



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PERFIL GEOQUÍMICO DE LA COLECCIÓN DE ARENAS DEL
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA (ICMyL) DE
LA UNAM**

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUIMICA**

PRESENTA

IRIS ORQUIDEA SALAZAR MARTÍNEZ

CD MX

2018





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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: IRMA CRUZ GAVILAN GARCIA
VOCAL: GUSTAVO TAVIZÓN ALVARADO
SECRETARIO: JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
1er. SUPLENTE: ANA ELENA GARCÍA IÑARRITU
2° SUPLENTE: TANIA ARIADNA GARCÍA MEJÍA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: LABORATORIO DE
GEOQUÍMICA DEL INTITUTO DE CIENCAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA DE LA
UNAM

ASESOR DEL TEMA: DR. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA

SUSTENTANTE: IRIS ORQUIDEA SALAZAR MARTÍNEZ

A mi mamá, por siempre estar ahí en todo momento no importa que feliz o triste sea, por enseñarme lo que es el amor incondicional y entregarme su vida y corazón.

A mi papá, por enseñarme a que no importa de donde vengas ni que tan difícil sea el camino, siempre se puede.

A mis hermanos, por enseñarme que algunos tipos de bullying se hacen desde el fondo del corazón y hacer que la frase “moriría por ti” tenga sentido.

A mis abuelas, que se las ingeniaron desde el más allá para enseñarme el verdadero significado de ser valiente.

A mis amigos, por enseñarme que no importa que tan raro seas, siempre habrá alguien igual de raro que tu que te quiera tal como eres.

Al Doctor Kasper que además de haber compartido conmigo su tiempo y conocimiento para que pudiera realizar este trabajo, me ha enseñado lo que es tener pasión por la vida.

A la UNAM, por permitirme estudiar en sus aulas, disfrutar de la vida en sus planteles y por ser mi segundo hogar por casi 10 años.

A mis sinodales por revisar mi trabajo

Al CONACyT por apoyar económicamente este trabajo.

Y por último y con todo mi amor al pueblo de México, que con todo su esfuerzo ha financiado mi educación. Espero que este trabajo los llene de orgullo como a mi me llena de orgullo ser uno de ustedes.

CONTENIDO

Resumen.....	1
Capítulo1 Introducción.....	2
1.1 Arena: procedencia, formación composición.....	2
1.1.1 Intemperismo.....	2
1.1.2 Transporte y depositación de sedimento.....	3
1.1.3 Composición de la arena	3
1.1.3.1 Componentes litógenos.....	3
1.1.3.2 Componentes autógenos.....	4
1.1.3.3 Componentes biógenos	4
1.2 Dunas.....	4
1.2.1 Formación de dunas	5
1.2.1.1 Dunas frontales y/o transversales.....	5
1.2.1.2 Dunas parabólicas.....	6
1.2.1.3 Barjanes.....	7
1.3 Importancia de una colección de arena.....	8
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Justificación.....	10
1.6 Objetivo general.....	10
1.7 Objetivos particulares.....	11
Capítulo 2. Áreas de estudio.....	11
2.1 Sonora.....	12
2.2 Península de Baja California.....	13
2.3 Golfo de México Norte.....	14
2.4 Golfo de México Sur.....	14
2.5 Península de Yucatán.....	15

Capítulo 3. Metodología	15
3.1 Curaduría de la Arenoteca.....	15
3.2 Criterio de selección de elementos para la composición de la arena....	17
3.3 Normalización de datos geoquímicos.....	17
Capítulo 4. Resultados.....	18
Capítulo 5. Discusión.....	25
Capítulo 6. Conclusión.....	28
Referencias bibliográficas.....	30
Anexo I.....	35
Anexo II.....	44

Resumen

La arena es el resultado de la degradación de rocas a través de diversos procesos como el intemperismo mecánico y químico, el transporte y la deposición. Los principales componentes de la arena son de origen litógenos, autógenos y biogénicos. Las dunas son acumulaciones de arena que se forman por el transporte y deposición de sedimentos y se presentan en cualquier ambiente que presente vientos constantes, un clima seco y un suministro de sedimento lo suficientemente pequeño para ser transportado por el viento. Dependiendo de la forma que adopten pueden clasificarse en frontales y/o transversales, parabólicas y barjanes.

En el presente trabajo se analizaron 87 muestras provenientes de 20 localidades de 5 zonas diferentes de la República Mexicana. Se realizaron diagramas ternarios de elementos mayores para cada localidad así como de las 5 zonas con datos de publicaciones anteriores.

Se encontró que la arena de la zona I (Sonora) tiene una composición influida por la presencia de cuarzo y biógenos, la zona II (Baja California Sur) esta influida por diferentes tipos de rocas, la zona III (Golfo de México Norte) tiene aportes de rocas basáltica y andesítica, la zona IV (Golfo de México Sur) presenta aportes de rocas volcánicas básicas o calco alcalinas, por último la zona V (Yucatán) tiene únicamente aportes de origen biógeno

Capítulo 1. Introducción

1.1 Arena: procedencia, formación y composición.

La arena es el resultado de la degradación de rocas a través de diversos procesos. Existen tres etapas involucradas en la formación de la arena: a) intemperismo mecánico y químico (procesos que involucra a la erosión y alteración de los componentes de la arena), b) el transporte y c) la deposición de los sedimentos (Riley & Chester, 1989; Kasper-Zubillaga et al., 2005; Garzanti et al., 2013 b; Muhs et al. 2017)

1.1.1 Intemperismo.

Se divide en dos clases, intemperismo químico e intemperismo mecánico. En el primero las rocas son sufren un ataque químico en su estructura y durante el procedimiento se desprenden fragmentos derivados los cuales tienen una composición diferente a la del material original. El agua es el principal agente en este tipo de intemperismo ya que es un excelente solvente (Riley & Chester, 1989). El intemperismo mecánico es la fragmentación de la roca por fenómenos como la acción del viento, el oleaje, cambios de temperatura entre otros. En este proceso los productos finales tienen la misma composición química que la roca parental (Martínez, 2010).

1.1.2 Transporte y depositación de sedimentos.

Una vez que los fragmentos de roca se desprenden existen varios modos de transportación como las corrientes de cuerpos de agua, siendo los ríos los principales abastecedores de material sedimentario hacia los océanos (Potter, 1986; Le Pera and Critelli, 1997), transporte por el viento, hielo, litoral y de organismos (Komar, 1976; Muhs 2004; Kasper-Zubillaga et al., 2007a, 2007c; Carranza-Edwards et al., 2018).

1.1.3 Composición de la arena.

Goldberg (1964) clasifica a los componentes de los sedimentos predecesores de la arena en tres grupos: componentes litógenos, autógenos y biogénicos.

1.1.3.1 Componentes litógenos

Son aquellos que provienen de la erosión de la corteza terrestre como los fragmentos de roca, granos minerales como el cuarzo (SiO_2), minerales de arcilla, feldespato y otros componentes como minerales pesados cuya gravedad específica es $> 2.5 \text{ gr.cm}^3$ ej. ilmenita, magnetita, hornblenda, olivino, piroxenos, hematita, rutilo y zircón (Goldberg & Griffin, 1968; Folk 1980; Kasper-Zubillaga et al, 2008; Garzanti et al., 2013 a, b;).

1.1.3.2 Componentes autógenos.

Son los componentes que resultantes de reacciones inorgánicas en el mar de materia sólida. Chester y Huges (1967) los clasifican en material primario y secundario.

El material primario se forma del agua del mar y está compuesto por carbonatos (calcita, aragonita y dolomita), fosfatos, silicatos (recubrimientos de cuarzo), sulfatos, óxidos, hidróxidos y componentes adsorbidos.

El material secundario es el resultado de alteraciones de otros materiales preexistentes, es decir, del intemperismo químico y/o diagénesis de los minerales al momento del transporte y deposición del sedimento (Honda and Shimizu, 1998; Kasper-Zubillaga et al. 2017)

1.1.3.2 Componentes biógenos.

Son aquellos que provienen de la biosfera e incorpora material orgánico e inorgánico al sedimento (Goldberg, 1954) como carbonatos, siendo los moluscos, corales foraminíferos, coccolitofóridos y petrópodos los organismos calcáreos que más carbonato secretan, y otros secretan silicio en forma de ópalo como las diatomeas y esponjas (Kasper-Zubillaga et al, 2014).

1.2 Dunas.

Las dunas son acumulaciones de arena que se forman por el transporte y deposición de sedimentos por fenómenos eólicos y se presentan en cualquier ambiente que presente vientos constantes, un clima seco y un suministro de

sedimento lo suficientemente pequeño para ser transportado por el viento (Alpha et al., 1998).

Las dunas se clasifican en dos tipos costeras y continentales. Las dunas costeras se desarrollan a lo largo de cualquier costa. Las dunas continentales son aquellas que asociadas generalmente a los ambientes desérticos cálidos y templados (Lancaster, 1995; Honda and Shimizu et al, 1998; Muhs et al., 2003; Kasper-Zubillaga et al., 2005 a)

1.2.1 Formación de dunas

La formación de una duna depende de cuatro factores básicos: i) el aporte de sedimentos, ii) tamaño de los sedimentos (los granos deben tener entre 0.062 y 2 mm) , iii) velocidad del viento (para que una duna se pueda formar el viento debe tener una velocidad mínima de $4.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), iv) la forma de la duna dependerá de su ubicación con respecto al viento y de cómo impacte sobre ella y emigran hacia la dirección de los vientos dominantes y por último la presencia de obstáculos geomorfológicos y antropogénicos. Los obstáculos más efectivos para generar una duna son las plantas (pastos típicos de dunas costeras), ya que son capaces de crecer conforme la arena se va acumulando (Moreno-Casasola, 1986; Martínez, 2010). Las dunas costeras y continentales en general se clasifican en frontales y/o transversales, longitudinales, parabólicas, barjanes, embrión y estrella (ver Apéndice I)

1.2.1.1 Dunas frontales y/o transversales

Son aquellas que se encuentran más cercanas al mar y/o cuya posición refleja la dirección y energía del viento. Por lo general se distribuyen paralelas a la costa si

son costeras con la dirección del viento perpendicular a ellas. Se forman cuando la arena queda atrapada o desprovista de vegetación que crece en la playa u otros obstáculos que se encuentran como troncos (Fig. 1) (Livingstone, 1987).



Figura. 1. Dunas transversales. Chachalacas, Costa de Veracruz, México

1.2.1.2 Dunas parabólicas.

Este tipo de dunas tienen forma de “U” invertida y asemeja una parábola, se caracterizan por tener dos brazos llamados barlovento y sotavento y una cresta. La cresta está orientada hacia la dirección donde viajan los vientos dominantes y el viento tiene una gran velocidad produciendo que los brazos se extiendan en dirección perpendicular al viento (Fig. 2) (Lancaster, 1995).



