición de minerales accesorios y algunas veces de los procesos de intemperismo químico en el área fuente (Banfield y Eggleton, 1989). El posible rol tomado por la fase accesorio en la distribución de elementos de tierras raras en sedimentos fue discutido por McLennan (1989). Él sugiere que algunas fases (zircon, monacita y allanita) fueron concentradas durante la sedimentación, lo cual puede afectar los patrones de tierras raras.

Las concentraciones de elementos de tierras raras (ETR) y los patrones de condrita normalizados para las muestras de arena de Tecolutla, Bahía Kino, y San Carlos se muestran en la Tabla 8 y Figura 14 a, b, c, respectivamente. La concentración de Σ ETR varía ampliamente para las tres áreas de estudio (43-107; n = 43). Donde considerando individualmente las arenas de playa (Fig. 14 a, b, y c) los contenidos de Σ ETR son mayores en las muestras de arena de Bahía Kino (54-107; Tabla 8) que en las de Tecolutla (47-73), y San Carlos (43-72).

Tabla 8. Concentraciones de elementos de tierras raras (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos)

Elementos tierras raras	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
T 1	15.50	26.80	-	17.90	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	1.40	-
T 2	15.80	25.60	-	14.60	-	-	0.82	-	-	-	-	-	-	1.34	-
T 3	15.30	27.20	-	16.60	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	1.31	-
T 4	14.10	23.30	-	14.20	-	-	0.75	-	-	-	-	-	-	1.16	-
T 5	16.40	28.30	-	15.60	-	-	0.75	-	-	-	-	-	-	1.42	-
T 6	12.60	23.40	-	15.70	-	-	0.83	-	-	-	-	-	-	1.29	-
T 7	13.30	22.80	-	15.60	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	1.17	-
T 8	13.90	25.70	-	14.50	-	-	0.76	-	-	-	-	-	-	1.19	-
T 9	11.60	20.50	-	13.70	-	-	0.67	-	-	-	-	-	-	0.95	-
T 10	15.30	26.10	-	16.50	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	1.38	-
T 11	11.90	20.70	-	13.90	-	-	0.66	-	-	-	-	-	-	0.88	-
T 12	13.30	24.30	-	15.00	-	-	0.71	-	-	-	-	-	-	1.07	-
T 13	12.30	23.40	-	14.50	-	-	0.68	-	-	-	-	-	-	0.98	-
T 14	19.50	33.60	-	17.60	-	-	0.71	-	-	-	-	-	-	1.68	-
T 15	13.50	24.00	-	14.50	-	-	0.69	-	-	-	-	-	-	0.89	-
T 16	16.80	26.70	-	17.40	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-	1.42	-
T 17	11.90	20.70	-	14.00	-	-	0.62	-	-	-	-	-	-	0.93	-
Prom	14.29	24.89	-	15.40	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-	1.20	-
Dest	2.12	3.25	-	1.36	-	-	0.06	-	-	-	-	-	-	0.23	-
BK 1	15.30	30.30	-	11.40	-	2.14	0.59	2.00	0.30	-	0.36	-	0.13	0.92	0.16
BK 2	18.80	36.10	-	12.90	-	2.87	0.75	3.00	0.41	-	0.44	-	0.17	1.19	0.21
BK 3	15.10	28.80	-	10.70	-	2.16	0.60	2.00	0.30	-	0.34	-	0.13	0.95	0.17
BK 4	25.30	49.00	-	20.10	-	3.96	0.92	3.80	0.56	-	0.71	-	0.28	1.92	0.27
BK 5	13.90	26.60	-	9.90	-	1.91	0.54	1.80	0.27	-	0.31	-	0.12	0.88	0.15
BK 6	19.60	37.50	-	14.90	-	2.93	0.76	1.60	0.42	-	0.55	-	0.20	1.34	0.23
BK 7	14.80	29.90	-	10.10	-	2.12	0.54	1.60	0.29	-	0.38	-	0.15	0.90	0.25
BK 8	18.40	35.10	-	14.10	-	2.78	0.74	2.40	0.38	-	0.46	-	0.17	1.17	0.21
BK 9	14.20	27.30	-	10.40	-	1.97	0.55	1.60	0.27	-	0.38	-	0.14	0.86	0.16
BK10	20.00	38.70	-	15.20	-	3.05	0.79	2.20	0.42	-	0.51	-	0.19	1.40	0.23
BK11	13.50	25.80	-	10.20	-	1.90	0.52	1.90	0.26	-	0.34	-	0.13	0.82	0.16
BK12	19.00	36.20	-	13.00	-	2.84	0.74	2.80	0.39	-	0.54	-	0.20	1.28	0.22
BK13	13.60	25.20	-	8.90	-	1.97	0.54	1.90	0.27	-	0.34	-	0.12	0.85	0.16
BK14	19.60	36.70	-	13.40	-	3.07	0.76	2.70	0.42	-	0.54	-	0.20	1.33	0.23
Prom	17.22	33.09	-	12.51	-	2.55	0.67	2.24	0.35	-	0.44	-	0.17	1.13	0.20
Dest	3.43	6.61	-	2.96	-	0.61	0.13	0.64	0.09	-	0.11	-	0.04	0.31	0.04
SC1	9.73	18.40	2.16	11.19	-	1.80	0.61	1.93	0.23	1.35	0.26	0.79	0.10	0.79	0.11
SC2	9.98	18.19	2.08	10.87	-	1.72	0.61	1.85	0.22	1.30	0.26	0.79	0.11	0.76	0.11
SC3	8.62	16.04	1.89	9.71	-	1.62	0.58	1.72	0.21	1.27	0.25	0.76	0.10	0.75	0.11
SC4	9.21	17.03	1.98	10.30	-	1.66	0.62	1.76	0.21	1.25	0.25	0.76	0.99	0.73	0.11
SC5	8.67	15.73	1.82	9.48	-	1.54	0.58	1.64	0.20	1.18	0.23	0.71	0.94	0.70	0.10
SC6	8.92	16.20	1.97	9.79	-	1.65	0.68	1.72	0.26	1.23	0.28	0.76	0.13	0.74	0.14
SC7	14.80	28.09	3.10	16.24	-	2.31	0.74	2.48	0.30	1.69	0.33	0.99	0.13	0.96	0.14
SC8	10.53	19.27	2.26	11.68	-	1.90	0.71	2.02	0.25	1.48	0.29	0.88	0.12	0.86	0.13
SC9	13.66	25.95	2.94	15.43	-	2.34	0.77	2.50	0.31	1.77	0.35	1.06	0.14	0.98	0.14
SC10	14.75	27.34	3.03	15.89	-	2.25	0.73	2.44	0.29	1.68	0.34	1.01	0.13	0.91	0.14
SC11	11.36	21.91	2.60	13.44	-	2.20	0.74	2.38	0.30	1.71	0.34	1.02	0.14	0.94	0.14
SC12	11.89	22.59	2.62	13.64	-	2.17	0.74	2.30	0.28	1.66	0.33	0.99	0.13	0.91	0.13
Prom	11.01	20.56	2.37	12.31	-	1.93	0.68	2.06	0.25	1.46	0.29	0.88	0.26	0.83	0.12
Dest	2.30	4.52	0.47	2.52	-	0.30	0.07	0.33	0.04	0.22	0.04	0.13	0.33	0.10	0.02

