



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

**ANÁLISIS DE TRANSPORTE Y COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS RECIENTES DE  
LAS PLAYAS DE NAUTLA Y LA CIUDAD DE VERACRUZ, EN EL GOLFO DE MÉXICO.**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**(GEOLOGÍA MARINA)**

**PRESENTA:**

**ING. NATALHY PINEDA OLMEDO**

**TUTOR PRINCIPAL**

**Dr. Armstrong-Altrin John S., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología**

**MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:**

**Dr. Juan José Kasper Zubillaga, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología**

**Dr. Arturo Carranza Edwards, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología**

**Dra. Ofelia Morton Bermea, Instituto de Geofísica**

**Dr. Raymundo G. Martínez Serrano, Instituto de Geofísica**

**MÉXICO, D.F. JULIO 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



*...Por mi raza hablará el espíritu...*

*“...Te agradezco a ti Dios por darme a mis padres, mis hermanos, mi familia y amig@s que tengo, los llevo y llevaré en mi corazón todos los días de mi vida. Gracias por permitirme aprender de las experiencias que he vivido a lo largo de este tiempo y estaré siempre agradecida porque sé que me darás la oportunidad de seguir en mi felicidad compartiendo mi vida con la persona que ahora me acompaña y la familia que formaremos juntos. También te agradezco por las fuerzas que me darás para salir adelante con éxito en mi vida y profesión...”*

*¡Gracias Dios!*

## AGRADECIMIENTOS

- Quiero agradecerle a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), especialmente al Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología por aceptarme como estudiante y brindarme un mejor nivel de educación y preparación profesional.
- Agradezco el apoyo financiero al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) otorgado durante la realización de mis estudios de maestría y proyecto de tesis.
- Al proyecto institucional de ICMyL No. 616; contribución No. 5 por el apoyo con el transporte y viáticos para el trabajo de campo en las áreas de estudio, realizados en los años 2011 y 2012.
- Al proyecto PAPIIT-UNAM No. IA101213; contribución No. 3 por el apoyo con los análisis de muestras que formaron parte del trabajo de laboratorio (SEM-EDS) en el 2013.
- De manera especial al Dr. Armstrong-Altrin por su gran interés, dedicación y paciencia recibida durante la elaboración de este proyecto de tesis y mi formación profesional.
- A los miembros de mi jurado: Dr. Juan J. Kasper Zubillaga, Dr. Arturo Carranza Edwards, Dra. Ofelia Morton Bermea, Dr. Raymunfo G. Martínez Serrano por su apoyo incondicional, su valioso tiempo, sus comentarios y sugerencias que ayudaron a enriquecer este proyecto de tesis, en los cuatro semestres de este posgrado. ¡Muchas gracias!
- Ing. Eduardo A. Morales de la Garza y Ricardo Martínez Domínguez por su gran apoyo con los análisis de partículas con difracción laser.

- A la Biol. Yolanda Hornelas Orozco por su apoyo con la toma de fotografías con el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) en el Instituto de Ciencias de Mar y Limnología de la UNAM.
- Al M. en C. Héctor M. Alexander Valdés del laboratorio de Físico-Química Marina del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología de la UNAM por su apoyo con la molienda de las muestras.
- Al Ing. Teodoro Hernández por su apoyo con la toma de fotografías mediante el Microscopio Petrográfico en el Instituto de Geofísica de la UNAM.
- Al Ing. Carlos Linares López por su apoyo con el análisis de las muestras por medio del SEM-EDS en el laboratorio Universitario de Petrología del Instituto de Geofísica de la UNAM.
- Al Lic. Rufino Lozano Santa Cruz y la Quím. Patricia Girón García por los análisis los análisis de elementos mayores por medio de FR-X en el laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM.
- A la Dra. Teresa Pi I Puig del Instituto de Geología por su apoyo con los análisis de DRX en el laboratorio de Difracción de Rayos X.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN I.....</b>	<b>5</b>
1.1. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO .....	6
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	8
1.3. OBJETIVOS .....	8
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
1.4. HIPOTESIS .....	9
1.5. ANTECEDENTES .....	9
<b>GENERALIDADES II.....</b>	<b>12</b>
2.1. HIDROLOGÍA .....	12
2.1.1. NAUTLA .....	12
2.1.2. VERACRUZ .....	13
2.2. GEOLOGÍA REGIONAL DE VERACRUZ.....	15
2.2.1. PALEOZOICO.....	15
2.2.2. MESOZOICO .....	15
2.2.3. CENOZOICO .....	17
<b>TÉCNICAS ANALÍTICAS III.....</b>	<b>20</b>
3.1. TRABAJO DE CAMPO.....	20
3.2. TRABAJO DE LABORATORIO .....	22
3.2.1. Análisis de microtexturas .....	22
3.2.2. Análisis Granulométrico.....	23
3.2.3. Petrografía .....	27
3.2.4. Geoquímica de elementos mayores, traza y Tierras Raras.....	27
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN IV .....</b>	<b>30</b>
4.1. ANALISIS DE MICROTERTURAS .....	30

4.1.1. Microtexturas de origen mecánico .....	32
4.1.2. Microtexturas de origen mecánico/químico .....	32
4.1.3. Microtexturas de origen químico por disolución .....	33
4.1.4. Microtexturas de origen químico por precipitación .....	33
4.1.5. PALEOAMBIENTE .....	33
<b>4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....</b>	<b>40</b>
4.2.1. Parámetros Texturales.....	40
4.2.2. Ambientes de depósito.....	43
<b>4.3. ANÁLISIS PETROGRAFICO.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4. ANÁLISIS GEOQUÍMICO .....</b>	<b>51</b>
4.4.1. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES .....	51
4.4.1.1. Clasificación geoquímica .....	54
4.4.1.2. Paleo-intemperismo.....	58
4.4.2. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA .....	59
4.4.2.1. Elementos litófilos de radio iónico grande (LILE): Rb, Ba y Sr. ....	60
4.4.2.2. Elementos de alto potencial iónico (HFSE): Zr, Nb, Hf, Th y Sc.....	64
4.4.2.3. Elementos traza de transición (TTE) V, Cr, Co, Cu, Ni, y Sc .....	64
4.4.3. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TIERRAS RARAS .....	65
4.4.4. PROCEDENCIA .....	67
6.1.4.1. Características de la roca fuente .....	69
6.1.4.2. Identificación de minerales pesados .....	71
4.4.5. ANÁLISIS DE ANOVA .....	74
<b>CONCLUSIONES V .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>84</b>