Figura. 2 Dunas parabólicas. Viento en dirección al barlovento (zona de impacto inicial del viento). Villa Rica, Veracruz, México

1.2.1.3 Barján

Similares a las parabólicas pero el viento tiene menor velocidad y por lo tanto influye solo sobre la pendiente más suave sin afectar la morfología del barlovento (Lancaster, 1995) (Fig. 3)



Figura. 3 Flecha señalando duna distal barjan en El Farallón ,Veracruz México.

Dependiendo del transporte, energía del viento, geomorfología del relieve, suministro de arena y movilidad las dunas pueden desplazarse en un día, meses y años siempre que no existan obstáculos como estructuras artificiales, urbanismo, vegetación y otros factores (Moreno-Casasola and Espejer, 1986; Lancaster 1995; Kasper-Zubillaga et al, 2007a; Garzanti et al., 2013a; Muhs, 2004, 2017).

La geomorfología general de una duna se conforma con el barlovento expuesto a la acción del viento, cima: parte más alta de la duna y sotavento pendiente contraria al barlovento (Martínez, 2010) (Figura. 4).

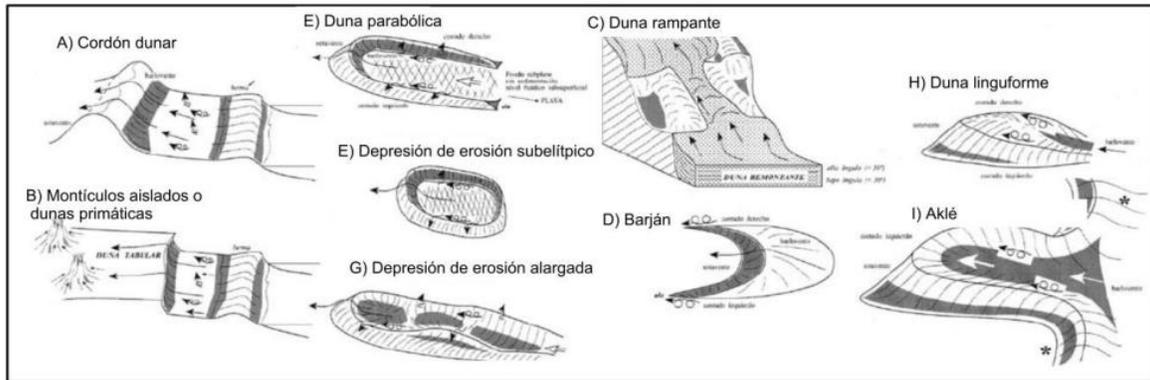


Figura 4. Morfología de dunas modificado de (Flor, 2004)

1.3 Importancia de una colección de arena.

Una colección científica es un conjunto de objetos físicos, denominados ejemplares, que son de importancia para el quehacer científico. Tienen como fin preservar y concentrar muestras en un espacio determinado para su uso en la investigación, difusión y docencia y son alojadas en museos o sitios especializados dedicados al resguardo del material.

Las colecciones científicas permiten generar, validar o perfeccionar el conocimiento científico y se clasifican de acuerdo a la ciencia con las que se relacionan y a la naturaleza de los ejemplares que la conforman. (Cristin and Perrillant, 2011)

Con base a un criterio científico y humanístico existen dos grupos de colecciones: Historia natural e historia social (Tabla 1).

Tabla 1. Tipos de colecciones de acuerdo al acervo reservado (tomado de Cristin and Perrilliant, 2011).

		Colecciones arqueológicas	
		Colecciones antropológicas	
	(a) Historia social	Colecciones etnográficas	
		Colecciones de arte	
		Filmotecas	
		Audiotecas	
			Algas
		Botánicas y herbarios	Hongos
			Plantas
			Invertebrados marinos
		Invertebrados	Invertebrados terrestres
			Entomológicas
		Colecciones biológicas	Peces
			Anfibios y reptiles
Colecciones científicas		Vertebrados	Mamíferos
			Ceparios
			Jardines botánicos
	(b) Historia Natural	Colecciones vivas	Herpetarios
			Acuarios
			Zoológicos
		Mineralógicas	
		Colecciones geológicas	Meteoritos y materiales planetarios
			Litológicas
			Núcleos (roca, hielo, suelo)
			Micropaleontológicas
		Colecciones paleontológicas	Paleobotánicas
			Invertebrados fósiles
			Vertebrados fósiles

1.4 Hipótesis.

Las muestras de arena de dunas costeras y continentales de cada zona del presente trabajo presentarán características y composición diferentes y se podrán relacionar con el clima, roca madre, relieve, geografía y procesos físicos dominantes ej. viento, corrientes marinas, oleaje lo cual determina diferente intemperismo químico para cada región geográfica.

1.5 Justificación.

El ICMYL cuenta con el único acervo de arena del país por lo cual es de gran interés general datos geoquímicos relacionados a las muestras y zonas de muestreo para que sirvan como herramienta, base de datos o consulta a investigadores, alumnos y/o interesados en el tema (<http://www.eluniversal.com.mx/12/12/2017>).

1.6 Objetivo general.

Generar el perfil geoquímico de las diferentes regiones que constituyen la colección de arena de dunas del ICMYL a partir de datos publicados de elementos mayores para determinar las características geoquímicas de la arena y su posible vinculación a la roca clima, roca madre, relieve, geografía y procesos físicos dominantes ej. viento, corrientes marinas, oleaje.

1.7 Objetivos particulares.

- Catalogar el acervo de muestras de arena de duna de diferentes sitios de México.
- Discutir la importancia de una arenoteca en el conocimiento de las dunas continentales y costeras y sustentabilidad ambiental con base a regiones con diferente geología, clima y procesos costeros y su vinculación a la composición química.
- Mostrar las diferencias en mineralogía y geoquímica del acervo con base en publicaciones científicas.

Capítulo 2. Áreas de estudio.

La colección se conforma de muestras provenientes de dunas costeras y continentales de diversas localidades agrupadas en cinco áreas distintas de México (Figura 5.), las cuales se enlistan a continuación.

- I. Sonora (Desierto de Altar)
- II. Península de Baja California (Desierto del Vizcaíno)
- III. Golfo de México norte (Tamaulipas)
- IV. Golfo de México sur (Veracruz)
- V. Península de Yucatán (Yucatán)

Las localidades fueron elegidas basándose en criterios como: tipo de duna, clima, velocidad del viento y roca parental.

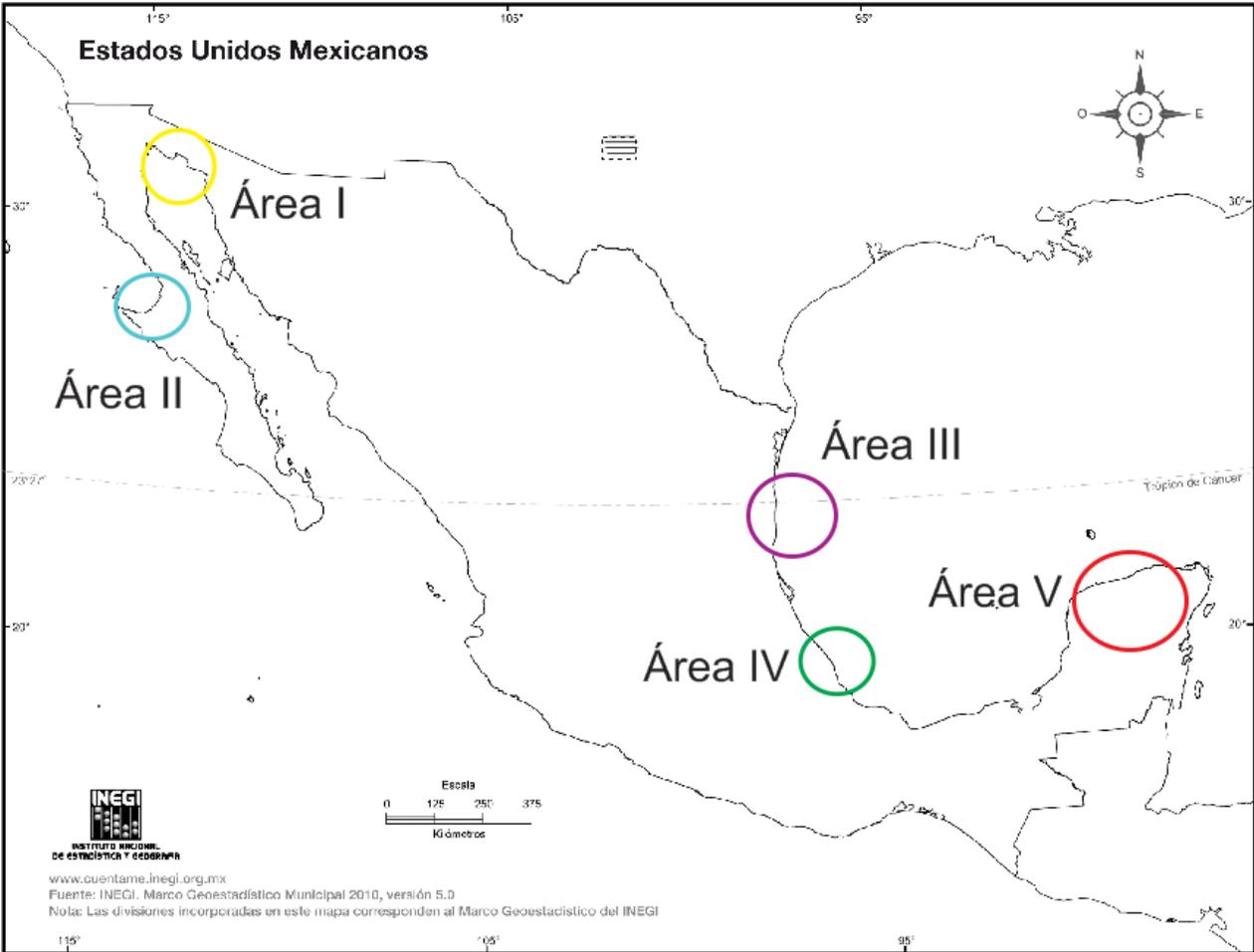


Figura 5. Mapa de la República Mexicana con las zonas muestreadas I-V

(modificado de

http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/div_territorial/nacionalsd.pdf)

2.1 Zona I, Desierto de Altar, Sonora

El desierto de Altar, (31-32° 35'N 113-115° 85'W) se ubica en el estado de Sonora (32°28'N- 108°25'W), este estado colinda al norte con Los Estados Unidos de América, al este con Chihuahua y Sinaloa, al sur con Sinaloa y el Golfo de

California y al oeste con El Golfo de California y Baja California. El 48% del territorio de Sonora presenta un clima seco y semiseco, el 46.5% clima muy seco en la llanuras costeras del golfo y el 4% presenta un clima templado subhúmedo, el resto tiene un clima cálido subhúmedo. (INEGI 2017 a, INEGI 2016a)

Las precipitaciones anuales promedio van de los 231 a los 464.3 mm al año, entre el 60 y 80% de la lluvia cae durante el periodo de Julio-Septiembre. En la zona hay presencia vientos hacia el noroeste, sureste y suroeste (Kasper-Zubillaga et al, 2007 a; Kasper-Zubillaga et al, 2008 b).