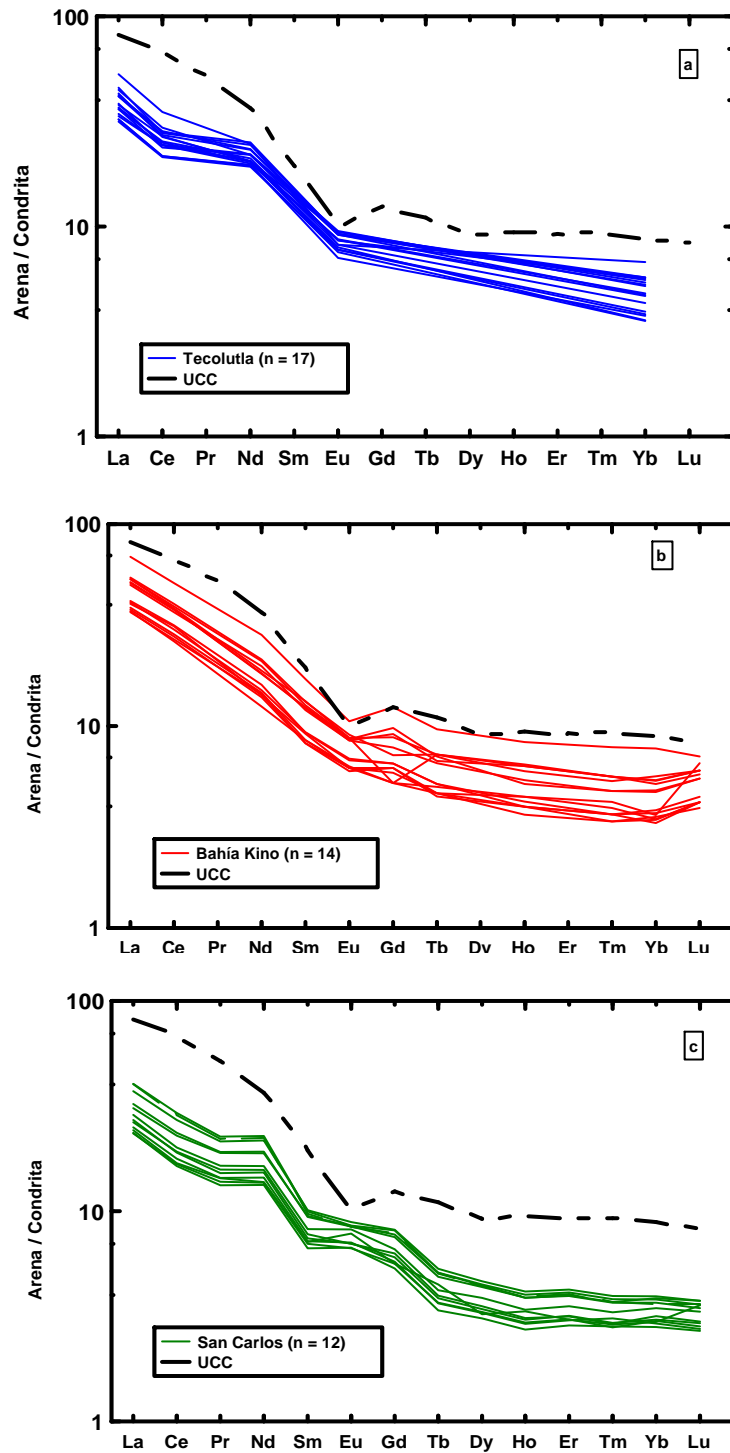


Figura 14. Diagrama de elementos de tierras raras normalizado con los valores de condrita y comparado con el promedio de la corteza continental superior (CCS; Taylor y McLennan, 1985) a) Tecolutla b) Bahía Kino y c) San Carlos.

Todas las muestras de arena muestran patrones similares de elementos de tierras raras (Fig. 14a, b, c), con un enriquecimiento de elementos de tierras raras ligeras, empobrecimiento de elementos de tierras raras pesadas y una anomalía negativa Eu. Considerando las áreas de estudio individualmente, las variaciones en la anomalía Eu son más altas en arenas de San Carlos (Eu/Eu^* de 0.94 a 1.23) que en arenas de Bahía Kino (Eu/Eu^* de 0.71 a 0.97). Además hay pequeñas anomalías positivas Eu que se identifican en algunas arenas de San Carlos ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.011$) posiblemente por una influencia de plagioclasas. El enriquecimiento de ΣETR en arenas de Bahía Kino (de 54 a 107) puede ser debido a la adición de minerales pesados durante su transportación y depositación.

Los valores positivos de los coeficientes de correlación observados entre Al_2O_3 vs ΣETR para las arenas de Tecolutla ($r = 0.78$; $n = 17$), Bahía Kino ($r = 0.79$; $n = 14$) y San Carlos ($r = 0.67$; $n = 16$; Fig. 15) sugieren que la distribución ETR está parcialmente controlada por el tamaño de grano, ya que se ha observado que arenas de grano finos contienen más Al_2O_3 (Fig. 16). Esta observación es confirmada por el enriquecimiento de ΣETR en arenas finas de Bahía Kino (76-107) y San Carlos (52-72) (Tabla 8).

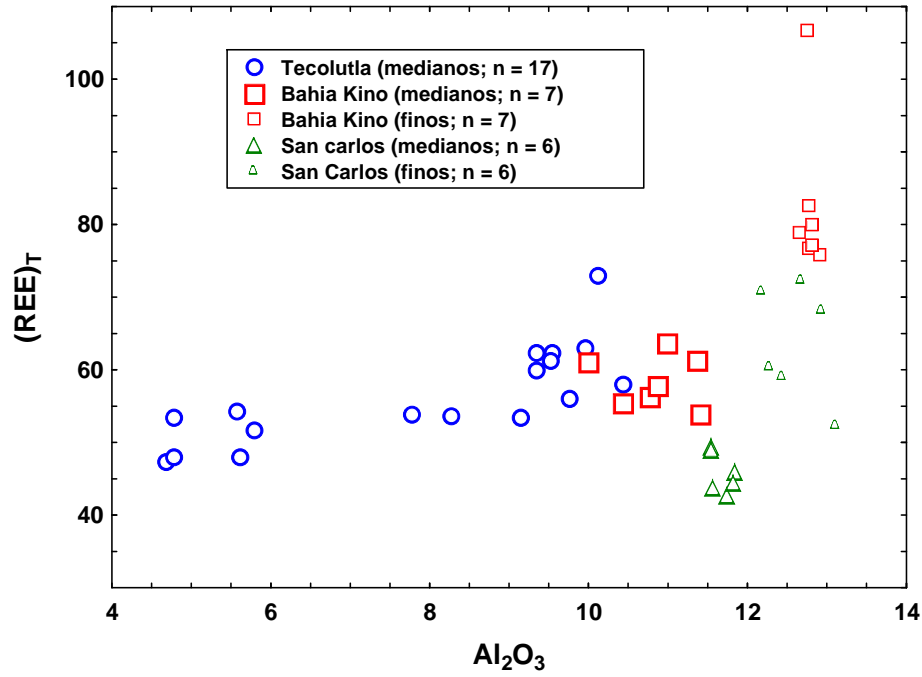


Figura 15. Diagrama ΣETR contra Al_2O_3 indicando las diferencias en la composición de los elementos de tierras raras entre las tres áreas de estudio.

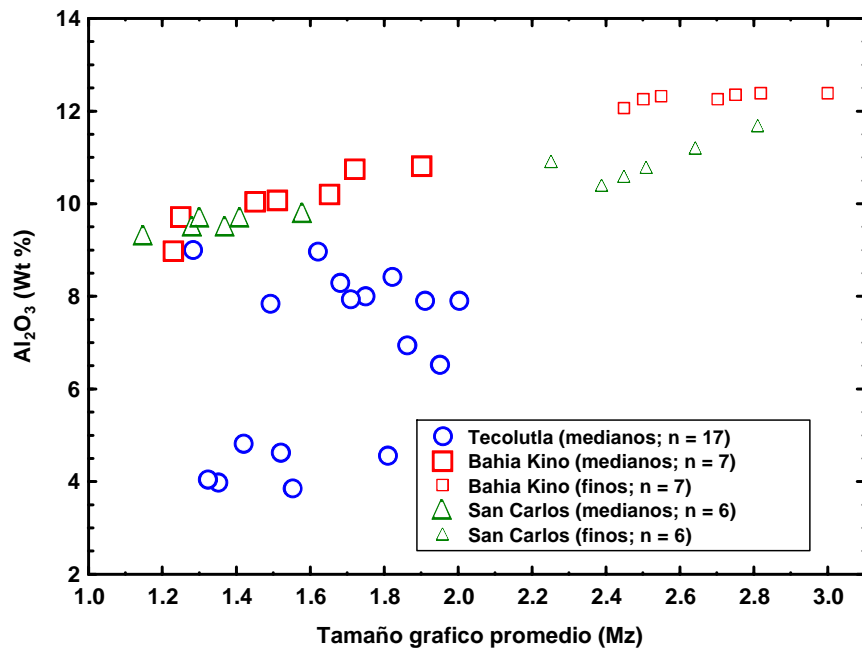


Figura 16. Al_2O_3 contra tamaño grafico promedio

Una buena correlación positiva entre TiO_2 y ΣETR en las arenas de Bahía Kino ($r = 0.97$; Fig. 17) y San Carlos ($r = 0.91$) sugiere que minerales ricos en Ti y Nb pueden controlar parcialmente la distribución de ciertos elementos de tierras raras.