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las dos áreas de estudio (Nautla y la Cd. de Veracruz) en la línea de costa del estado de Veracruz.....	7
Figura 2. Sub-cuencas del estado de Veracruz donde se encuentran las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua.....	14
Figura 3. Carta Geológico-Minera del Estado de Veracruz (INEGI, 2008).....	19
Figura 4. Perfil de playa (modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994).....	21
Figura 5. Muestreo de la playa de Nautla.....	21
Figura 6. Muestreo del Río Nautla a 4km aguas arriba de la desembocadura.....	21
Figura 7. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.....	23
Figura 8. Microtexturas de origen mecánico: a) y b) Fracturas concoidales grandes de la playa de Nautla c) Contornos sub-angulares de la playa de Nautla, d) Cavidades medianas y pequeñas de la playa de la Cd. de Veracruz, e) Magnificación de la anterior, y f) Contornos redondeados de los sedimentos de la Cd. de Veracruz (Kasper-Zubillaga, <i>et al.</i> , 2005; Madhavaraju <i>et al.</i> , 2006 y 2009).....	34
Figura 9. Microtexturas de origen mecánico en la playa de Veracruz a) Contornos sub-redondeados, b) y c) Fracturas en forma de “V”, d) Superficie lisa de los granos, y e) Microtexturas planares. Por último f) Fracturas en forma de placa en la playa de Nautla (Madhavaraju <i>et al.</i> , 2009 y 2006; Moral-Cardona, <i>et al.</i> , 1997; Kasper-Zubillaga, 2009).....	35
Figura 10. Microtexturas de origen mecánico/químico: a) Microtextura de bajo relieve de la playa de Nautla, b) Microtextura de alto relieve de la playa de la Cd. de Veracruz, c) y d) adhesión de partículas a las superficies de los granos de cuarzo de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz respectivamente, e) y f) marcas de tipo Chatter, muy comunes en la playa de la Cd. de Veracruz (Peterknech y Tietz, 2011).....	36
Figura 11. Microtexturas de origen químico: a) cavidades por disolución de la playa de Nautla y b) grietas por cambios de temperatura en la playa de la Cd. de Veracruz. Microtexturas de origen químico: c) Glóbulos de sílice de la playa de Nautla y d) Películas de sílice de la playa de Nautla.....	37
Figura 12. Diagrama binario $Sk_{\phi}/Mz_{\phi}$ de discriminación de ambientes sedimentarios litorales propuesto por Moiola y Weiser (1968) y Halls y Hoyt (1969).....	43
Figura 13. Diagrama binario $Mz_{\phi}/Sk_{\phi}$ de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Moiola y Weiser (1968).....	44
Figura 14. Diagrama binario $Mz_{\phi}/\sigma_1$ de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Fiedman (1967).....	45
Figura 15. En las láminas delgadas, los cuarzos son señalados con flechas azules, y en rojo los diferentes líticos y otros minerales. a) Lítico volcánico de la playa de Nautla, b) Lítico volcánico del Río Nautla, c) Lítico sedimentario de la playa de la Cd. de Veracruz, d) Líticos metamórficos de la playa de Nautla, e) Minerales pesados de la playa de Nautla, f) Feldespato de la playa de la Cd. de Veracruz.....	47
Figura 16. Los cuarzos son señalados con flechas azules, y en rojo los diferentes líticos, biógenos y otros minerales. a) Plagioclasas, b), c) y d) biógenos de la playa de la Cd. de Veracruz.....	48
Figura 17. Diagrama de clasificación de Folk (1974) para las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y el Río Nautla. CT=cuarzo total, FT=K+P (K=feldespato potásico, P=plagioclasas) y LT=líticos totales.....	50
Figura 18. Diagrama ternario de Dickinson (1985), Lv-Ls-(Lm+Lp) para las arenas de playa y río. Lv=Líticos volcánicos, Ls=Líticos sedimentarios, Lm=Líticos metamórficos, Lp=Líticos plutónicos.....	50
Figura 19. Diagrama ternario de Dickinson (1985), MP-CT-LT para las arenas de playa y río. MP= Minerales Pesados, CT=Cuarzo total, LT=Líticos totales.....	50