Las localidades muestreadas en la colección son: San Luis Río Colorado, El Pinacate, Golfo de Santa Clara y Puerto Peñasco. Los sitios de muestreo se pueden consultar en Kasper-Zubillaga et al, (2007 a) y Kasper-Zubillaga et al, (2008 b)

2.2 Zona II Desierto del Vizcaíno, Baja California

El desierto del Vizcaíno (26° - 28° 29'-30' N y 112° - 115° 15'-15' W) está situado en el estado Baja California Sur (28° 00'N 109° 52'W). El estado colinda al norte con Baja California, al este con el Golfo de California y al sur y oeste con el Océano Pacífico. El estado tiene un clima predominante muy seco (92.9% de su territorio). La temperatura media anual es de entre 18 y 22° C y las precipitaciones anuales promedio son de 200 mm con lluvias escasas. Hay vientos hacia el norte y del oeste (INEGI, 2016 b ;INEGI, 2017b; Kasper-Zubillaga et al, 2008 a, b).

Las localidades muestreadas son: Playa Pacheco, Laguna Manuela, La Golondrina, Isla de Arena, Exportadora de Sal, Puerto Chaparrito, El Vizcaíno y La Bombita. Los sitios de muestreo se pueden consultar en Kasper-Zubillaga et al, (2008 a, b)

2.3 Zona III Golfo de México Norte, Tamaulipas

El estado de Tamaulipas ($21^{\circ}40'N$ $100^{\circ}08'W$) limita al norte con Nuevo León y los Estados Unidos de América, al sur con el Golfo de México, Veracruz y San Luis Potosí y al oeste con San Luis Potosí y Nuevo León (INEGI 2017c).

El clima predominante en el estado es cálido y semi cálido subhúmedo (58% del territorio), la temperatura media anual es de 23.5° y el promedio anual de precipitación es de 780 mm. Hay vientos que vienen del norte, este, noreste y sureste con velocidades promedio de 4, 3, 5 y 4 m/s respectivamente (INEGI 2016 c, Kasper Zubillaga et al., 2016).

Las localidades muestreadas son: Miramar, Tepehuajes y Barra del Tordo. Los sitios de muestreo se pueden consultar en Kasper-Zubillaga et al, (2013, 2016).

2.4 Zona IV Golfo de México Sur , Veracruz

El estado de Veracruz ($22^{\circ}28'N$ $98^{\circ}40'W$) colida al norte con Tamaulipas, al este con el Golfo de México, al sureste con Tabasco y Chiapas, al sur con Oaxaca, al suroeste con Puebla y al noroeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí (INEGI 2016 d).

Los climas predominantes en el estado son el cálido subhúmedo y el cálido húmedo. La temperatura oscila entre los 25 y $10^{\circ}C$ mientras que las precipitaciones van de los 619 a los 2168 mm. (INEGI 2017d). Los sitios de muestreo se pueden consultar en Mendieta-Lora et al., (sometido).

2.5 Zona V , Yucatán

El estado de Yucatán se encuentra en la península de Yucatán (19° 22´N, 89°12´W), una plataforma calcárea de 197,600 km²s. Yucatán colinda al norte con el Golfo de México, al este con Quintana Roo, al sur con Campeche y Quintana Roo y al oeste con el Golfo de México.(INEGI 2017 e)

El 85.7% del estado presenta un clima cálido subhúmedo con lluvias en el verano, mientras que el resto del territorio es semiseco muy cálido y cálido, y seco muy cálido y cálido con precipitaciones anuales promedio de entre 507.8 y 1014.1 mm de agua (INEGI 2016 e; Kasper-Zubillaga et al. 2017).

Las localidades muestreadas son: Dzilam, Santa Clara, Chabihau, San Crisanto, Telchac, Chicxulub, Progreso y Sisal. Los sitios de muestreo se pueden consultar en Kasper-Zubillaga et al. (2017).

Capítulo 3. Metodología

3.1 Curaduría de la Arenoteca.

Las 87 muestras de la colección corresponden a arena de dunas costeras y continentales de cinco regiones de México, las cuales se trataron para organizarlas sistemáticamente durante seis meses en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Esto se realizó con el objetivo de dar seguimiento a los datos publicados y enfocar la atención a la geoquímica de los mismos para poder interpretar los perfiles

geoquímicos. Estos perfiles se construyeron a partir de diagramas ternarios con los polos que a continuación se describen en detalle.

La tarea de curaduría en laboratorio consistió en almacenar las muestras en frascos de vidrio, etiquetarlas para especificar el número de muestra de la colección, si la muestra corresponde a una publicación y referirla a la cita correspondiente, ej. DOI de los artículos publicados relacionados con la muestra. También se procedió a escribir los nombres de los responsables de la curaduría, coordenadas, la composición mineralógica y tamaño de grano de la arena y nombre de la localidad donde se tomó la muestra (Figs. 6 a, b, c)



Figura 6. Arenoteca del ICMyl de la UNAM. A) Vista general de los frascos con muestra de arena de duna de México; b) etiquetado de muestra de El Pinacate, Sonora, México; c) muestras de El Vizcaino BCS

3.2 Criterio de selección de elementos para la composición de la arena.

Este criterio de la construcción de los diagramas ternarios cuya normalización se realizó al 100% basados en los porcentajes de elementos mayores publicados se basó en los elementos que constituyen las diferentes rocas que influyen en la composición de la arena:

- a) granitos /granodioritas/sedimentarias como areniscas SiO_2 asociado al cuarzo principalmente.
- b) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{Na}_2\text{O}$, K_2O y CaO asociados a la influencia de feldespato incluyendo plagioclasa y minerales subordinados asociados a fragmentos de rocas volcánicas, metamórficas, sedimentarias y plutónicas.
- c) CaO , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 asociados a rocas volcánicas máficas, calcoalcalinas, basaltos, minerales opacos, clinopiroxenos, olivinos y fracciones de origen biógeno. La excepción es el CaO el cual puede estar asociado a la plagioclasa especialmente a la anortita-bitownita pero también a la presencia de fragmentos de organismos calcáreos como bivalvos, gasterópodos, foraminíferos, fragmentos de coral, ostrácodos etc. (Kasper-Zubillaga et al, 2014).

3.3 Normalización de datos geoquímicos

Los datos se obtuvieron de publicaciones anteriores (Kasper-Zubillaga and Carranza- Edwards , 2005; Kasper-Zubillaga et al, 2007 a, Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz 2007; Kasper Zubillaga et al, 2008 a, Kasper-Zubillaga et al, 2008 b; Kasper-Zubillaga, 2009; Kasper-Zubillaga et al., 2016; Kasper-Zubillaga et al., 2017).

Para las tablas (ver Anexo I) se obtuvo el promedio y la desviación estándar de los elementos mayores de cada localidad con las ecuaciones 1 y 2 respectivamente

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Ecuaciones 1 y 2 fórmula del promedio y desviación estándar

Para cada localidad los promedios de los elementos mayores se agruparon en tres conjuntos :

- 1) SiO₂
- 2) Al₂O₃Na₂O, K₂O y CaO
- 3)CaO, Fe₂O₃, MgO, TiO₂

Se sumaron los componentes de cada uno. Para normalizar se consideró la suma de los tres conjuntos como un 100% y se normalizaron con la ecuación 3.

$$\frac{\text{Suma del conjunto}}{\text{suma total}} * 100$$

Fórmula 3. Fórmula para Normalización de datos

Capítulo 4. Resultados.

Las figuras 8,9,10,11,12 y 13 muestran los diagramas ternarios obtenidos con los resultados de publicaciones con datos geoquímicos para elementos mayores (ver Anexo I) y las ecuaciones 1, 2 y 3 para las 5 áreas de la República Mexicana así como un

diagrama general de la colección para mostrar la diferencia de composición entre las diferentes localidades.