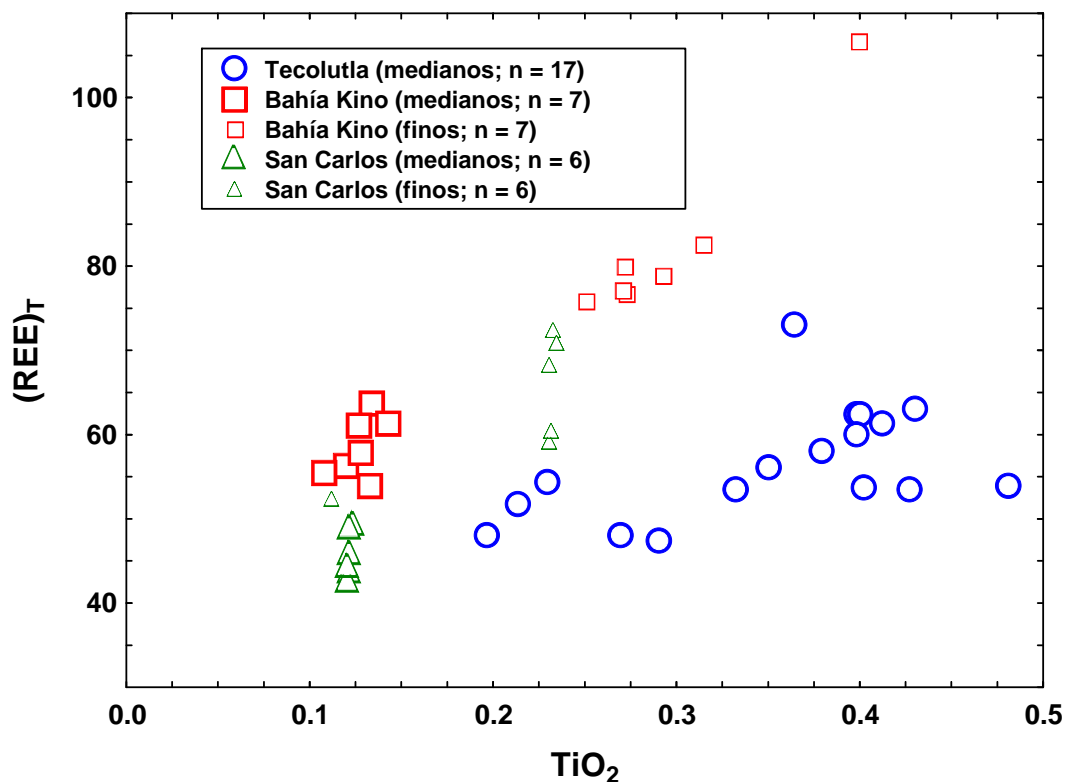


Figura 17. Diagrama bivalente TiO_2 - ΣETR para arenas de playa de estudio

Condiciones de intemperismo

El grado de alteración de los feldespatos a arcillas indica el grado de intemperismo de la roca fuente y de ese modo la diagénesis experimentada por los sedimentos durante su depositación (Nesbitt et al., 2006; Selvaraj y Chen, 2006). Varios índices de intemperismo han sido desarrollados y son ampliamente utilizados (e.g., Price y Velbel, 2003; Armstrong-Altrin et al., 2004; Borges y Huh, 2007; Varga et al., 2007; Nagarajan et al., 2007a, 2007b; Pe-Piper *et al.*, 2008; Viers *et al.*, 2008; Lee, 2009; Etemad-Saeed et al., 2011) para identificar la intensidad del intemperismo químico en el área fuente.

Algunos ejemplos de estos índices son: el índice de intemperismo de Parker (WIP; Parker, 1970), índice de intemperismo químico (CIW; Harnois, 1988), índice de alteración química (CIA por sus siglas en inglés; Nesbitt y Young, 1982) y el índice de alteración de plagioclasas (PIA; Fedo et al., 1995). Entre estos, el índice de intemperismo químico ($CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO^*)] \times 100$) (Harnois, 1988) y el índice de alteración química ($CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO^* + K_2O)] \times 100$) (Nesbitt y Young, 1982) son los índices comúnmente usados.

Las arenas de playas en este estudio varían ampliamente en el contenido de CaO (Tabla 6), lo cual puede afectar nuestras conclusiones si el CIW y CIA son usados para inferir la intensidad del intemperismo. Así recomendaciones por Cullers (2000) (también Buggle et al., 2011), sugieren que en este estudio los contenidos de CaO deben dejarse fuera del índice de intemperismo químico (CIW) y solo considerar $CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)] \times 100$.

Los valores promedios de CIW mostraron ser ligeramente bajos en Bahía Kino (78.32 ± 0.79 , $n = 14$) que en San Carlos (79.42 ± 1.17 , $n = 12$) y en arenas de Tecolutla (81.43 ± 0.56 , $n = 17$). Sin embargo, las diferencias en los valores de CIW para las tres áreas de estudio no son estadísticamente significativas. Esos valores indican una intensidad alta de intemperismo en el área fuente y dentro del ambiente de playa.

Diagramas de función discriminante para identificación de procedencia

Roser y Korsch (1988) propusieron diagramas de funciones discriminantes para identificar la procedencia de sedimentos. El diagrama de función discriminante en elementos mayores es útil para separar la procedencia en cuatro grupos principales: ígneas máficas; ígneas intermedias; ígneas félsicas; y sedimentarias cuarzosas (Roser y Korsch, 1988). En este diagrama de discriminación (Fig. 18) se aprecia la procedencia de rocas ígneas félsicas en arenas de Bahía Kino. Todas las muestras de arena de las playas de Tecolutla y San Carlos son graficadas dentro del campo de procedencia ígneo intermedio.

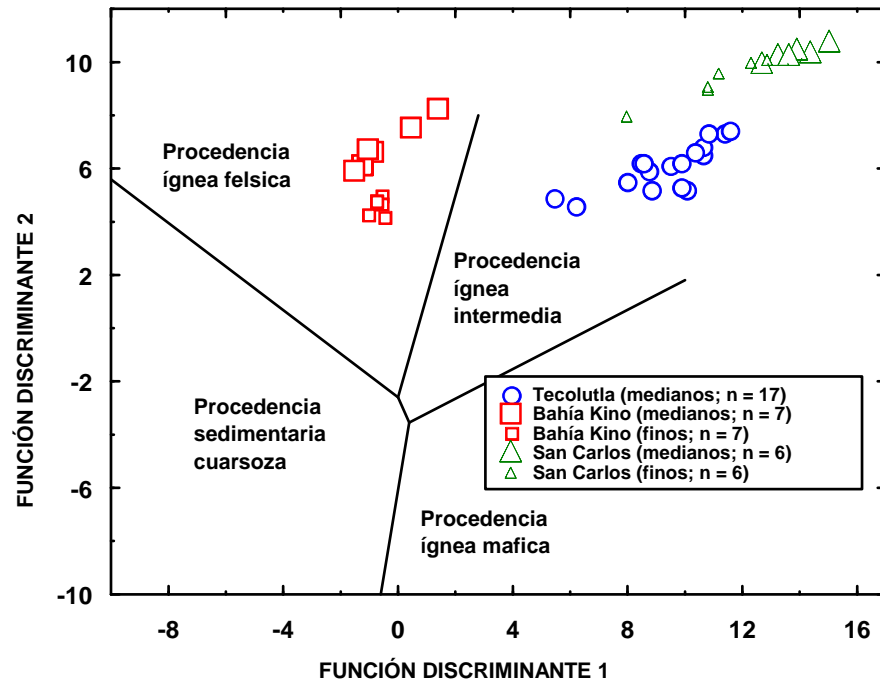


Figura 18. Diagrama de función discriminante para procedencia de sedimentos usando elementos mayores (Roser y Korsch, 1988). Las funciones discriminantes son: Función Discriminante 1= $(-1.773 \cdot \text{TiO}_2) + (0.607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.500 \cdot \text{MgO}) + (0.616 \cdot \text{CaO}) + (0.509 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.224 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$; Función Discriminante 2 = $(0.445 \cdot \text{TiO}_2) + (0.070 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (-0.250 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.142 \cdot \text{MgO}) + (0.438 \cdot \text{CaO}) + (1.475 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.426 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$.