Figura 20. Diagrama de los elementos mayores normalizados con Corteza Continental Superior. Los valores fueron tomados de Taylor y McLennan (1985). .....	53
Figura 21. Diagrama de $Al_2O_3/TiO_2$ versus $SiO_2$ , para clasificar los tipos de sedimento de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla (Le Bas <i>et al.</i> , 1986). .....	54
Figura 22. Diagrama bivariado de $TiO_2$ versus $Fe_2O_3$ de las arenas de la playa de Veracruz. ....	55
Figura 23. Clasificación geoquímica de las arenas de playa, utilizando el diagrama: $\text{Log}(SiO_2/Al_2O_3) - \text{Log}(Na_2O/K_2O)$ (Pettijohn <i>et al.</i> , 1972). .....	56
Figura 24. Clasificación geoquímica de las arenas de playa, utilizando el diagrama: $\text{Log}(SiO_2/Al_2O_3) - \text{Log}(Fe_2O_3/K_2O)$ (Herrón, 1988). .....	57
Figura 25. Diagrama bivalente de $Al_2O_3$ y $SiO_2$ , para la madurez de los arenas de playa. ....	58
Figura 26. Diagrama ternario de $Al_2O_3 - CaO + Na_2O - K_2O$ que indica el grado de alteración de las arenas de acuerdo a su composición (Nesbitt y Young, 1984). ....	59
Figura 27. Diagrama binario $Rb/Al_2O_3$ vs $K_2O/Al_2O_3$ para los sedimentos de la playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla. ....	63
Figura 28. Diagrama binario $Ba/Al_2O_3$ vs $K_2O/Al_2O_3$ para los sedimentos de la playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla. ....	63
Figura 29. Diagrama normalizado de los elementos traza de los sedimentos de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla, con el promedio de la Corteza Continental Superior (Taylor y McLennan, 1985). .....	65
Figura 30. Diagrama normalizado de Condrita y tierras raras de las arena de la playa de Veracruz. Los valores normalizados de Condrita son de Taylor y McLennan (1985). ....	69
Figura 31. Diagrama de función de discriminación para la procedencia de los sedimentos (Roser and Korsch, 1988). Función discriminante 1 = $(-1.773 \cdot TiO_2) + (0.607 \cdot Al_2O_3) + (0.760 \cdot Fe_2O_3) + (-1.500 \cdot MgO) + (0.616 \cdot CaO) + (0.509 \cdot Na_2O) + (-1.224 \cdot K_2O) + (-9.090)$ ; función discriminante 2 = $(0.445 \cdot TiO_2) + (0.070 \cdot Al_2O_3) + (-0.250 \cdot Fe_2O_3) + (-1.142 \cdot MgO) + (0.438 \cdot CaO) + (1.475 \cdot Na_2O) + (-1.426 \cdot K_2O) + (-6.861)$ . .....	70
Figura 32. Diagrama bivalente de la relación $Th/Sc$ versus $Zr/Sc$ (McLennan <i>et al.</i> , 1993. La adición de zircón en el sedimento es observada en la tendencia 2. ....	71
Figura 33. En las muestras Nau1 y Nau3 de la playa de Nautla se presentan minerales como: (a) 1. Anfíboles, 2. Plagioclasas, 3. Magnetita, 4. Ilmenita, 5. Cuarzo. (b) 1. Plagioclasas, 2. Micas, 3. Ilmenita, 4. Magnetita, 5. Piroxenos, 6. Cuarzo. 7. Micas. En las muestras Ver 6 y Ver 14 para la playa de Veracruz se identificaron minerales como: (c) 1. Cuarzo, 2. Plagioclasas, 3. Anfíboles, 4. Micas. (d) 1. Cuarzo, 2. Plagioclasas, 3. Micas, 4. Anfíboles. ....	72
Figura 34. Las ilustraciones de la izquierda son los minerales: a) Magnetita c) Ilmenita, e) Zircón. Las ilustraciones de la derecha son los espectros correspondientes emitidos por los minerales que indican las concentraciones de los elementos en un análisis semi-cuantitativo: b), d) y f). ....	74
Figura 35. Áreas fuente de donde fueron compilados los datos geoquímicos en este estudio para identificar la probable roca fuente. Los datos citados son los siguientes: .....	80

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de la ubicación de muestras de las playas de Nautla (Nau), Veracruz (Ver) y Río Nautla (Rnau). .....	22
Tabla 2. Microtexturas en sedimentos de la playa de Nautla y la playa de la Cd. de Veracruz. ....	31
Tabla 3. Resultados del análisis granulométrico de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla en el Golfo de México. ....	40
Tabla 4. Tamaño grafico promedio ( $Mz \phi$ ) de las arenas de la playa de Nautla y Veracruz, así como del Río Nautla. ....	41
Tabla 5. Valores de Desviación estándar de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla. ....	42
Tabla 6. Valores de grado de asimetría de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla.....	42
Tabla 7. Valores de curtosis de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla. ....	42
Tabla 8. Porcentaje modal de los minerales y lútics presentes en la fracción arenosa de los sedimentos de la playa de Nautla, Río Nautla y la playa de la Cd. de Veracruz. ....	49
Tabla 9. Concentraciones de elementos mayores (% en peso) de las muestras de las playas de Nautla (NAU), la Cd. de Veracruz (Ver) y Río Nautla (Rnau). ....	52
Tabla 10. Concentración de Elementos Traza en ppm para los sedimentos de la playa de Nautla (Nau), Río Nautla (Rnau) y la playa de la Cd. de Veracruz (Ver). ....	61
Tabla 11. Concentración de elementos de Tierras Raras en ppm de la playa de Nautla, Río Nautla y la playa de Veracruz. ....	68
Tabla 12. Concentración en % de los elementos mayores de los grupos: Gr4: Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gómez-Tuena <i>et al.</i> , 2003), Gr5: Cofre de Perote, Veracruz de composición Basáltica-Andesítica (Orozco-Esquivel <i>et al.</i> , 2007), Gr6: Caldera Los Humeros, Puebla (Verma, 2001), Gr7: Pico de Orizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010) y Gr8: Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez. 2010). Los valores: 0.00 significa que no fueron analizados en los estudios. ....	76
Tabla 13. Concentración en ppm de los elementos trazas y tierras raras de los diferentes grupos: Gr4: Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gómez-Tuena <i>et al.</i> , 2003), Gr7: Pico de Orizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010) y Gr8: Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez. 2010). Los valores: 0.00 significa que no fueron analizados en los estudios. ....	77
Tabla 14. Resultados de la aplicación de ANOVA a un 99% de nivel de confianza para los datos de la concentración de los elementos mayores, traza y tierras raras de la Playa de Nautla (Gr1), Playa de Veracruz (Gr2), Río Nautla (Gr3), Palma Sola en Veracruz (Gr4), Cofre de Perote en Veracruz (Gr5), Caldera Los Humeros en Puebla (Gr6), Pico de Orizaba en Veracruz (Gr7) y Sierra Negra en Puebla (Gr8). ....	79

## **RESUMEN**

Las áreas de estudio de la playa de Nautla y la Cd. de Veracruz se localizan en la parte occidental del Golfo de México. La playa de Nautla se encuentra en una región de diversas estructuras volcánicas de composición basáltica a andesítica, la playa de la Cd. de Veracruz por su parte se encuentra en una región compuesta por aluvión y rocas sedimentarias. En este trabajo se realizó un análisis de las variaciones composicionales y se determinó la procedencia de los sedimentos recientes de la playa de Nautla y la Cd. de Veracruz.