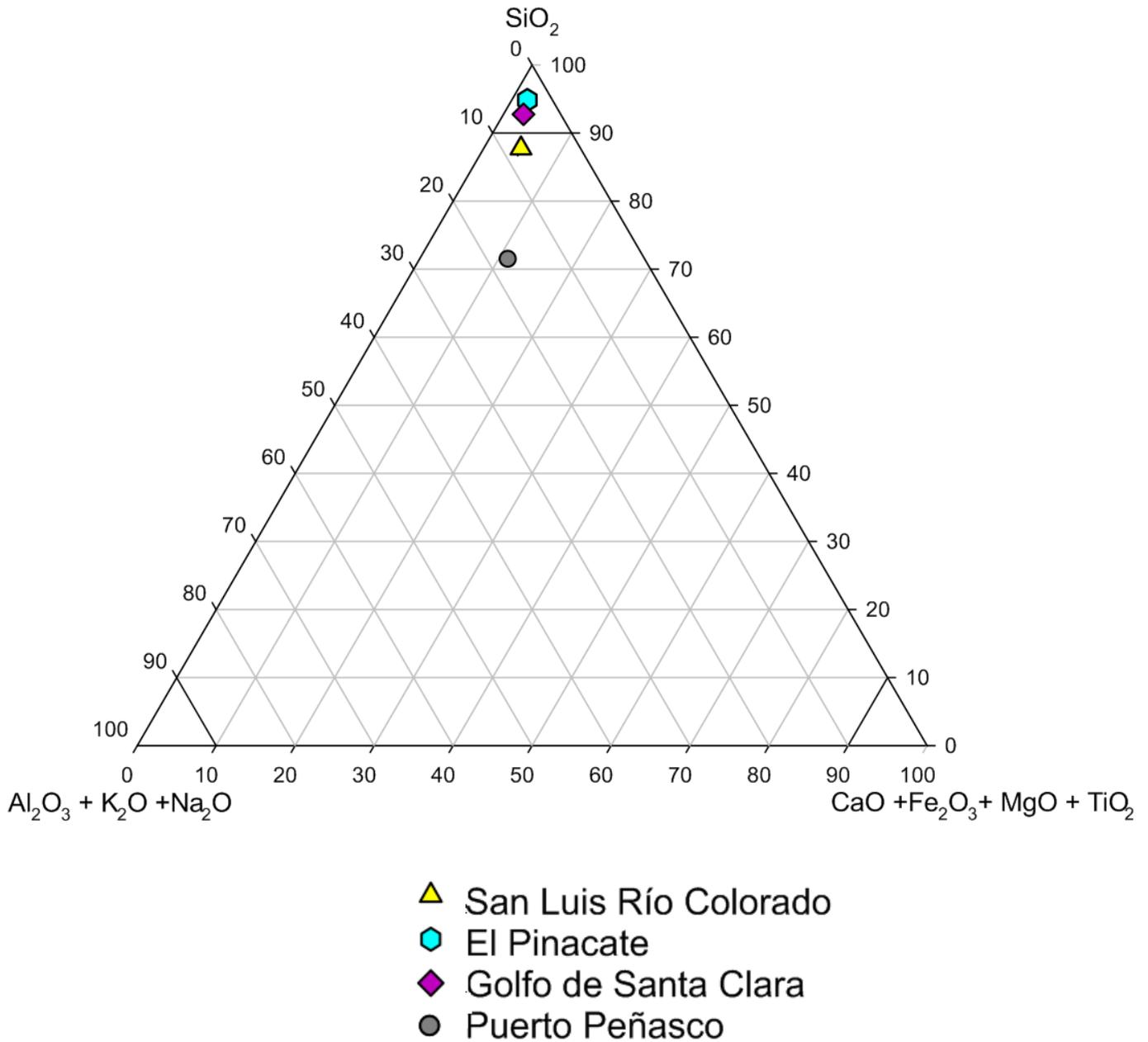
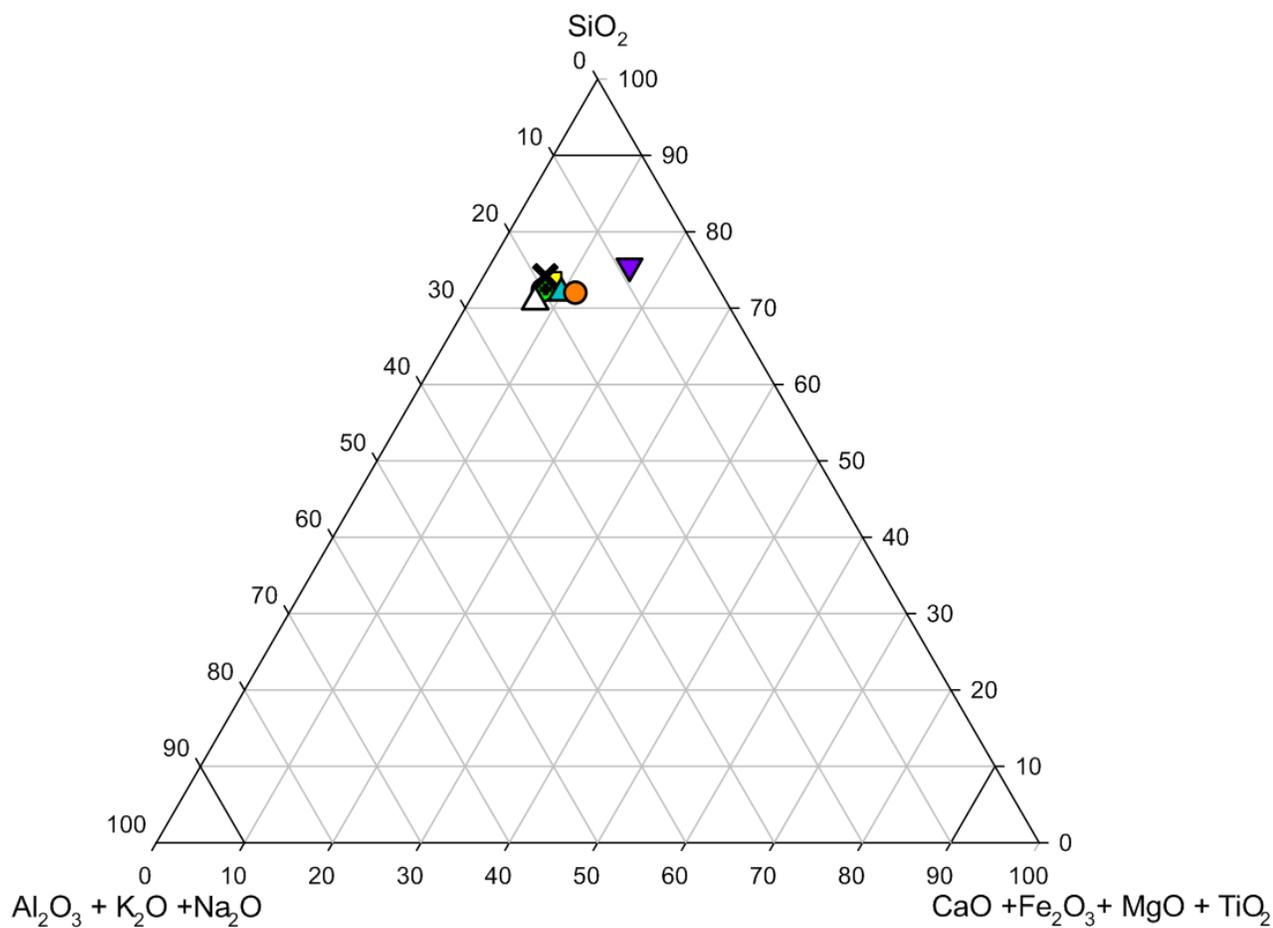
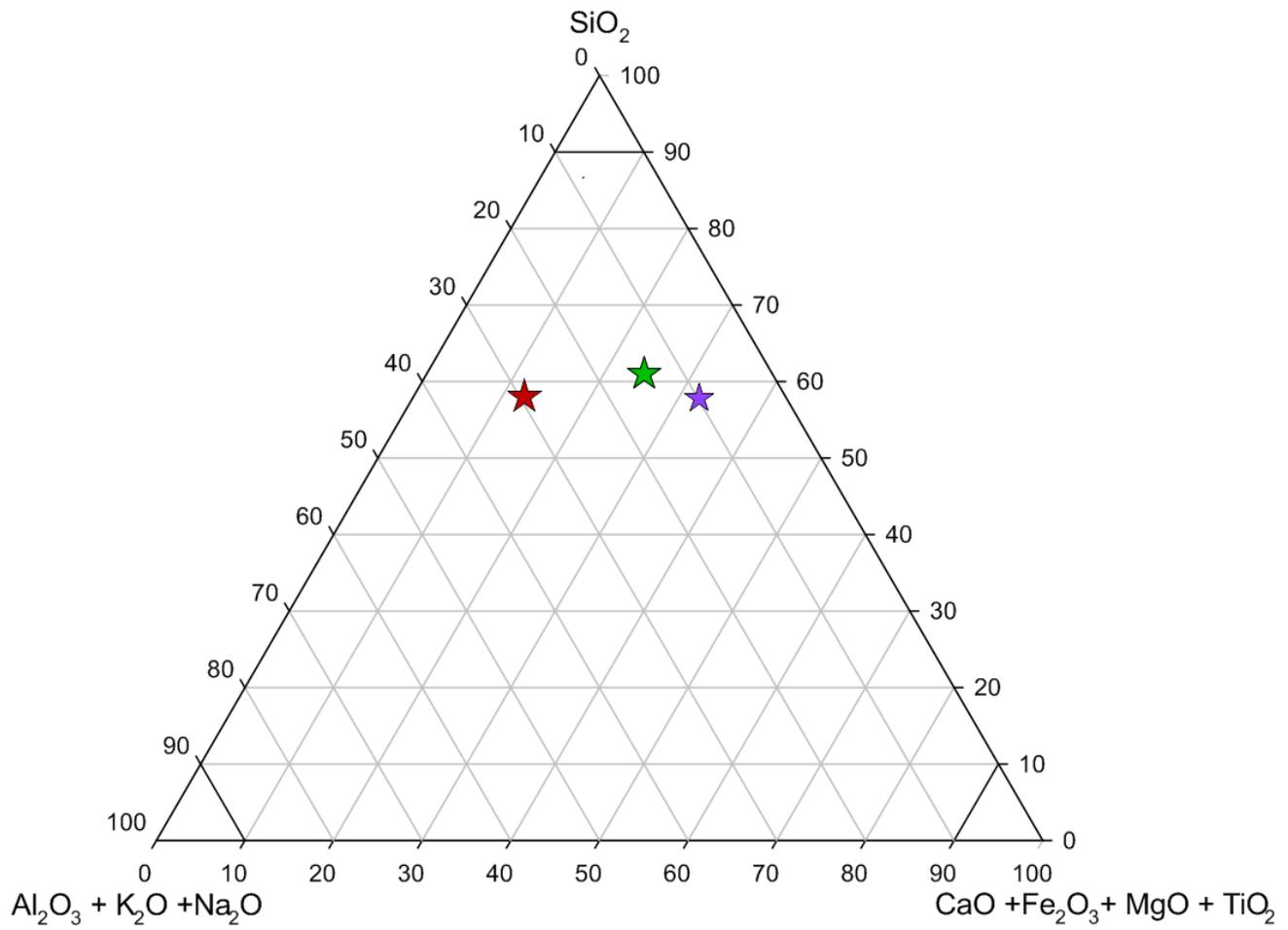


Figura 8. Diagrama ternario Zona I (Desierto de Altar Sonora, México)



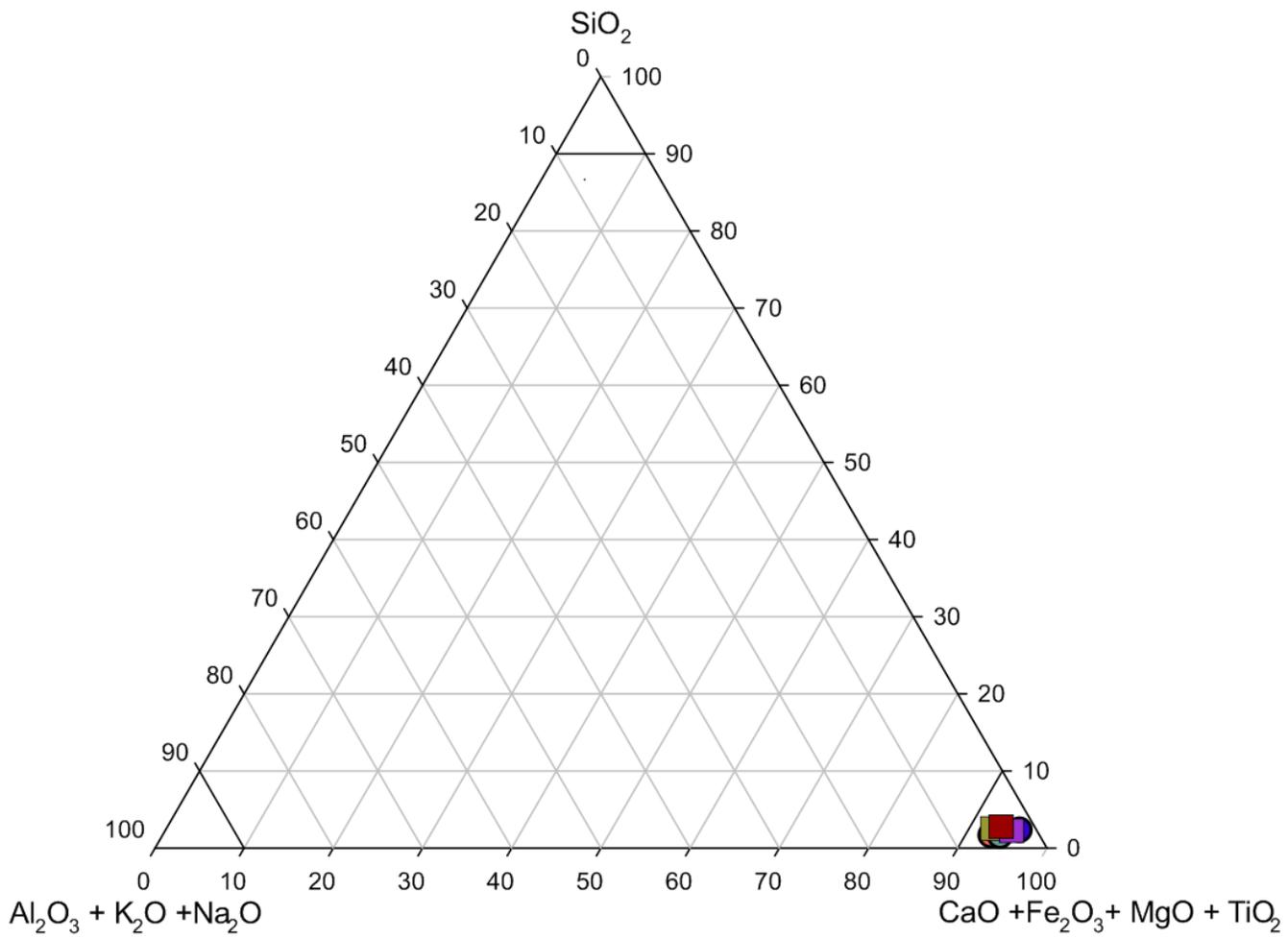
- La Golondrina
- El Vizcaíno
- ✕ La Bombita
- ▼ Laguna Manuela
- △ Isla de Arena
- ▲ Exportadora de sal
- Puerto Chaparrito