Procedencia de arenas de playa

Comúnmente se cree que el factor que determina la composición de los sedimentos es la roca fuente (Taylor y McLennan, 1985). Sin embargo, procesos secundarios (intemperismo, transporte, diagénesis, etc.) pueden tener un efecto en la composición química (Cullers et al., 1987; Wronkiewicz y Condie, 1987), por lo tanto es mejor utilizar elementos que tengan poca movilidad bajo ciertas condiciones geológicas Taylor y

McLennan (1985) señalaron que este tipo de elementos muestran muy bajos coeficientes de partición en aguas naturales y los tiempos de residencia en el océano y corteza superior son cortos.

Los elementos de tierras raras, el Th y el Sc son muy útiles para inferir la composición de la corteza, debido a que su composición no está afectada significativamente por procesos secundarios como diagénesis y metamorfismo, y son menos afectados por el fraccionamiento de minerales pesados que por otros elementos como Zr, Hf y Sn (Bhatia y Crook, 1986; McLennan, 2001).

La abundancia de elementos de tierras raras y Th son mayores en rocas félsicas que en máficas y en sus productos de intemperismo. Mientras que Co, Sc, V, Ni, y Cr están más concentrados en rocas máficas que félsicas y en sus productos de intemperismo. Además estos elementos son relativamente inmóviles durante intemperismo. Se cree que estos elementos son transportados exclusivamente en el componente terrígeno de los sedimentos y por tanto refleja la química de su roca fuente (Veizer, 1978; McLennan et al., 1980; Kasper-Zubillaga et al, 2008b).

Diversos estudios han utilizado niveles de Cr y Ni para inferir la procedencia ultramáfica de los sedimentos. Además el enriquecimiento inusual de Ni sin acompañamiento de otros elementos traza ferromagnesianos (e.g. Cr) es también observado por Armstrong-Altrin et al. (2004). Garver et al. (1996) sugirieron que las concentraciones elevadas de Cr (> 150 ppm) y Ni (> 100 ppm), coeficiente de correlación elevado entre Cr y Ni, y una proporción Cr/Ni de ~1.4 son indicadores de una fuente ultramáfica.

En nuestro estudio, los contenidos de Cr son comparativamente más bajos en arenas de Bahía Kino (11 ± 5) y San Carlos (10 ± 2) que en arenas de Tecolutla (21 ± 7). De manera similar, las arenas de Tecolutla son más ricas en Ni (12 ± 4) y en la proporción Cr/Ni (2 ± 0.61) que en las otras dos playas (Tabla 7). Por lo tanto Cr, Ni, y la proporción Cr/Ni indican característica máficas más marcadas en arenas de Tecolutla. Además, la correlación positiva de Cr con Ni ($r = 0.71$, $n = 17$) en arenas de Tecolutla, implica que estos elementos pudieron ser aportados desde rocas similares.

Del mismo modo, las concentraciones de V y Sc (Tabla 7) pueden también ser usadas para interpretar la roca fuente. De acuerdo con McLennan (1991) la concentración de V en sedimentos es de aproximadamente 20 ppm. En este estudio la concentración de V (37 ± 8) y Sc (4 ± 1) son mayores en las arenas de Tecolutla que en las otras áreas (Tabla 7). Por lo tanto los valores de Sc y V en Tecolutla sustentan las características máficas de la roca fuente. Las bajas concentraciones de Sc y V en arenas de Bahía Kino indican la menor influencia de rocas de origen máfico.

Los diagramas bivariantes y triangulares (Th/Sc vs Sc y La-Th-Sc) otorgan información útil acerca de las características de la roca origen (McLennan y Taylor, 1991; Cullers, 2002). La relación Th/Sc vs. Sc y las concentraciones de Sc, La, y Th (La-Th-Sc diagrama triangular) son mostradas en las Figuras 19 y 20 respectivamente para conocer el probable origen de la roca fuente.

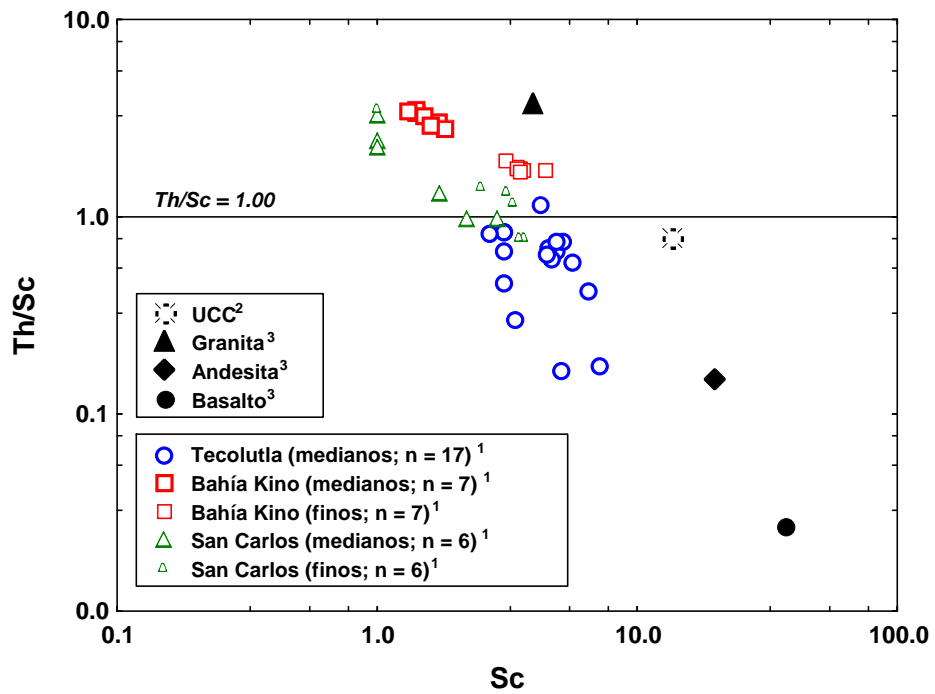


Figura 19. Diagrama bivalente Th/Sc vs. Sc para muestras de arena. ¹ este estudio, ² corteza continental superior (CCS; McLennan, 2001), y ³ granito, andesita y basalto (Condie, 1993)

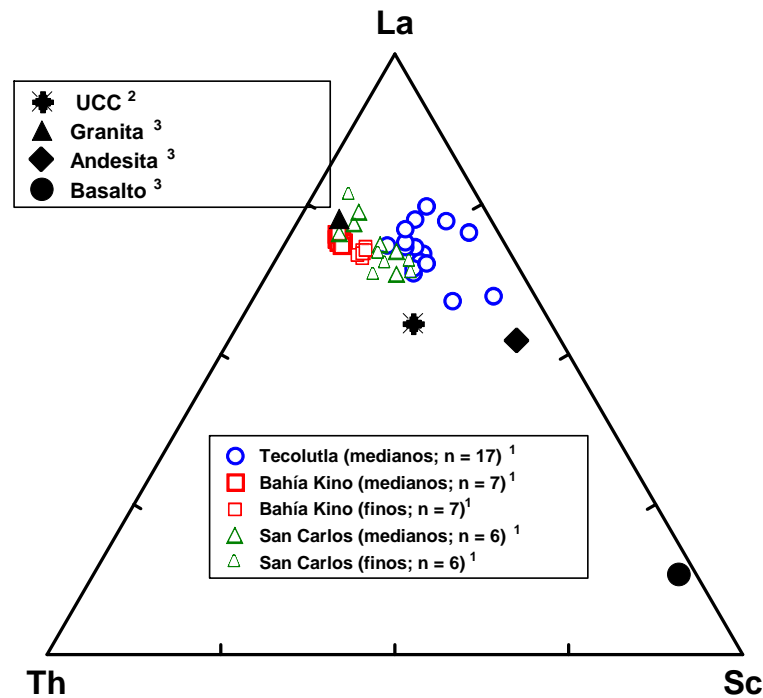


Figura 20. Diagrama triangular La–Th–Sc para las muestras de arena. ¹ este estudio, ² corteza continental superior (CCS; McLennan, 2001), y ³ Condie (1993).