Como trabajo de campo se realizó una colecta de 15 muestras en cada una de las playas y 10 muestras en el Río Nautla; como trabajo de laboratorio se realizaron los análisis de microtexturas, granulometría (tamaño de grano), petrografía, geoquímica de elementos mayores, trazas y Tierras Raras. Los resultados del análisis de microtexturas indican que los sedimentos de la playa de Nautla son transportados mayormente por medios fluviales, es decir, transportados por ríos, razón por la que en su clasificación granulométrica presenta arenas gruesas, moderadamente clasificadas. Sin embargo, la playa de la Cd. de Veracruz, está dominada por un transporte principalmente eólico, los sedimentos presentan una clasificación granulométrica de arenas finas bien clasificadas. Desde el punto de vista petrográfico, la playa de la Cd. de Veracruz muestra un alto contenido de cuarzo, clasificando las arenas como litoarenitas félsicas; la playa de Nautla y el Río Nautla se clasifican como litoarenitas.

En los análisis geoquímicos se observa que las variaciones en el contenido de sílice en la playa de la Cd. de Veracruz son más elevadas, por lo tanto, indica un origen ígneo de composición félsica. Mientras que las muestras de la playa de Nautla y Río Nautla indican una composición de intermedia a básica. En la relación de los elementos mayores con la corteza continental superior (UCC) se observa un ligero enriquecimiento en las arenas de Nautla y Río Nautla en el contenido de  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ , lo cual nos indica una concentración de minerales pesados. Las variaciones

## **INTRODUCCIÓN**

---

en los elementos traza de transición indicaron que las arenas de la Cd. de Veracruz tienen una composición félsica debido a las bajas concentraciones de Ni, Cr y V sin embargo las arenas de Nautla tienen mayores concentraciones e indican una composición más básica. Los patrones de tierras raras normalizados con condrita indicaron que las arenas de la Cd. de Veracruz provienen de una fuente félsica (como riolitas) debido a los valores elevados en la relación LREE/HREE y la anomalía negativa de Eu, a diferencia de la playa de Nautla que muestra anomalía positiva de Eu y los valores en la relación LREE/HREE son más bajos indicando una composición básica (basaltos).

Palabras clave: Procedencia, Transporte, Sedimentos, Playa, Geoquímica, Elementos mayores, elementos traza.

### ABSTRACT

*The areas of study, Nautla and Veracruz country beaches, are located in the western part of the Gulf of Mexico. Nautla Beach is located in a region of various volcanic structures from basaltic to andesitic composition, while Veracruz country Beach is in a region composed of alluvium and sedimentary rocks. In this work, an analysis of compositional variations was performed and the origin of recent sediments Nautla and Veracruz country beaches was determined.*

*As fieldwork, a collection of 15 samples in each of the beaches and 10 samples in Nautla River. As labwork, microtextures analysis, grain size (grain size), petrography, geochemistry of major element, trace and rare earth elements were performed. The microtextures analysis results indicate that the Nautla Beach sediments are transported mostly by fluvial means, in other words, transported by rivers. Hence, its granulometric classification presented in fine sand, moderately sorted. However, in the Veracruz country Beach, transport is dominated mainly by wind and the sediment particle size shows a classification of well sorted fine sands. From the petrographic point of view, Veracruz country Beach shows a high content of quartz sands classified as felsic litho-arenites; whereas Nautla Beach and Nautla River are classified as litho-arenites.*

*The geochemical analysis shows that variations in the silica content in Veracruz country Beach is higher; therefore, indicate an igneous origin of felsic composition. While Nautla Beach and River sample indicate intermediate to basic composition. In the relationship of the major elements in the Upper Continental Crust (UCC) is a slight enrichment in the Nautla Beach and River sands in  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $MgO$  content, which indicates a concentration of heavy minerals. Variations in transition trace elements indicated that Veracruz country Beach sands have felsic composition due to the low concentrations of Ni, Cr and V. However, Nautla sands have higher concentrations of these elements and indicate a more basic composition. Rare earth patterns, normalized with condrita, indicated that the Veracruz country Beach sands are from a felsic source (such as*

## **INTRODUCCIÓN**

---

*rhyolites) due to higher values in relation LREE/HREE and negative Eu anomaly, unlike Nautla beach, which does show the positive Eu anomaly and values in the relationship LREE/HREE are lower, indicating a basic composition (basalts).*

*Key words: Provenance, Transport, Sediments, Beach, Geochemistry, Major elements, Trace elements.*

# INTRODUCCIÓN I

El Golfo de México es una línea de costa muy extensa que ha sido estudiada en grandes extensiones. En el presente estudio se seleccionaron dos áreas, la playa de Nautla y la playa de la ciudad de Veracruz, en el estado de Veracruz (en este trabajo, nos referimos a la playa de la ciudad de Veracruz solo con el nombre de Cd. de Veracruz). La selección de las dos áreas de estudio se realizó tomando en cuenta los diferentes tamaños de grano a simple vista y la coloración del sedimento de las playas, esta última se relaciona con el contenido de los minerales pesados. La finalidad es obtener información petrográfica y geoquímica para realizar una comparación entre las dos playas seleccionadas e interpretar las diferencias que presentan una con respecto a otra.