Figura 9. Diagrama ternario Zona II (Desierto del Vizcaíno, Baja California, México)



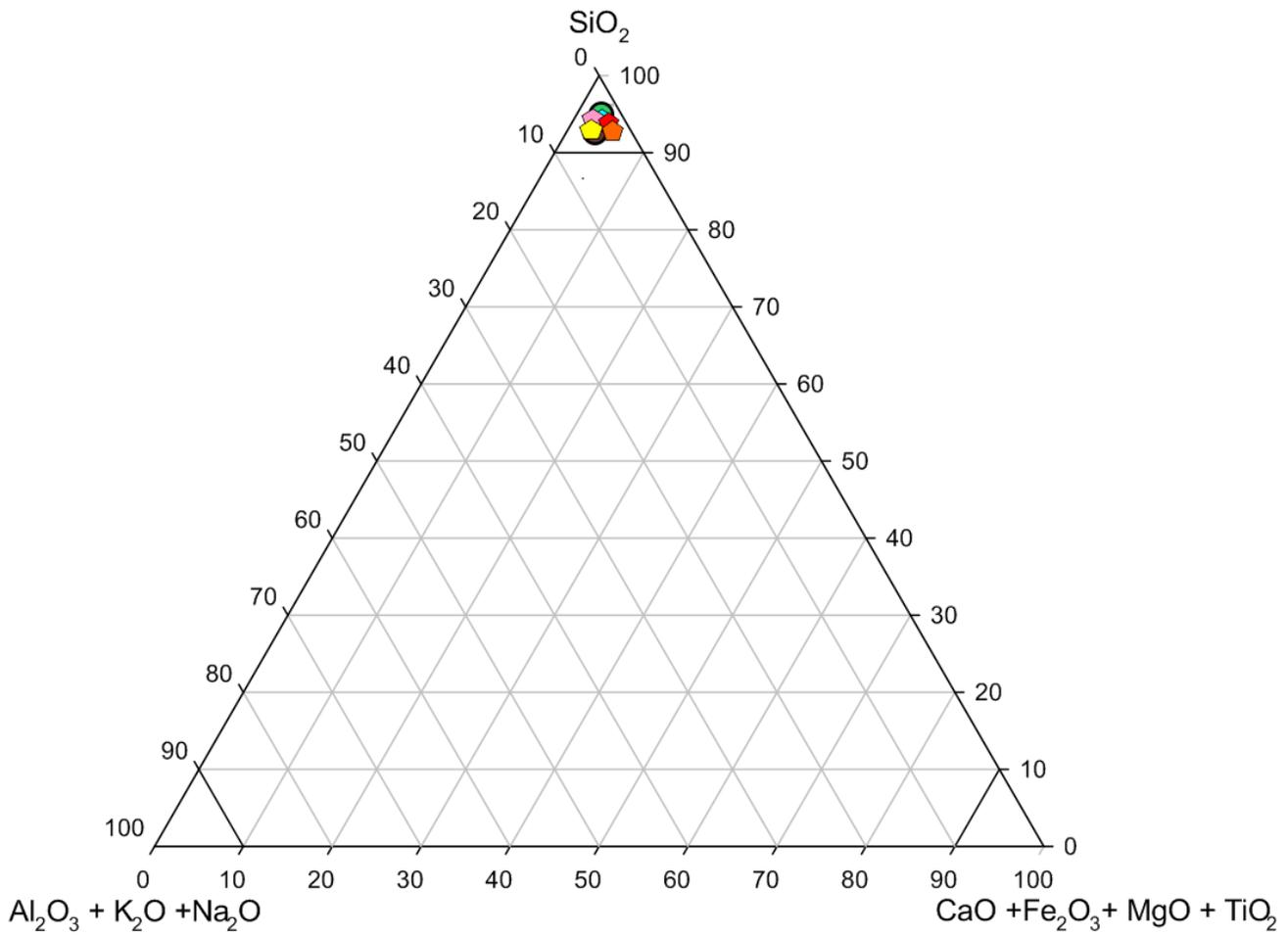
- ★ Chachalacas
- ★ Villarica
- ★ La Mancha

Figura 10. Diagrama ternario Zona III (Golfo de México norte, Tamaulipas , México)



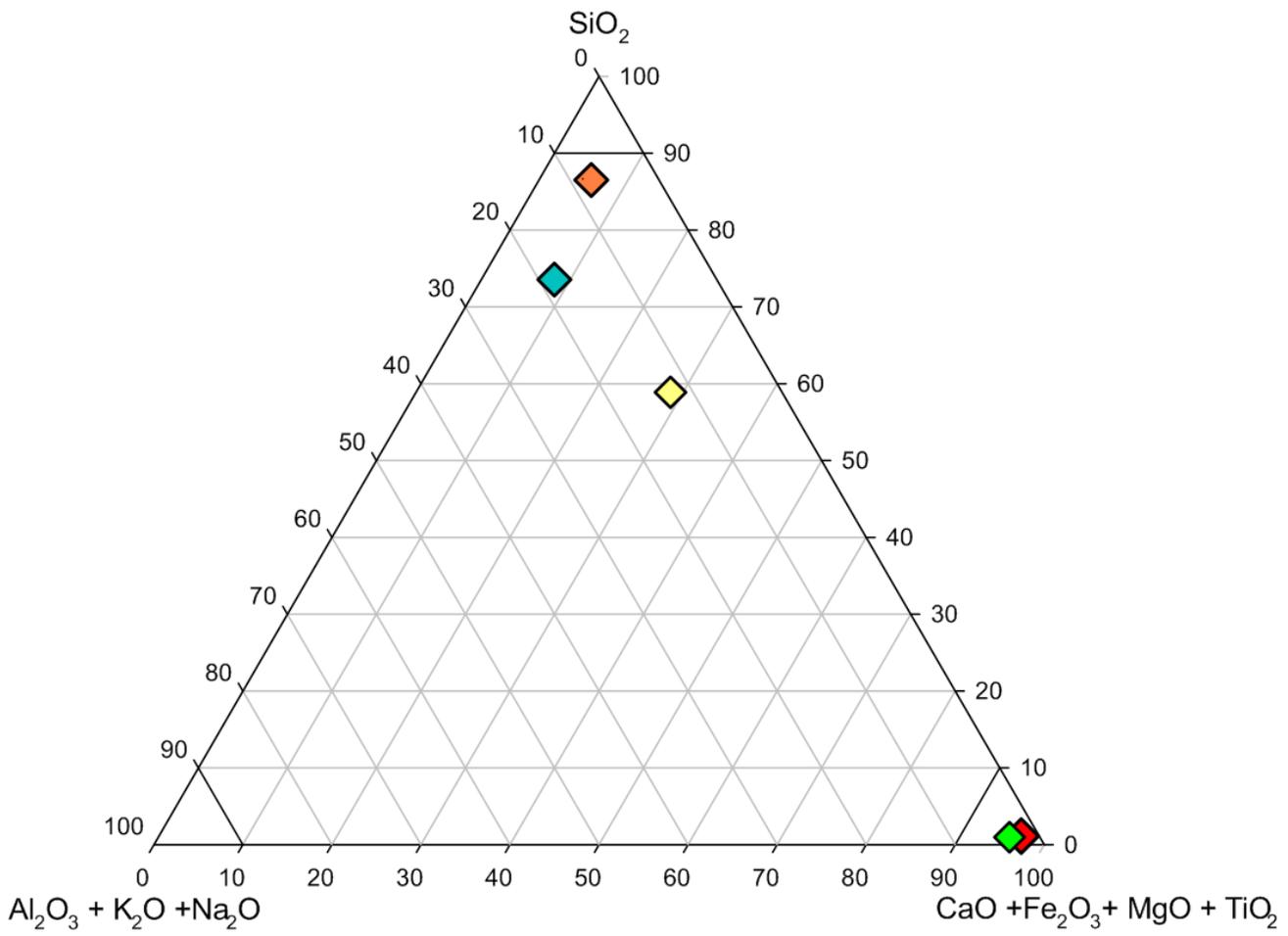
- Miramar Ilmenita
- Miramar titanomagnetita
- Tepehuajes ilmenita
- Tepehuajes titanomagnetita
- Barra del Tordo ilmenita
- Barra del Tordo titanomagnetita

Figura 11. Diagrama ternario Zona IV (Golfo de México sur, Veracruz, México)



- ◆ Dzilam
- ◆ Santa Clara
- ◆ Telchac
- ◆ San Crisanto
- Progreso
- ◆ Sisal
- Chabihau
- ◆ Chicxulub

Figura 12. Diagrama ternario Zona V (Península de Yucatán , México)



- ◆ Baja California Sur
- ◆ Sonora
- ◆ Golfo de México Norte
- ◆ Golfo de México Sur
- ◆ Yucatán

Figura 13. Diagrama ternario de la colección

Capítulo 5. Discusión.

La distribución de la composición geoquímica de la arena se basa en los triángulos con diversos polos con elementos químicos y se realiza tomando en cuenta el suministro de la roca parental en diferentes regiones geográficas, clima, influencia costera en la pérdida y/o ganancia de ciertos minerales asociados a algunos elementos químicos. Las zonas se dividieron para su fácil análisis en cinco áreas numeradas del I al V.