En los diagramas se observa que todas las muestras de arena de Bahía Kino cayeron entre los valores promedio de CCS y granito. Algunas muestras de arena de San Carlos cayeron relativamente dentro del valor promedio de andesita y granitos. Mientras que arenas de Tecolutla cayeron entre los valores promedios de andesitas. Las diferencias en estos dos diagramas revelan que las arenas en Bahía Kino tienen una composición más félsica mientras que las arenas de Tecolutla y San Carlos sugieren una composición intermedia.

Los patrones relativos de ETR y tamaño de anomalía Eu (positivo o negativo) también han sido usados para inferir la fuente de rocas sedimentarias (Cullers y Graf, 1984; Taylor y McLennan, 1985; Wronkiewicz y Condie, 1989; Cullers 1994a, 2000). En este estudio, el cociente ETRL/ETRP es más alto en las arenas de Tecolutla (46 ± 5) que en Bahía Kino (15 ± 1) y San Carlos (7.94 ± 0.63). De manera similar, las arenas de San Carlos presentan anomalías positivas de europio ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.04$) en algunas muestras. Las arenas de Bahía Kino muestran anomalías negativas de europio ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.846$; Fig. 14 a, b, c). Estas variaciones probablemente indican las diferencias en rocas fuente entre las tres áreas de estudio.

Probable roca madre

Con la finalidad de identificar la procedencia de arenas de las playas en estudio, fueron localizadas bases de datos de ETR en rocas relativamente cerca del área de estudio, las cuales fueron comparadas con los datos obtenidos en el presente estudio (ver Fig. 21 para localización y Fig. 22 para tipos de rocas).

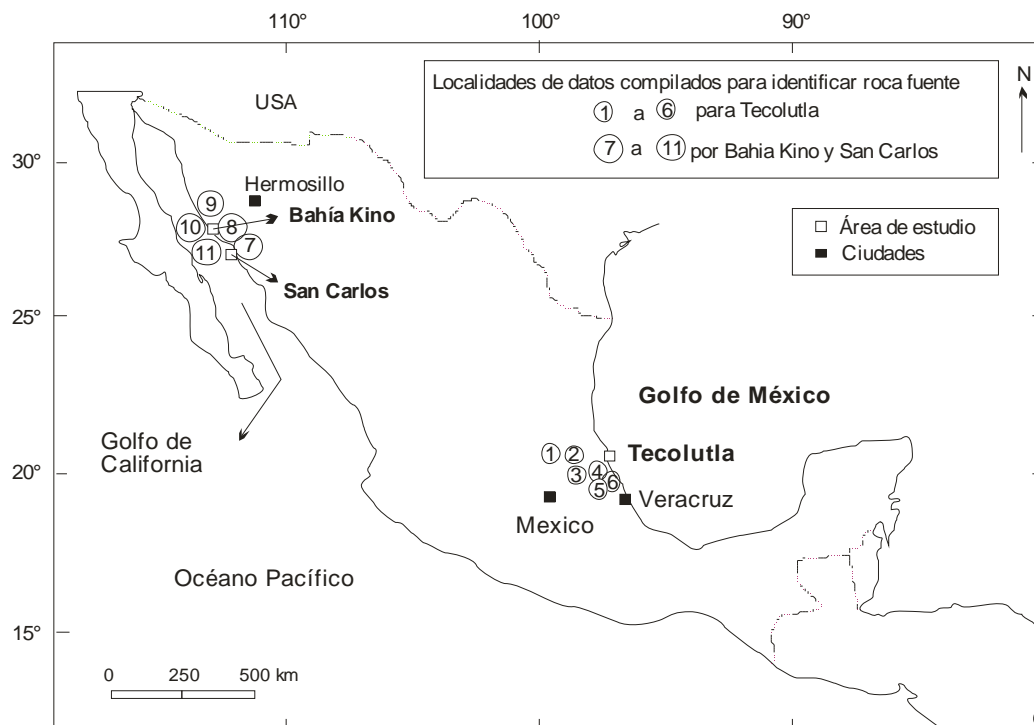


Figura 21. Áreas de estudio y localidades donde se compilo la base de datos geoquímica para comparar e identificar el probable tipo de roca. Los tipos de roca compilados para identificar la procedencia de arenas de Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos son mostradas en la Figura 22 a y b. La fuente de datos para la procedencia de Tecolutla son: 1. Verma (2001a), 2. Rosales-Lagarde *et al.* (2005), 3. Verma (2001b), 4. Verma (2000), 5. Carrasco-Núñez *et al.* (2005), 6. Gómez-Tuena *et al.* (2003); Bahía Kino y San Carlos: 7. Valencia-Moreno *et al.* (2003), 8. Valencia-Moreno *et al.* (2001), 9. Vidal-Solano *et al.* (2007), 10. Desonie (1992), 11. Saunders *et al.* (1982) y Saunders (1983).

Los datos geoquímicos de rocas fuente fueron compilados de forma separada, debido a que se supone reciben sedimentos de diferente origen. Los patrones de ETR normalizados con condrita para arenas de Tecolutla, San Carlos, y Bahía Kino junto con la roca fuente son mostrados en Figura 22 a, y b.