La procedencia se utiliza para incluir todos los factores relacionados con la producción de sedimentos, es decir, los materiales derivados de la roca fuente, las cuales tienen un conjunto de minerales que pueden caracterizar la roca (Taylor y McLennan, 1985; Bathia y Crook, 1986; McLennan, 1989; Zimmermann and Spalletti, 2009; Armstrong-Altrin and Verma, 2005). Los sedimentos de playa representan el producto final de diferentes procesos que se efectúan desde la roca fuente hasta el ambiente de depósito. Generalmente estos sedimentos pueden tener la misma composición que la roca fuente. De igual forma, pueden presentar modificaciones en su composición debido a pérdidas o enriquecimiento de materiales por el clima, el relieve, procesos de transporte (marino, fluvial, eólico y glaciar) y/o diagénesis (McLennan, 1989; Le Pera y Critelli, 1997; Carranza-Edwards y Rosales-Hoz, 1995; Carranza Edwards *et al.*, 2001; Critelli *et al.*, 2003; Kasper-Zubillaga y Carranza Edwards, 2005; Carranza- Edwards, *et al.*, 2005). Los análisis texturales, los estudios



## **INTRODUCCIÓN**

---

de formas, tamaños, así como la composición geoquímica de los sedimentos, pueden aportar información para determinar la procedencia de la roca fuente de la cual derivaron (Dickinson, 1986; Armstrong-Altrin *et al.*, 2004).

Las áreas de estudio se encuentran en la parte central del estado de Veracruz y se encuentran dentro de los límites de la región de la Faja Volcánica Transmexicana. En esta región se encuentra una cordillera conformada por los estratovolcanes Cofre de Perote, La Gloria, Las Cumbres y el volcán activo Pico de Orizaba (Carrasco-Núñez, 1994). Esta cordillera aporta grandes cantidades de sedimentos que se encausan en varios ríos que desembocan al Golfo de México.

### **1.1. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO**

Las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz en el Golfo de México, se ubican en la parte central del estado de Veracruz (Figura 1), las cuales se encuentran separadas a una distancia de 135 km aproximadamente.

La playa de Nautla se ubica en el municipio de Nautla, colinda al noroeste con el municipio de Tecolutla, al suroeste con Martínez de la Torre, el sureste con Vega de Alatorre y el este con el Golfo de México. A partir de la Cd. De México se puede llegar tomando la salida México 140D hacia Perote, incorporándose a la autopista Puebla-Perote (carretera Federal 140) con indicación a Tepeyahualco. Posteriormente se toma la salida a Martínez de la Torre (México 129) con dirección al municipio de Nautla. El muestreo se realizó sobre la línea de costa entre las coordenadas 20°12'46.47"N, 96°45'33.21"O y 20°11'40.83"N, 96°44'24.37"O a una distancia de 200 metros entre cada muestra.

La playa de la Cd. de Veracruz se ubica en el municipio de Veracruz, se delimita al norte con el municipio La Antigua y el Golfo de México, al sur con el municipio de Boca del Río, al este con el Golfo de México y al oeste con los municipios de Manlio Fabio Altamirano y Paso de Ovejas. A partir de la Cd. De México se puede llegar tomando la

salida México 140D a la autopista México-Puebla (carretera Federal 150) hasta llegar a la autopista Orizaba-Puebla, incorporándose a la autopista Córdoba-Puebla hasta llegar a Boca del Río en la Cd. de Veracruz. El muestreo se realizó sobre la línea de costa entre las coordenadas 19°10'51.12"N. 96°07'19.05"O y 19°09'56.91"N, 96°06'20.79"O a una distancia de 200 metros entre cada muestra.