Zona I.- El diagrama ternario de esta zona muestra un porcentaje superior al 70 % de SiO_2 lo cual sugiere que las dunas costeras y continentales han estado sujetas a la influencia del delta del Río Colorado (Muhs, 2004, Kasper-Zubillaga et al 2007a, 2008b; Lancaster, 1995) aunque Puerto Peñasco (dunas costeras) tiene influencia de biógenos que diluyen el aporte de SiO_2 en forma de cuarzo es decir reducen el aporte de este mineral a la arena (Garzanti et al., 2013b). Es posible también que el régimen de marea que en esta zona es muy significativo transporte los restos de cochas de la playa a la duna por efecto del viento durante la bajamar (Marinone y Lavin , 1997). El reciclaje del cuarzo por transporte marino /eólico determina la abundancia del SiO_2 en el sistema de dunas en Sonora, México.

Adicionalmente el transporte fluvial y eólico a partir del río Colorado de los minerales inestables como los feldespatos compuestos de SiO_2 pero también de Al_2O_3 , Na_2O , K_2O y CaO y se diluyen y no estén presentes en la composición química de la arena de las dunas costeras y continentales e incluso en la arena de playas que retroalimenta con suministro al sistema de dunas (Carranza-Edwards et al, 2018).

Sin embargo hay que notar que el clima cálido y seco y descarga de ríos intermitentes ej. Río Sonoyta cercanos a PP contribuyen a un ligero aumento en la concentración de Al_2O_3 , Na_2O , K_2O que corresponden a un ligero aumento en la concentración de plagioclasa procedente de rocas intermedias tipo andesitas y/o reolitas.

Zona II.- El diagrama ternario de esta zona muestra un porcentaje casi a la línea del 70 % y a diferencia de la región I, en el Desierto del Vizcaíno. Existe una mayor diversidad de rocas parentales que influyen en la composición de las dunas costeras y continentales. Los vientos y corrientes litorales de alta energía también influyen en la composición debido a la degradación de minerales inestables por ejemplo plagioclasa Ca-Na. La composición de la arena está influida por la denudación de rocas básicas, ácidas y algunas metamórficas lo cual contribuye a un ligero aporte de rocas máficas por el suministro de calcio de la plagioclasa, conchas con calcita en Laguna Manuela y el sodio por la granodiorita y quizá fuentes alternativas metamórficas y sedimentarias (Kasper-Zubillaga and Zolezzi-Ruiz, 2007 b; Kasper-Zubillaga et al, 2008 a).

Zona III.- El diagrama ternario de esta zona muestra un porcentaje cercano al 100% constituido exclusivamente con un diagrama ternario constituido por los polos Ca-Fe₂O₃-TiO₂-MgO y amplificado debido a que los datos están restringidos a esa zona del diagrama. Los datos obtenidos con una Microsonda de Barrido (MB) se graficaron separando por composición mineralógica de ilmenita (Ti), titanomagnetita (Fe) y magnetita (~ Fe oxidado). La ilmenita procede de rocas basálticas erosionadas que dominan la Sierra Madre Oriental cercana al Golfo de México (Kasper-Zubillaga et al, 2016). Sin embargo las muestras reflejan el carácter dinámico de la zona que suministra de minerales opacos del sur hacia el norte de las playas del Golfo. Esto se debe a las corrientes a lo largo de la costa de alta velocidad ej. 7 -13 cm.s⁻¹ (Fernández-Eguiarte et al, 1992). La geoquímica refleja el carácter calcoalcalino de las rocas que influyen en la composición de la arena de duna de esta región. Esta interpretación se basa en estudios hacia el sur de Tamaulipas y centro de Veracruz en donde la abundancia de ilmenita es alta especialmente en zonas cercanas al Cinturón Volcánico Trans Mexicano (Kasper-Zubillaga et al, 2016; Mendieta-Lora et al. 2018, sometido)

Zona IV- El diagrama ternario de esta zona muestra un porcentaje cercano al 50% constituido exclusivamente composicionalmente por rocas que influyen en la composición de elementos como el Ca-Fe₂O₃-TiO₂-MgO determinado por análisis de FRX para elementos mayores. El aporte de rocas calco alcalinas y un enriquecimiento de cuarzo particularmente en la muestra de Villa Rica producen que la composición geoquímica de la arena de duna en general esté más controlada por rocas basálticas-andesíticas de composición calco alcalina y Na-intermedias que provienen del Cinturón Volcánico Trans Mexicano (CVTM) (Gomez –Tuena et al, 2007; Mendieta-Lora, 2018 sometido). Sin embargo existe reciclaje de cuarzo debido a las corrientes litorales, el vigoroso oleaje y vientos del norte y este que producen un enriquecimiento de cuarzo en ciertas zonas de la zona IV de Veracruz pesar de la cercanía con el CVTM. La presencia de minerales como clinopiroxeno, olivino, calcita (de origen biógeno por los restos de conchas) incrementan la composición de los elementos anteriormente mencionados Ca-Fe₂O₃-TiO₂-MgO. El Ca de origen terrígeno está ausente como mineral independiente

Zona V. El diagrama ternario de esta zona muestra un porcentaje al 100% hacia al polo de la aragonita en forma de CaCO₃ debido a la composición de las fracciones biógenas que constituyen las dunas de Yucatán. Estas fracciones están formadas por aragonita y por restos de moluscos bivalvos, gasterópodos y foraminíferos bentónicos (*Archaias angulatus*) (Kasper-Zubillaga et al, 2017). Esto indica que la zona V tiene una incipiente diagénesis al no transformar la aragonita inestable a calcita a pesar de la alta humedad y el clima cálido imperante en la zona. Esto sugiere que los restos de organismos que constituyen la composición de las dunas de Yucatán han estado expuestos de manera subaerea y por lo tanto la influencia marina ha tenido poco control en la presencia de calcita al ser transformada desde la inestable aragonita en su forma cristalina.

Diagrama general. El diagrama representa los promedios de todas las zonas I-V con las dunas continentales y costeras mostrando la influencia del Delta del Golfo del Colorado en la Zona I con $> 85\%$ de SiO_2 asociado al cuarzo reciclado y su acumulación por transporte eólico e inicialmente fluvial antes de que el Río Colorado ya no aportara sedimento al Alto Golfo de California (Garzanti et al, 2013 a; Muhs 2004; Kasper-Zubillaga et al, 2007 a). La influencia de otras rocas está inhibida debido a este proceso de reciclamiento por cuarzo y su asociación al sílice. La zona II $> 70\%$ implica una mayor diversidad de rocas que suministran distintas composiciones químicas a las dunas especialmente de rocas básicas, ácidas y algunas metamórficas que tienden a la posible influencia de rocas intermedias con Na_2O y K_2O (granodioritas). La zona III tiende a una composición ligeramente más calco alcalina por la presencia de $\text{Ca-Fe}_2\text{O}_3\text{-MgO-TiO}_2$ en donde la presencia de minerales opacos se ha evidenciado en reportes de estudios realizados recientemente (Mendieta-Lora et al., 2018 sometido). La zona IV es una zona ausente de sedimentos terrígenos y cuya composición es de origen biógeno.

Capítulo 6 Conclusiones.

La Arenoteca es un repositorio importante para difundir, preservar y realizar trabajos analíticos como el que se expone.

Cada área posee características diferentes. La arena de la zona I está influida por la presencia de cuarzo y biógenos que se expresan en altas concentraciones de sílice y calcio; la zona II esta influida por rocas de diversa composición desde básicas, intermedias y metamórficas; la zona III esta influida por rocas basáltica y andesítica de carácter calco alcalino y alcalino ; la zona IV esta influida por rocas volcánicas básicas o calco alcalinas y la zona V esta controlada por aporte de biógenos exclusivamente derivados del transporte litoral, oleaje, vientos y efectos diagenéticos.

La separación de las componentes de los elementos mayores en áreas influidas por zonas con alto contenido de cuarzo (sílice) en comparación a zonas influidas por rocas volcánicas /metamórficas (Ti, Fe, Ca, Mg) suele ser efectiva en el caso de las dunas costeras y continentales. Las zonas de dunas sometidas a diagénesis (calcio biógeno-aragonita-calcita) también proveen información relevante sobre ambiente de depósito de dunas costeras.

Referencias Bibliográficas.

Alpha, Tau, Rho, Galloway, John, P., Starratt, Scott, W. (1998), *Sand Dunes computer animations and paper models*, U.S. Department of the interior, U.S. Geological survey, 4.

Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Martínez-Serrano, R., Cabrera-Ramírez, M., Rosales-Hoz, L., Alatorre-Mendieta, M.A., Márquez-García, A.Z., R., L.-S., (2018). *Provenance inferred through modern beach sands from the Gulf of Tehuantepec, Mexico*. *Geological Journal* 1-12.

Chester, R., Hueges, M.J. (1967) *Geological Chemistry*, 2, 429.

Cristin, A., Perrilliant, M. (2011). *Las colecciones científicas y la protección del patrimonio paleontológico*. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63 (3): 421-427.

Fernández-Eguiarte A., Gallegos-García A., Zavala-Hidalgo J., (1992), *Oceanografía Física (Masas de Agua y Mareas de los Mares Mexicanos)* IV.9.1, escala 1: 4000.000, Atlas Nacional de México, México, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1 mapa.

Folk, R.L., (1980), *Petrology of Sedimentary Rocks* Austin, Texas, Hemphill Press, second edition, 182 p.

Flor, G., 2004. *Geología Marina. Area de Estratigrafía y Sedimentología*, Universidad de Oviedo: Departamento de Geología.

Garzanti, E., Vermeesch, P., Andò, S., Vezzoli, V., Valagussa, M., Allen, K., Kadi, K.A., Al-Juboury, A.I.A. (2013a)., *Provenance and recycling of Arabian desert sand*. *Earth-Science Reviews* 120; 1–19

Garzanti, E., Padoan, M., Andò, S., Resentini, A., Vezzoli, G., Lustrino, M., (2013b). *Weathering and Relative Durability of Detrital Minerals in Equatorial*

Climate: Sand Petrology and Geochemistry in the East African Rift. The Journal of Geology 121, 547-580.

Goldber,E.D. (1954) *Chemical Scavengers of the Sea*, , The Journal of Geology 62,249

Goldberg, E.D., Griffin,J.J. (1968) *In the Sea*, Interscience,3, 728

Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M.T., Ferrari, L., 2007. *Igneous petrogenesis of the Trans-Mexican Volcanic Belt*, in: Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, Á.F. (Eds.), *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper 422*, pp. 129-181.

Honda M, Shimizu H. (1998).*Geochemical, mineralogical and sedimentological studies on the Taklimakan Desert sands*. Sedimentology 45; 1125–1143.

INEGI, (2016 a), *Conociendo Sonora*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, V.6, 4,9.

INEGI, (2016 b), *Conociendo Baja California Sur*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, V. 6, 4.

INEGI, (2016 c), *Conociendo Tamaulipas*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, V. 6,4.

INEGI, (2016 d), *Conociendo Veracruz de Ignacio de la Llave*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, V.6,4.

INEGI, (2016 e), *Conociendo Yucatán*,Instituto Nacional de Estadística y GeografíaV.6, 9.