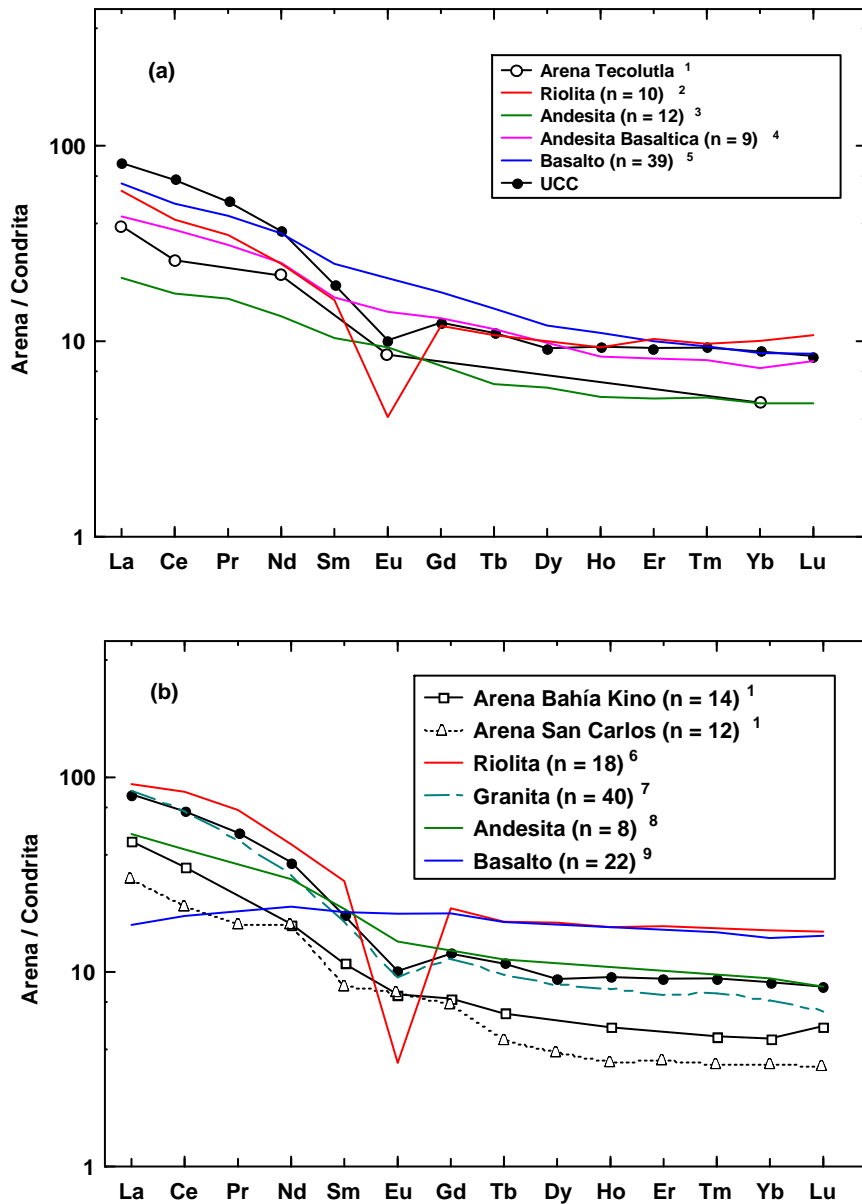


Figura 22. Patrones de tierras raras normalizados con condrita (a) para arenas de Tecolutla; (b) Bahía Kino y San Carlos. N = número de muestras; CCS (Promedio de la corteza continental; Taylor y McLennan, 1985). (a) ¹ Este estudio; ² Verma (2000, 2001a, 2001b); ³ Rosales-Lagarde *et al.* (2005); ⁴ Verma (2001a, 2001b); ⁵ Verma (2000, 2001a, 2001b), Gómez-Tuena *et al.* (2003), Carrasco-Núñez *et al.* (2005). (b) ⁶ Desonie (1992), Vidal-Solano *et al.* (2007); ⁷ Valencia-Moreno *et al.* (2001, 2003); ⁸ Desonie (1992); ⁹ Saunders *et al.* (1982), Saunders (1983).

En la Figura 21a, los patrones de ETR y la anomalía Eu indican que las arenas de Tecolutla fueron probablemente derivadas por una mezcla de rocas intermedias (andesita y andesita basálticas). Las arenas de Bahía Kino (Fig. 21b) son comparables con el promedio de riolitas (Centro de Sonora y la Isla San Esteban; # 9 en Figura 21b) granitos Laramide y granitos costa de Sonora (#'s 7 y 8 en Fig. 21b), con una clara anomalía negativa de Eu. Sin embargo, considerando el contenido de Σ ETR y el tamaño de la anomalía de Eu, estas arenas son muy similares a los granitos Laramide y de la costa de Sonora. Esto implica que las arenas de playa de Bahía Kino reciben una mayor contribución de rocas félsicas. De manera similar en arenas de San Carlos, los patrones de ETR y la ausencia de la anomalía negativa Eu (Fig. 21 b) sugiere que la andesita es la probable roca fuente. Por lo tanto este estudio de comparación revela que la geoquímica de arenas de playa principalmente depende del tipo de roca fuente, de la cual estas originalmente fueron derivadas.

CONCLUSIONES

1) El análisis granulométrico de las arenas de Tecolutla indica la presencia de arenas medias bien clasificadas. En Bahía Kino se presentaron arenas finas y medias bien clasificadas y en San Carlos arenas finas a medias bien clasificadas a muy bien clasificadas.

2) El análisis petrográfico mostró que el cuarzo es más abundante en las arenas de Bahía Kino (61-69 %) y San Carlos (55-64 %) que en las arenas de Tecolutla (43-48 %). En las arenas de Bahía Kino los fragmentos líticos volcánicos son dominantes (13-20%), mientras que las arenas de Tecolutla tuvieron mayor cantidad de fragmentos líticos sedimentarios (5-11%), derivados probablemente de las areniscas. Además, se observó que los minerales pesados son más abundantes en arenas de Bahía Kino y San Carlos.

3) El análisis geoquímico de elementos mayores indicó que los contenidos de SiO_2 en arenas de la playa Tecolutla fueron intermedios y altos, variando de 58 a 69 %. Los contenidos de SiO_2 para las arenas de Bahía Kino fueron altos variando de 68 a 74 %, indicando una composición félsica. Las variaciones en los contenidos de SiO_2 para las arenas de la playa San Carlos mostraron valores bajos (55-63), indicando una composición intermedia.

4) La variación en la proporción $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ fue menor en arenas de Tecolutla (11-29) que en arenas de Bahía Kino (32-97), y San Carlos (52-117). Las amplias diferencias

observadas en la proporción $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ entre las arenas de Bahía Kino y San Carlos puede ser debida a las variaciones en el tamaño de grano.

5) Los contenidos en Al_2O_3 fueron menores en arenas de Tecolutla (5-10 %) que en arenas de Bahía Kino (10-13 %) y San Carlos (12 - 13 %) observándose que los contenidos de Al_2O_3 incrementan de granos de arena medianos a muy finos.

6) El valor del coeficiente de correlación obtenido para TiO_2 contra Al_2O_3 es mayor en las arenas de Bahía Kino ($r = 0.89$, $n = 14$) que en las de Tecolutla ($r = 0.59$, $n = 17$) y San Carlos ($r = 0.54$, $n = 12$). Esto indica la abundancia de minerales pesados en arenas de Bahía Kino.

7) Geoquímicamente las arenas de San Carlos son clasificadas como tipo grauvaca y las arenas de Bahía Kino fueron clasificadas como tipo litarenita. Las arenas de Tecolutla fueron clasificadas en su mayor parte como tipo litarenita.

8) En comparación con los valores de la corteza continental superior la concentración de las muestras estudiadas son generalmente bajas en Rb, Ba, Th, y U.

9) Las arenas de Bahía Kino tienen mayores contenidos de Zr y Hf que las arenas de San Carlos, lo cual probablemente indica el efecto de la clasificación o selección de los sedimentos durante su transportación. Las muestras de las arenas de la playa Tecolutla son ligeramente más altas en el contenido de Cr que en las otras muestras de arena.

10) El contenido de Σ ETR es más alto en arenas de Bahía Kino (54-107) que en muestras de arenas en Tecolutla (47-73), y San Carlos (43-72), probablemente debido al tipo de roca fuente.

11) En todas las muestras de arena se observan patrones similares de ETR con un enriquecimiento de ETRL, un empobrecimiento de ETRP y una anomalía negativa de Eu. Las variaciones en la anomalía de Eu son mayores en las arenas de San Carlos ($Eu/Eu^* \sim 0.94-1.23$) que en las arenas de Bahía Kino ($Eu/Eu^* 0.71-0.97$). El enriquecimiento de Σ ETR en arenas de Bahía Kino (54 - 107) puede ser debido a la adición de minerales accesorios o pesados durante su transportación.

12) Los valores de coeficiente de correlación positivos observados entre Al_2O_3 y Σ ETR para las arenas de Tecolutla ($r = 0.78$; $n = 17$), Bahía Kino ($r = 0.79$; $n = 14$) y San Carlos ($r = 0.67$; $n = 16$) sugieren que la distribución de ETR está parcialmente controlada por el tamaño de grano, según el desgaste sufrido durante el transporte y según las condiciones en la energía del ambiente de depósito.

13) El diagrama de función discriminante propuesto por Roser y Korsch (1988) revela que las arenas de Bahía Kino son derivadas de rocas ígneas félsicas. Las arenas de Tecolutla y San Carlos son probablemente derivadas de rocas ígneas intermedias.

14) En promedio los valores del índice de intemperismo químico (CIW) son ligeramente menores en las arenas de Bahía Kino (78.32 ± 0.79) que en las arenas de San Carlos (79.42 ± 1.17) y Tecolutla (81.43 ± 0.56). Estos valores en el CIW indican una alta intensidad de intemperismo en el área fuente y dentro del ambiente de playa.