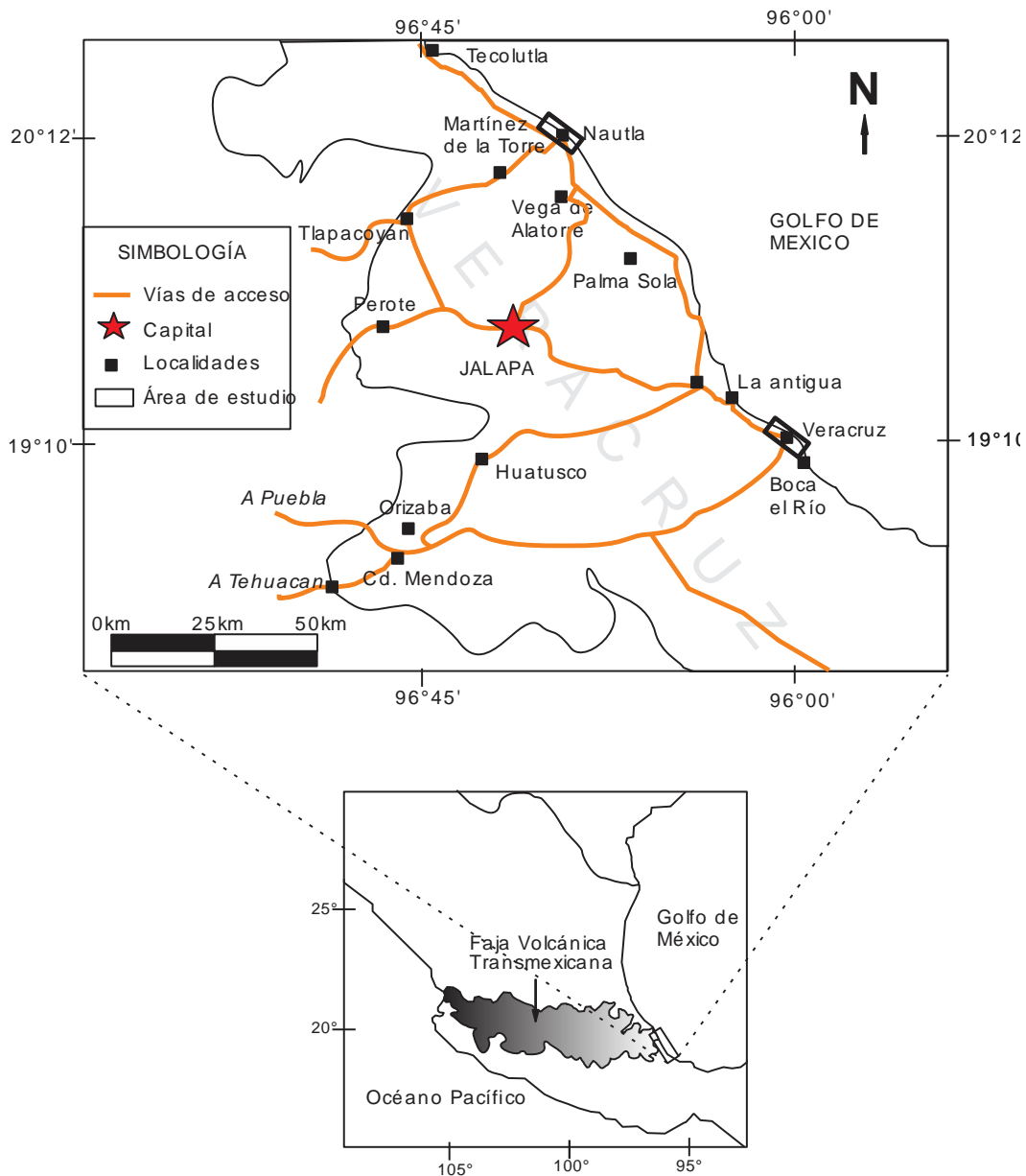


Figura 1. Ubicación de las dos áreas de estudio (Nautla y la Cd. de Veracruz) en la línea de costa del estado de Veracruz en el Golfo de México.

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

Los estudios de los sedimentos de playa son importantes para conocer la dinámica, composición y variaciones que se presentan a través del tiempo en las costas del Golfo de México. Los sedimentos de estas playas también forman parte de los conocidos “*depósitos de placeres*” que corresponden a una concentración gravitacional de minerales pesados por diferentes agentes de transporte, los cuales pueden ser estudiados para un posible aprovechamiento. Por esta razón, se muestra el interés de hacer una descripción de los sedimentos que conforman las playas en cuanto a su transporte y composición para determinar su procedencia.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar detalladamente las variaciones físicas y químicas de los sedimentos de las playas de Nautla y la Ciudad de Veracruz para determinar la procedencia, tipo de transporte y composición de los sedimentos recientes.

#### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las microtexturas de los sedimentos de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz, para inferir el tipo de transporte que presentan cada una de ellas.
- A partir de los estudios granulométricos y petrográficos de los sedimentos de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz, se evaluará el tamaño de grano y la influencia terrígena y/o biógena para interpretar las diferencias entre las playas.
- Realizar análisis geoquímicos de elementos mayores, traza y Tierras Raras; para determinar la naturaleza de la roca fuente.

## INTRODUCCIÓN

---

- Evaluar el contenido de minerales pesados de los sedimentos de la playa de Nautla para obtener información acerca de la procedencia y composición de las rocas fuente.
- Analizar y comparar datos geoquímicos de otras fuentes citadas de las regiones aledañas a las áreas de estudio con los obtenidos en este trabajo, para describir comportamientos análogos y/o variaciones composicionales.

### 1.4. HIPOTESIS

La región donde se encuentra la playa de Nautla está compuesta generalmente por rocas de composición máfica. De acuerdo a la coloración gris oscuro de los sedimentos, se espera una composición máfica a intermedia con un alto contenido de minerales pesados. La región donde se ubica la playa de la Cd. de Veracruz predominan afloramientos de composición intermedia y félsica, por lo tanto se espera que los sedimentos presenten una composición similar.

### 1.5. ANTECEDENTES

En el Golfo de México se han realizado estudios geoquímicos y petrográficos que nos permiten conocer la composición de los sedimentos y las variaciones que se presentan a lo largo de las costas. Los estudios que se han hecho alrededor de las áreas seleccionadas para este trabajo son los siguientes: Self (1975) realizó un estudio de los cambios petrológicos en sedimentos fluviales en la cuenca de drenaje del Río Nautla. Determinó que el gradiente de la cuenca es el factor importante que determina la textura del sedimento, así como las fluctuaciones de descarga. Otro estudio realizado por el mismo autor (Self, 1977), donde se estudiaron las variaciones en la costa del área de Nautla, concluyó que la textura y composición de las arenas indican una fuente fluvial y el sorteo selectivo que se presenta en la boca de río con fracciones más finas y ligeras son dispersados por las corrientes litorales.

Kasper-Zubillaga *et al.* (1999) realizaron análisis petrográficos y geoquímicos de arenas del oeste del Golfo de México a lo largo de 60km desde Tampico hasta la Cd. de Veracruz, Ver., las cuales se encuentran en diferentes tipos de ambientes sedimentarios: playa, dunas y fluviales (ríos). En estos estudios, se observó que las arenas de los ambientes fluviales y de playa presentaron minerales pesados debido a la alta energía de transporte que presentan estos ambientes. Sin embargo en los ambientes de duna presentaron menos minerales pesados y cuarzo debido a la selectividad del viento. Los resultados geoquímicos de los tres tipos de ambientes sedimentarios indicaron la presencia de materiales de origen ígneo de la Faja Volcánica Transmexicana.

Kasper-Zubillaga y Dickinson (2001) realizó una comparación para establecer los criterios petrológicos que discriminen un ambiente deposicional y un sub-ambiente en las arenas de playa, duna y ríos de las costas del Golfo de México y las costas de Kapiti y Foxton en Nueva Zelanda. Mostró que los gráficos de Q-F-L son más útiles para discriminar las arenas de las playas y ríos de diversas rocas fuente. De igual forma con los datos petrográficos combinados por tres áreas costeras diferentes, sugiere que la discriminación es mejor cuando las arenas vienen de una fuente enriquecida en cuarzo superpuesta por fuentes volcánico-andesíticas como en el Golfo de México. Y la discriminación entre las arenas de playa, duna y río, se deben en parte a las variaciones del tamaño de grano.