INEGI (2017a),*Anuario estadístico y geográfico de Sonora 2017*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2017b), *Anuario estadístico y geográfico de Baja California Sur*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2017c), *Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INEGI (2017 d), *Anuario estadístico y geográfico de Veracruz*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INEGI (2017 e), *Anuario estadístico y geográfico de Yucatán*, Instituto Nacional de Estadística y Geografía

Kasper-Zubillaga, J.J., Carraza-Edwards, Arturo. (2005a) *Grain size discrimination between sands of deserts and coastal dunes from northwestern Mexico*, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22(3): 383-390

Kasper-Zubillaga J.J., Dickinson WW, Carranza Edwards A., Hornelas-Orozco, Y. (2005b). *Petrography of quartz grains in beach and dune sands of Northland, North Island, New Zealand*. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* V 48 649-660.

Kasper-Zubillaga, J.J., Zolezzi-Ruiz, H., Carraza-Edwards, Arturo, Girón-García, P (2007a) *Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico*. *Earth Surface Processes and Landforms*. 32:489-508

Kasper-Zubillaga J.J. and Zolezzi-Ruiz H., (2007 b) *Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from the El Vizcaino Desert, B.C. México*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. V24 (3), 423-438.

Kasper-Zubillaga, G. Ortiz-Zamora, W.W. Dickinson, J. Urrutia-Fucuguachi, A.M. Soler-Arechalde., (2007c) , *Textural and composition controls on modern beach and dune sands, New Zealand*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 366-389..

Kasper-Zubillaga J.J., Carranza Edwards A. Morton-Bermea O. (2008 a). *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, 172-188.

Kasper-Zubillaga J.J., Acevedo-Vargas, B., Morton-Bermea O. and Ortiz-Zamora, G. (2008 b). *Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, northwestern México*. *Chemie Der Erde-Geochemistry*. V. 68, 45-59.

Kasper-Zubillaga, J.J., Armstrong Altrin, J.S., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O., Lozano Santa Cruz R., (2013). *Control in beach and dune sands of the Gulf of Mexico and the role of nearby rivers*. *International Journal of Geosciences* v. 4, 1157-1174

Kasper-Zubillaga, J.J., Armstrong-Altrin, J.S., Rosales-Hoz, L., (2014). *Geochemical study of corals from the Puerto Morelos Reef, Southeastern Mexico*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. V. 151, 78-87

Kasper-Zubillaga J.J. , Carlos Linares López, Carmen Adela Espino de la Fuente Muñoz. (2016) . *Provenance of opaque minerals in costal sands, western Gulf of Mexico, Mexico*, *Boletín de la Sociedad Geológica de México*. V68, 323-338.

Kasper-Zubillaga J.J., Arellano-Torres E., Armstrong-Altrin, J.S., (2017) *A study of carbonate beach sands from the Yucatán Peninsula, Mexico: a case of study*, *Springer* 32:1-12

Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation, Englewood Cliffs*. Prentice-Hall, New Jersey. 429 p.

Lancaster N. (1995). *Origin of the Gran Desierto Sand Sea: Sonora, Mexico: evidence from dune morphology and sediments*. In *Desert Aeolian Processes*, Tchakerian VP (ed.). Chapman and Hall: New York; 11–36.

Le Pera, E., 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 Petrology*. 110, 81–97.

Livingstone, I. 1987 Grain size variation on a “complex” linear dunes in the Namib Desert. In Desert Aeolian Processes. Frostick, I. Reid, I (eds) Geological Society of London. Special Publication Oxford 281-291.

Marinone, S.G. y Lavin M.F., (1997). *Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California*. In Contribuciones a la Oceanografía en México, Lavin, M.F. (Ed) Unión Geofísica Mexicana, México. 117-143.

Martínez, M.J., (2010) *Las Playas y las Dunas Costeras: Un Hogar en Movimiento*. Fondo De CulturaEconómica. 189 .

Mendieta-Lora, M., Mejía-Ledezma, R.O., Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano-Torres, E., and Álvarez Sánchez, L.F. *Mineralogical and geochemical implications of weathering rates in coastal dunes and beach sands close to a volcanic rock source in the western Gulf of Mexico, Mexico* (submitted to Chemie Der Erde)

Moreno-Casasola P. (1986). *Classification and ordination of coastal sand dune vegetation along the Gulf and Caribbean Sea of México*. México. Vegetation 66: 147-182.

Muhs DR, Reynolds RL, Been J, Skipp G. (2003). *Eolian sand transport pathways in the southwestern United States: importance of the Colorado River and local sources*. Quaternary International 104: 3–18.

Muhs DR. (2004). *Mineralogical maturity in dune fields of North America, Africa and Australia*. Geomorphology 59: 247–269

Muhs, D., (2017). *Evaluation of simple geochemical indicators of aeolian sand provenance: Late Quaternary dune fields of North America revisited*. Quaternary Science Reviews 171, 260-296

Potter, P.E., (1986). *South America and a few grains of sand: Part1-Beach sands*. Journal of Geology. 94, 301-319.

Riley, J.P.& Chester, R. (1989), *Introducción a la química marina*, London and New York :A.G.T. Editor, S.A. 23.

ANEXO I

TABLAS

Tabla 2. Composición química de arenas de dunas costeras de Sonora.

DUNAS COSTERAS DE SONORA				
	GSC		PP	
	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	90.83	1.68	70.12	4.04
TiO	0.2	2.78E-03	0.56	0.34
Al ₂ O ₃	3.37	0.4	13.13	0.23
Fe ₂ O ₃	1.04	0.05	3.94	2.15
K ₂ O	1.35	6.62E-02	1.39	0.55
MgO	0.3	6.80E-05	1.71	0.85
Na ₂ O	0.6	0.01	2.92	0.41
CaO	1.33	0.09	4.54	0.93

GSE= Golfo de Santa Clara PP= Playa Pacheco
 σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 3. Composición química de arenas de dunas continentales de Sonora.

DUNAS CONTINENTALES DE SONORA				
	SLRC		PN	
	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	87.47	2.01	88.94	0.02
TiO	0.2	4.76E-03	0.19	4.17E-04
Al ₂ O ₃	4.88	0.33	0.09	5.45
Fe ₂ O ₃	1.28	8.77E-03	1	8.77E-03
K ₂ O	1.69	9.06E-03	1.98	7.90E-03
MgO	0.5	0.23	0.34	4.00E-04
Na ₂ O	0.75	0.01	0.91	0.01
CaO	1.69	0.18	0.74	3.60E-03

**SLRC= San Luis Río Colorado PN=EI
Pinacate**

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 4. Composición química de arenas de dunas costeras de El Vizcaíno, Baja California Sur.

DUNAS COSTERAS DE BAJA CALIFORNIA SUR								
	LM		IDA		EDS		PC	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	71.79	1.59	69.8	2.54	71.12	2.95	68.01	5.04
TiO	0.12	1.30E-04	0.17	0	0.45	0.3	0.12	0.03
Al ₂ O ₃	5.86	0.73	13.71	0.8	13.64	0.1	11.87	2
Fe ₂ O ₃	0.63	1.97E-03	1.04	0.04	2.33	0.98	0.74	0.17
K ₂ O	2.11	0.13	3.66	0.15	1.18	0.05	1.26	0.06
MgO	0.35	8.30E-04	0.6	0.05	1.33	0.45	0.55	0.19
Na ₂ O	1.33	0.3	3.66	0.15	3.37	0.04	3.24	0.5
CaO	13.17	4.76	6.55	1.79	5.08	0.63	8.46	3.41

LM= Laguna Manuela IDA= Isla de Arena EDS= Exportadora de sal PC= Puerto Chaparrito
 σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 5. Composición química de arenas de dunas continentales de El Vizcaíno, Baja California Sur

DUNAS CONTINENTALES DE BAJA CALIFORNIA SUR						
	LG		EV		LB	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	71.48	0.77	71.06	1.38	71.69	1.05
TiO	0.37	0.1	0.37	0.1	0.33	0.05
Al ₂ O ₃	13.97	0.48	14.72	0.26	13.76	0.68
Fe ₂ O ₃	1.99	0.39	2.07	0.53	1.78	0.04
K ₂ O	1.35	0.02	1.31	0.02	1.56	0.27
MgO	1.08	0.19	1.11	0.29	0.78	0.06
Na ₂ O	3.48	0.07	3.61	0.04	3.43	0.21
CaO	4.41	0.37	4.83	0.19	4.61	0.98

LG=La Golondrina EV=El Vizcaíno LB= La Bombita

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 6. Composición química de arenas de dunas costeras del Golfo de México Norte.

DUNAS COSTERAS DEL GOLFÓ DE MÉXICO NORTE												
	MM IL		MM TI		TH IL		TH TI		BT IL		BT IL	
	Promedio	σ										
SiO ₂	0.115	0.007	0.03	0.04	0.22	0.12	0.25	0.18	0.25	0.06	0.20	0.16
TiO	52.84	2.022	23.70	5.24	42.46	16.45	15.73	9.15	52.35	2.82	23.56	9.16
Al ₂ O ₃	0.075	0.064	0.64	0.05	0.21	0.10	1.31	1.78	0.15	0.06	0.84	0.64
Fe ₂ O ₃	44.41	2.135	73.73	5.56	54.13	17.55	77.73	11.55	44.18	3.50	68.93	5.98
K ₂ O	0.04	0.042	0.03	0.03	0.06	0.06	0.09	0.09	0.07	0.05	0.08	0.06
MgO	0.23	0.170	0.79	0.43	1.16	0.82	0.65	0.43	1.24	0.58	0.85	0.41
Na ₂ O	0.485	0.403	0.29	0.13	0.25	0.21	0.34	0.31	0.21	0.12	0.26	0.22
CaO		0.007	0.06	0.01	0.04	0.05	0.12	0.14	0.11	0.05	0.06	0.06

MM= Miramar TH=Tepehuajes BT= Barra del Tordo IL=Ilmenita TI= Titanomagnetita
 σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 7. Composición química de arenas de dunas costeras del Golfo de México Sur.

DUNAS COSTERAS DEL GOLFO						
	DE MÉXICO SUR					
	Chachalacas		Villarica		La Mancha	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	54.91	1.05	54.91	1.05	50.25	7.55
TiO	0.82	0.16	0.82	0.16	0.74	0.15
Al ₂ O ₃	9.53	0.14	9.53	0.14	6.59	1.40
Fe ₂ O ₃	4.88	0.64	4.88	0.64	4.44	1.18
K ₂ O	1.36	0.07	1.36	0.07	0.96	0.18
MgO	2.92	0.53	2.92	0.53	3.41	1.61
Na ₂ O	1.92	0.05	1.92	0.05	1.25	0.31
CaO	14.18	0.43	14.18	0.43	19.36	4.28

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 8. Composición química de arenas de dunas costeras de la Península de Yucatán.