15) Los contenidos de Sc, V, Cr, y Ni en las arenas de Tecolutla indican un carácter más máfico de estas. La naturaleza máfica de las arenas de Tecolutla es también identificado por el diagrama bivalente Th/Sc vs Sc y el diagramas triangular La-Th-Sc.

16) Las arenas de San Carlos tienen anomalías positivas de europio ($Eu/Eu^* = 1.04$) en algunas muestras. Las arenas de Bahía Kino muestran anomalías de europio negativas ($Eu/Eu^* = 0.846$). Estas variaciones probablemente indiquen las diferencias en el tipo de roca fuente entre las áreas de estudio.

17) La comparación entre los ETR de las muestras de arena en este estudio con los ETR de las rocas localizadas cerca de las áreas de estudio, indican que los patrones de ETR y la anomalía de Eu para las arenas de Tecolutla son probablemente derivadas de la mezcla de rocas de origen intermedio (andesita y andesita basáltica). Para las arenas de Bahía Kino indican que son comparables con los promedios de riolitas (Sonora Central y la Isla San Esteban) y granitos (Laramide y costa de Sonora), con una clara anomalía negativa de Eu. De forma similar, los patrones de ETR y la ausencia de una anomalía negativa de Eu en arenas de San Carlos sugieren que la probable roca fuente es andesita. Por lo tanto este estudio de comparación revela que la geoquímica de arenas de playa depende principalmente de su roca fuente, de las cuales ellas fueron originalmente derivadas.

REFERENCIAS

Armstrong-Altrin, J.S. (2009). Provenance of sands from Cazonos, Acapulco, and Bahía Kino beaches, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. v. 26(3), pp. 764-782.

Armstrong-Altrin, J.S., 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., Verma, S.P. y Ramasamy, S. (2004). Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Jour. Sediment. Res.*, v. 74, pp. 285-297

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.

Balaram, V., Anjaiah, K.V. y Reddy, M.R.P. (1995). Comparative study on the trace and rare earth element analysis of an Indian Polymetallic nodule reference sample by inductively coupled plasma emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analyst*, v. 120, pp. 1401-1406.

Banfield, J.F. y Eggleton, R.A. (1989). Apatite replacement and rare earth mobilization, fractionation, and fixation during weathering. *Clays and Clay Miner.*, v. 37, pp. 113-127.

Bhatia, M.R. y Crook, K.A.W. (1986). Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 92, pp. 181-193.

Borges, J., Huh, Y. (2007). Petrography and chemistry of the bed sediments of the Red River in China and Vietnam: provenance and chemical weathering. *Sedimentary Geology*, v. 194(3-4), pp. 155-168.

Borges, J.B., Huh, Y., Moon, S., Noh, H. (2008). Provenance and weathering control on river bed sediments of the eastern Tibetan Plateau and the Russian Far East. *Chemical Geology*, v. 254(1-2), pp. 52-72.

Buggle, B., Glaser, B., Hambach, U., Gerasimenko, N., Marković, S. (2011). An evaluation of geochemical weathering indices in loess-paleosol studies. *Quaternary International*, v. 240, pp. 12-21.

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

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

Carranza-Edwards, A., Bocanegra-García, G., Rosales-Hoz, L., Galan, L.P. (1998). Beach sands from Baja California Peninsula, Mexico. *Sediment. Geol.*, v. 119, pp. 263-274.

Carranza-Edwards, A., Centeno-García, E., Rosales-Hoz, L., Cruz, R.L-S. (2001). Provenance of beach gray sands from western México. *J. South Am. Earth Sci.* v. 14, pp. 291-305.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, J. Urrutia-Facugauchi, A. Sandoval-Fortanel, E. Morales de la Garza y R. Lozano-Santa Cruz. (2005). Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in Southern Mexico. *Continental Shelf Research*, v. 25(2005). pp. 521-537.

Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Alfredo-Morales, E., 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.

Carrasco-Núñez, G., Richter, K., Chesley, J., Siebert, L., Aranda-Gómez, J.J. (2005). Contemporaneous eruption of calc-alkaline and alkaline lavas in a continental arc (Eastern Mexican Volcanic Belt): chemically heterogeneous but isotopically homogeneous source: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 150(4), pp. 423-440.

Condie, K.C. (1993). Chemical composition and evolution of upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem. Geol.*, v. 104, pp. 1-37.

Consejo de Recursos Minerales (1992). *Monografía Geológico-Minera del Estado de Sonora, México*. pp.220.

Consejo de Recursos Minerales (1994). *Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz, México*. pp. 123.

Cox, R. y Lowe, D.R. (1996). Quantification of the effects of secondary matrix on the analysis of sandstone composition, and a petrographic-chemical technique for retrieving original framework grain modes of altered sandstones. *Jour. Sedim. Res.*, v. 66, pp. 548-558.

Critelli, S., Arribas, J., Le Pera, E., Tortosa, A., Marsaglia, K.M. and Latter, K.K. (2003). The recycled orogenic sand provenance from an uplifted thrust belt, Betic Cordillera, southern Spain. *Journal of Sedimentary Research*, v. 73. pp. 72-81.

Cullers, R.L. (1994a). The chemical signature of source rocks in size fraction of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, USA. *Chem. Geol.*, v. 113, pp. 327-343.

Cullers, R.L. (1994b). The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian – Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 58, pp. 4955-4972.

Cullers, R.L. (2000). The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian–Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, v. 51, pp. 181-203.

Cullers, R.L. (2002). Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.*, v. 191, pp. 305-327.

Cullers, R.L. y Graf, J.L. (1984). Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks–ore petrogenesis. In: P. Henderson (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 275-316.

Cullers, R.L., Barrett, T., Carlson, R. y Robinson, B. (1987). Rare earth element and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment: a case study in the Wet Mountains, Colorado, USA. *Chem. Geol.*, v. 63, pp. 275-297.

Cullers, R.L., Basu, A. y Suttner, L.J. (1988). Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA. *Chem. Geol.*, v. 70, pp. 335-348.

Desonie, D.L. (1992). Geologic and geochemical reconnaissance of Isla San Esteban: post-subduction orogenic volcanism in the Gulf of California. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 52(1-3), pp. 123-140.

Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Armstrong-Altrin, J.S. (2011). Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, v. 61, pp. 142-159.

Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M. (1995). Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, v. 23(10), pp. 921-924.

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

Folk, R.L. (1966). A review of grain-size parameters: *Sedimentology*, v. 6(2), pp.73-93.

Franzinelli, E. y Potter, P.E. (1983). Petrology, chemistry and texture of modern river sands, Amazon River System. *Journal of Geology*, v. 91, pp. 23-29.

Friedman, G. M. (1961). Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *J. Sedim. Petrol.*, v. 31, pp. 514-529.

Garcia, D., Ravenne, C., Maréchal, B., Moutte, J. (2004). Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis: *Sedimentary Geology*, v. 171(1-4), pp. 113-128.

Garver, J.I., Royce, P.R. y Smick, T.A. (1996). Chromium and nickel in shale of the Taconic Foreland: A case study for the provenance of fine-grained sediments with an ultramafic source. *Jour. Sediment. Res.*, v. 66, pp. 100-106.

Gómez-Tuena, A., LaGatta, A.B., Langmuir, C.H., Goldstein, S.L., Ortega-Gutiérrez, F., Carrasco-Núñez, G. (2003). Temporal control of subduction magmatism in the eastern Tran- Mexican Volcanic Belt: mantle sources, slab contributions, and crustal contamination. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 4 (8), paper number 2003GC000524.

Gosen, W. Von, Buggisch, W., Prozzi, C. (2009). Provenance and geotectonic setting of Late Proterozoic - Early Cambrian metasediments in the Sierras de Córdoba and Guasayán (western Argentina): a geochemical approach. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, v. 251(3), pp. 257-284.

Harnois, L. (1988) The CIW index: A new chemical index of weathering: *Sedimentary Geology*, v. 55(3-4), pp. 319-322.

Honda, M., S. Yabuky, and H. Shimuizu. (2004). Geochemical and isotopic studies of aeolian sediments in china. *Sedimentology*, v. 51, pp. 211-230.

Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI), 1988. Síntesis geográfica del estado de Veracruz.

Kasper-Zubillaga, J.J., Acevedo-Vargas, B., Morton-Bermea, O.M., Ortiz-Zamora, G., (2008a). Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, Northwestern Mexico: *Chemie der Erde*, v. 68(1), pp. 45-59.

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O. (2008b). Heavy minerals and rare earth elements in coastal and inland dune sands of El Vizcaino desert, Baja California Peninsula, Mexico: *Marine Georesources and Geotechnology*, v. 26(3), pp. 172-188.

Kasper-Zubillaga, J.J.(2009) Roundness in quartz grains from inland and coastal dune sands, Altar Desert, Sonora , Mexico: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 61, no. 1, pp. 1-12.

Kasper-Zubillaga, J.J., Dickinson, W.W. (2001). Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis. *Sedimentary Geology*, v. 143, pp. 149-167.

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

Kasper-Zubillaga, J.J. y Carranza-Edwards. (2005). Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* v.22, pp.383-390

Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Garza, E.M. (2007). Textural characterization of beach sands from the Gulf of California, Mexico; Implications for coastal processes and relief. *Ciencias Marinas*, v. 33(1), pp. 83-94.

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

Lee, Y.I. (2009). Geochemistry of shales of the Upper Cretaceous Hayang Group, SE Korea: Implications for provenance and source weathering at an active continental margin. *Sedimentary Geology*, v. 215(1-4), pp. 1-12.

Le Pera, E. and Critelli, S. (1997). Sourceland controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: Implications for actualistic petrofacies. *Sedimentary Geology*, v. 110, pp. 81-97.

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*. *Miner. Soc. Amer.*, v. 21, pp. 169-200.

McLennan, S.M. (2001). Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. *Geochem. Geophys. Geosys.* 2, paper number 2000GC000109 [8994 words, 10 figures, 5 tables]. Published April 20, 2001.

McLennan, S.M. y Taylor, S.R. (1991). Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends. *Jour. Geol.*, v. 99, pp. 1-21.

McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K. y Hanson, G.N. (1993). Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes controlling the composition of clastic sediments*. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, v. 284, pp. 21-40.

McLennan, S.M., Nance, W.B. y Taylor, S.R. (1980). Rare earth element - thorium correlations in sedimentary rocks and the composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 44, pp. 1833-1839.

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. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 54, pp. 2015-2050.

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

Nagarajan, R. Armstrong-Altrin, J.S., Nagendra, R., Madhavaraju, J. y Moutte, J. (2007a). Petrography and Geochemistry of terrigenous sedimentary rocks in the Neoproterozoic Rabanpalli Formation, Bhima Basin, Southern India: Implications for Paleoweathering condition, Provenance, and Source Rock Composition. *Jour. Geol. Soc. India*, v. 70, pp. 297-312.

Nagarajan, R., Madhavaraju, J., Nagendra, R., Armstrong-Altrin, J.S. y Moutte, J. (2007b). Geochemistry of Neoproterozoic shales of Rabanpalli formation, Bhima basin, northern Karnataka, southern India: implications for provenance and paleoredox conditions. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24 (2), pp. 150-160.

Nesbitt, H.W., Fedo, C.M., Young, G.M. (2006). Quartz and feldspar stability, steady and non-steady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds. *Journal of Geology*, v. 105(2), pp. 173-192.

Passega, R. (1964). Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Jour. Sed. Petrology*, v. 34, pp. 830-847.

Pe-Piper, G., Triantafyllidis, S., 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.

Price, J.R., Velbel, M.A. (2003). Chemical weathering indices applied to weathering Profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks: *Chemical Geology*, v. 202(3-4), pp. 397- 416.

Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R. (1972). *Sand and Sandstones*. New York, Springer Verlag, 618 p.

Raisz Erwin, (1959). *Landforms of Mexico: Physiographic provinces geography branch of the office of naval research*.

Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Boucayrand, C., Hérail, G. (2006). Controls on weathering and provenance in the Amazonian foreland basin: Insights from major and trace element geochemistry of Neogene Amazonian sediments: *Chemical Geology*, v. 226(1-2), pp. 31-65.

Roddaz, M., Viers, J., Brusset, S., Baby, P., Hérail, G. (2005). Sediment provenances and drainage evolution of the Neogene Amazonian Foreland Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 239 (1-2), pp. 57-78.

Rosales-Lagarde, L., Centeno-García, E., Dostal, J., Sour-Tovar, F., Ochoa-Camarillo, H., Quiroz-Barroso, S. (2005). The Tuzancoa Formation: Evidence of an Early Permian submarine continental Arc in East-Central Mexico. *International Geology Review*, v. 47(9), pp. 901-919.

Roser, B.P. y Korsch, R.J. (1988). Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discrimination function analysis of major-element data. *Chem. Geol.*, v. 67, pp. 119-139.

Roy, P.D. y Smykatz-Kloss, W. (2007). REE geochemistry of the recent playa sediments from the Thar Desert, India: An implication to playa sediment provenance. *Chemie Der Erde Geochemistry*, v. 67, pp. 55-68.

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*, v. 242(1-2), pp. 103-125.

Saunders, A.D. (1983). Geochemistry of basalts recovered from the Gulf of California during Leg 65 of the Deep Sea Drilling Project, in Lewis, B.T.R., Robinson, P., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 65, pp. 591-621.

Saunders, A.D., Fornari, D.J., Joron, J-L., Tarney, J., Treuil, M. (1982). Geochemistry of basic igneous rocks, Gulf of California, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Leg 64*, in Curray, J.R., Moore, D.G., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 64, pp. 595-642.

Selvaraj, K., Chen, C.-T. A. (2006). Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: Constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks. *The Journal of Geology*, v. 114(1), pp. 101-116.

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

Valencia-Moreno, M., Ruiz, J., Ochoa-Landín, L., Martínez-Serrano, R., Vargas-Navarro, P. (2003). Geochemistry of the coastal Sonora batholith, northwestern Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 40(6), pp.819-831.

Varga, A., Raucsik, B., Hartyáni, Z., Szakmány, G. (2007). Paleoweathering conditions of Upper Carboniferous siliciclastic rocks of SW Hungary. *Central European Geology*, v. 50/1, pp. 3-18.

Verma, S.P. (2001a), Geochemical evidence for a Rift-Related Origin of bimodal volcanism at Meseta Río San Juan, North-Central Mexican Volcanic Belt. *International Geology Review*, v. 43, pp. 475-493.

Verma, S.P. (2001b). Geochemical evidence for a Lithospheric source for magmas from Acoculco Caldera, Eastern Mexican Volcanic Belt: *International Geology Review*, v. 43, pp. 3151.

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

Vidal-Solano, J.R., Paz-Moreno, F.A., Demant, A., López-Martínez, M. (2007). Ignimbritas hiperalcalinas del Mioceno medio en Sonora Central: revaluación de la estratigrafía y significado del volcanismo terciario: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24(1), pp. 47-67

Viers, J., Roddaz, M., Filizola, N., Guyot, J-L., Sondag, F., Brunet, P., Zouiten, C., Boucayrand, C., Martin, F., Boaventura, G.R. (2008). Seasonal and provenance controls on Nd–Sr isotopic compositions of Amazon rivers suspended sediments and implications for Nd and Sr fluxes exported to the Atlantic Ocean: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 274(3-4), pp. 511-523.

Wronkiewicz, D.J. y Condie, K.C. (1987). Geochemistry of Archaean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa. Source-area weathering and provenance. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 51, pp. 2401-2416.

Wu, S.L., Zhao, Y.H. y Feng, X.B. (1996). Application of inductively coupled plasma mass spectrometry for total metal determination in silicon-containing solid samples using the microwave-assisted nitric acid-hydrofluoric acid-hydrogen peroxide-boric acid digestion system. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 11, pp. 287.

Yoshida, S., Muramatsu, Y. y Taga, M. Uchida. (1996). Determination of major and trace elements in Japanese rock reference samples by ICP-MS: *Internat. Jour. Environ. Anal. Chem.*, v. 63, pp. 195.