Bahena-Majarrez *et al.* (2002) estudiaron sedimentos superficiales colectados cerca de la desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz en Golfo de México. Para observar las variaciones sedimentológicas y químicas espaciales y estacionales. Concluyeron que las mayores concentraciones de metales pesados observados fueron Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn.

Armstrong-Altrin (2009) realizó un estudio de petrografía y geoquímica de elementos mayores y traza (incluyendo Tierras Raras) de arenas de tres playas de México (Cazones, Acapulco y Bahía Kino) para determinar su procedencia. Concluyó mediante sus estudios que, las arenas de Cazones y Acapulco fueron derivadas de rocas félsicas e intermedias, mientras que las arenas de Bahía Kino se derivaron sólo de rocas félsicas

Armstrong-Altrin *et al.* (2012) realizaron un estudio petrográfico y geoquímico para observar las variaciones que se presentan a lo largo de tres playas en el oeste del Golfo de México. Las arenas en Playa Azul están dominadas por detritos sedimentarios provenientes de rocas félsicas. Las arenas de Tecolutla están dominadas por detritos sedimentarios y volcánicos provenientes de rocas intermedias. Y las arenas de la playa de Nautla están dominadas por detritos meramente volcánicos, provenientes de rocas basálticas y andesíticas. Todas las observaciones realizadas sugirieron que las arenas fueron aportadas por los ríos hacia las playas., debido a que son los factores más importantes que controlan la composición de las arenas de las playas.

# GENERALIDADES II

## 2.1. HIDROLOGÍA

El Golfo de México es un cuerpo de agua baja energía en comparación con los principales océanos. En términos generales, las olas de aguas profundas tienen periodos que van de 3 a 8 segundos y la altura de las olas rara vez son de 0.8 metros (Curry, 1960) Las mareas son diurnas con la máxima amplitudes diarias que oscilan entre 0.8 y 0.9 metros (Tamayo, 1962). Las condiciones de las olas y mareas pueden cambiar radicalmente por cortos períodos de tiempo cuando los huracanes o frentes fríos del Ártico llamados "nortes" entran al Golfo. Las direcciones de los vientos varían estacionalmente a lo largo de la costa oriental de México. Los vientos y las olas son desde el este-sureste durante la primavera y verano, y de norte-noreste durante el otoño e invierno (los datos son desde la Cd. de Veracruz hasta 100km al norte de Nautla, Tamayo, 1962). Por lo tanto, el flujo de las corrientes litorales va hacia el norte en primavera y verano y hacia el sur en otoño e invierno. La intensidad del viento es variable y puede alcanzar la fuerza del vendaval durante varios días en invierno cuando los "nortes" azotan la costa. Los huracanes también producen fuertes vientos ocasionales en verano y principios del otoño.

### 2.1.1. NAUTLA

La cuenca hidrológica del Río Nautla tiene un área aproximada de 3400 km<sup>2</sup>, la cual está distribuida en una pequeña porción en el estado de Puebla y otra gran parte en el estado de Veracruz (Self, 1975). El Río Nautla es uno de los pocos ríos que drenan en gran parte de las litologías volcánicas y desembocan al Golfo de México. La cuenca de drenaje del Río Nautla se origina en las pendientes del norte del volcán Cofre de

## GENERALIDADES

---

Perote a una altura de 3,750 metros y se extiende 150 kilómetros hacia el noroeste del Golfo de México. El perfil de la corriente del río Nautla se divide en 3 segmentos basados en el gradiente. Las cabeceras son el segmento más empinado que contiene corrientes de alta energía donde los sedimentos presentan cambios abruptos en la composición (Arroyo Borregos, Las Ánimas y El Suspiro), el segmento intermedio compuesto por arroyos afluentes (Río Trinidad, Río Bobos y Río María de la Torre) y por último el segmento costero que está formado por meandros que presentan baja energía (Río Nautla y estero Tres Encinos).

### 2.1.2. VERACRUZ

La cuenca del Río Jamapa tiene un área aproximada de 3,658 km<sup>2</sup>, se origina por los escurrimientos de los deshielos y lluvias que ocurren en las faldas del Pico de Orizaba a 4,700 msnm de composición dacítica y andesítica. En la Barranca Coscomatepec se bifurca para formar dos ríos: El Jamapa y el Cotaxtla, como a 10 kilómetros antes de su desembocadura, a la altura del poblado El Tejar, se unen nuevamente para formar uno solo denominado Jamapa, el cual recibe por su margen derecha al río Xicuintla y por la margen izquierda al Cotaxtla, alimentándose éste a su vez de los arroyos, Paso del Macho, Cuatro Caminos y de los ríos Atoyac y Seco (CONAGUA, 2002, 2005).