DUNAS COSTERAS DE YUCATÁN								
	Dzilam		Santa Clara		Telchac		San Crisanto	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	0.41	0.14	0.24	0.05	0.31	0.03	0.33	0.12
TiO	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.05	0.01	0.05	0.01	0.07	0.01	0.08	0.02
K ₂ O	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00
MgO	2.86	2.03	3.67	1.76	1.61	0.89	3.60	0.84
Na ₂ O	0.37	0.37	0.63	0.22	0.46	0.11	0.43	0.11
CaO	49.75	1.77	50.46	2.16	53.55	1.10	51.17	1.26

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 9. Composición química de arenas de dunas costeras de la Península de Yucatán.

DUNAS COSTERAS DE YUCATÁN								
	Progreso		Sisal		Chabihau		Chicxulub	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	0.34	0.07	0.35	0.06	0.291	0	0.359	0
TiO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.021	0	0.025	0
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.002	0	0.003	0
Fe ₂ O ₃	0.06	0.02	0.07	0.01	0.046	0	0.056	0
K ₂ O	0.02	0.00	0.02	0.00	0.014	0	0.019	0
MgO	1.33	0.40	1.27	0.02	1.852	0	4.171	0
Na ₂ O	0.13	0.00	0.53	0.09	0.651	0	0.374	0
CaO	53.35	0.19	54.24	0.16	52.56	0	50.522	0

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

Tabla 10. Composición química de las diferentes áreas de estudio en México.

	SONORA		BAJA CALIFORNIA SUR		GOLFO NORTE		GOLFO SUR		YUCATÁN	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
SiO ₂	86.58	10.42	72.54	1.51	0.18	0.09	59.69	1.68	0.33	0.05
TiO	0.29	0.18	0.28	0.14	35.84	16.23	0.88	0.03	0.02	0.00
Al ₂ O ₃	5.45	5.65	12.79	3.01	0.55	0.50	9.55	1.71	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	1.85	1.44	1.54	0.69	62.13	15.79	5.29	0.16	0.06	0.01
K ₂ O	1.65	0.34	1.82	0.89	0.06	0.02	1.37	0.23	0.02	0.00
MgO	0.73	0.68	0.85	0.35	0.84	0.37	3.46	0.40	2.55	1.17
Na ₂ O	1.33	1.11	3.23	0.82	0.31	0.10	1.89	0.39	0.45	0.17
CaO	2.12	1.71	6.95	3.41	0.07	0.03	17.86	3.80	51.59	1.68

σ = desviación estándar; los valores están dados en porcentaje.

ANEXO II

Zona I

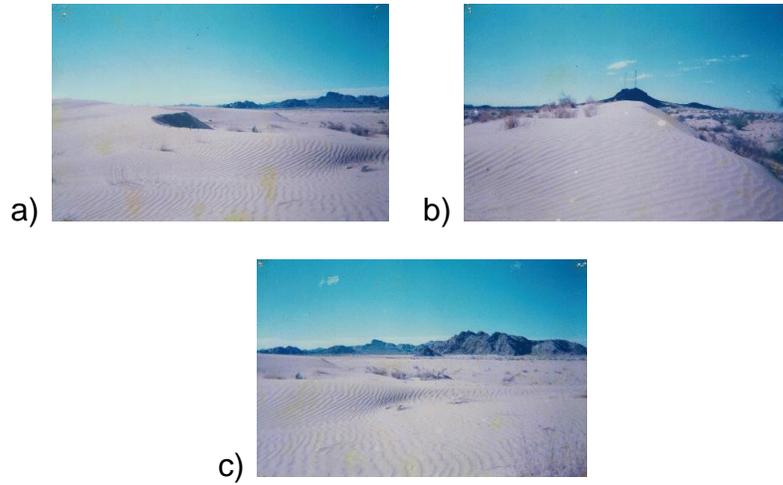


Lámina I. Dunas continentales en El Pinacate, Sonora, México. a) dunas parabólicas b) dunas longitudinales y parabólicas; c) dunas longitudinales

Zona II

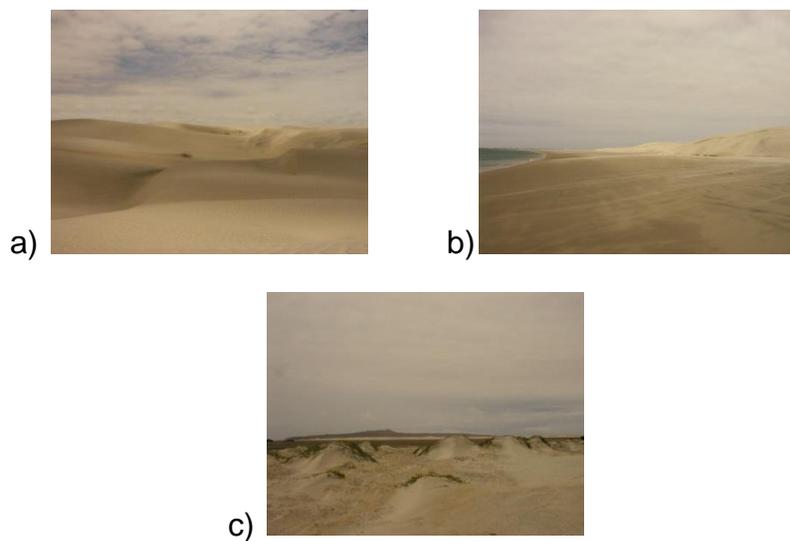


Lámina II. Dunas costeras y continentales en El Vizcaino BCS, México. a) dunas parabólicas, barján Isla de Arena; c) dunas transversales Laguna Manuela; c) dunas embrión vegetadas La Bombita

Zona III

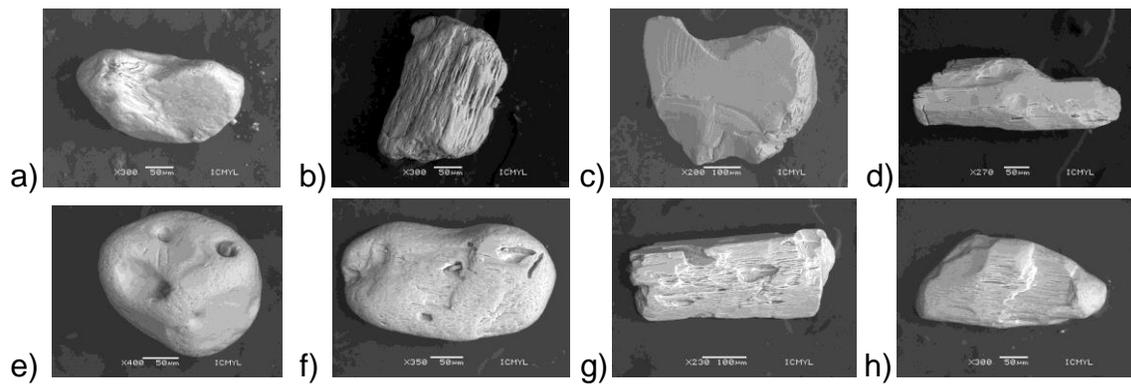


Lámina III . Imágenes del MEB de ilmenita a, b Localidad Miramar; c- e Localidad Barra del Tordo; f- h Tepehuajes. Tamaulipas, México. El incremento en TiO está asociado a la presencia de este mineral derivado de rocas basálticas.

Zona IV

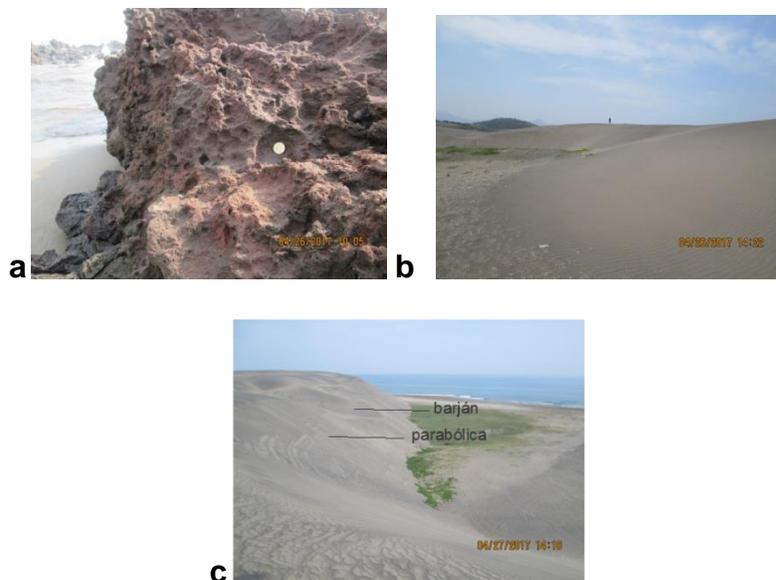


Lámina IV. Imágenes de campo. Dunas costeras, a) roca andesítica que influye en la composición geoquímica de la arena de dunas costeras; b) duna parabólica en Villa Rica; c) dunas barján y parabólicas en Chachalacas, Veracruz, México

Zona V

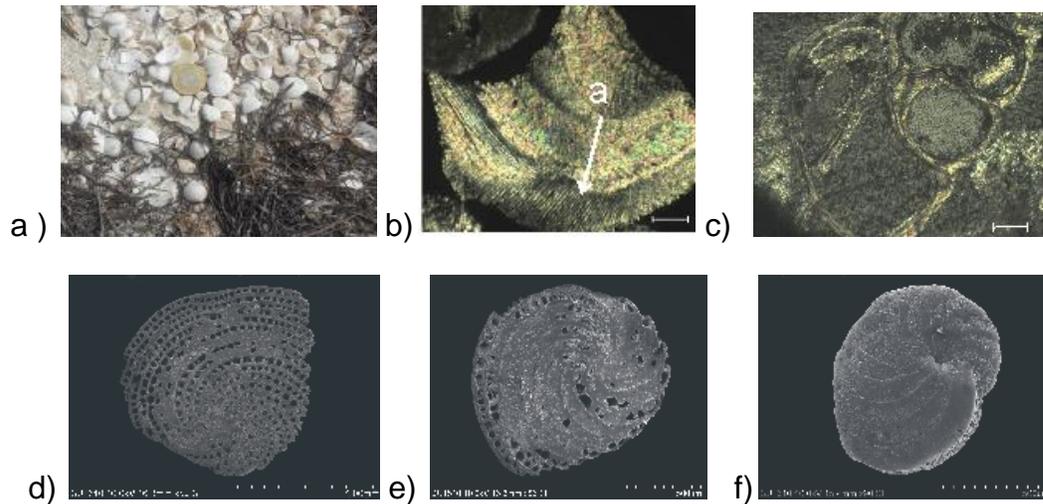


Lámina V. Componentes biogénicos en dunas de Yucatán. a) Fragmentos de moluscos en Telchac b) aragonita en restos de bivalvos vistos en microscopio estereoscópico (ME) a= aragonita la barra = 500 micras c) gasterópodo visto en ME barra= 500 micras d-f) vista de *Archaias angulatus* foraminífero bentónico a través del MEB., Progreso, Yucatán, México