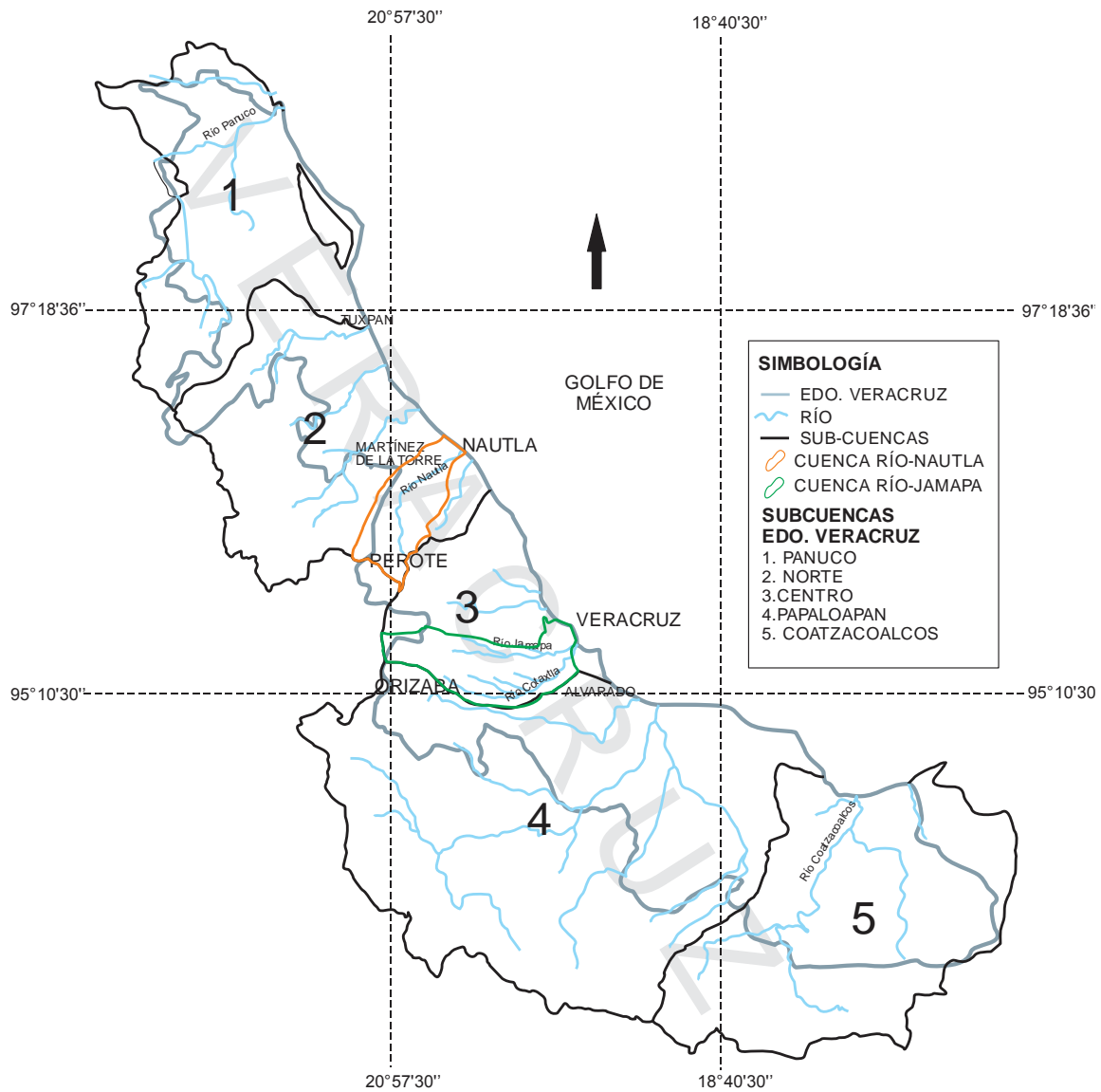


Figura 2. Sub-cuencas del estado de Veracruz donde se encuentran las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua.

## 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL DE VERACRUZ

La geología de la región oriental de México, en particular del estado de Veracruz (Figura 3) se describe de una manera general, siguiendo una secuencia cronológica del material más antiguo a lo más reciente en cuanto a sus formaciones litológicas.

### 2.2.1. PALEOZOICO

Las rocas paleozoicas componen el basamento de la secuencia de rocas sedimentarias e ígneas que se formaron durante el Mesozoico y Cenozoico. Iniciando en el noreste de Veracruz, aflora la roca más antigua que consiste en una secuencia de lutitas de color negro, en alternancia con capas de areniscas de grano medio y grueso, cementada por sílice y carbonato denominados Formación Guacamaya (Carrillo Bravo, 1965). En la parte sur del estado afloran rocas intrusivas de composición granítica que pertenecen al Complejo Batolítico de Chiapas (Coremi, 1994).

### 2.2.2. MESOZOICO

#### **Triásico**

En la parte central del estado, sobre las rocas del Paleozoico sobreyacen las rocas del Triásico representadas por una secuencia de origen continental compuesta por areniscas, limolitas, lutitas, lodolitas de colores rojo y café y conglomerados cuarcíticos de color gris, mejor conocida como lechos rojos de la Formación Huizachal (Imley *et al.*, 1948).

#### **Jurásico**

Durante el jurásico inferior, en la parte central del estado de Veracruz, se presentó el inicio de una transgresión que dio como depósito una alternancia de lutitas negras y limolitas con intercalaciones de arenisca y conglomerado, con abundantes fósiles de plantas y carbón en la parte superior de la capa, y en la parte media la presencia de rocas con amonitas; que componen la Formación Huayacocotla (Carrillo-Bravo, 1965).

En el jurásico medio se presentaron depósitos siliciclásticos de la Formación Cahuastas, que consiste en areniscas con alto contenido de cuarzo de color gris claro y conglomerados con fragmentos de rocas ígneas cementados en una matriz arenarcillosa (Carrillo-Bravo 1965). Hacia el jurásico superior el evento transgresivo dio origen a la Formación Tamán compuesta por calizas negras microcristalinas que alternan con capas de lutita gris (Heim, 1926), y la Formación Pimienta que consiste en calizas micríticas arcillosas de colores negro y blanco con lentes de pedernal negro y capas delgadas de bentonita (Cantú Chapa, 1984). Hacia el sur del estado, en los límites de Oaxaca aflora una secuencia de sedimentos terrígenos de conglomerado, arenisca y limolita de color rojo correspondientes a la Formación Todos Santos.

### **Cretácico**

Durante el cretácico inferior, se depositaron las Formaciones Tamaulipas Superior e Inferior y la Chinameca conformadas por calizas masivas de color claro con microfósiles y nódulos de pedernal. Hacia el Cretácico Medio, se depositaron las calizas de color blanco a gris claro, de ambientes de plataforma y arrecifal correspondientes a las formaciones El Abra (Kellum, 1930), Orizaba (Böse, 1899), que se compone particularmente de lodos calcáreos; y las Formaciones Cuesta del Cura y Capolucan, formadas por corales, rudistas, gasterópodos y esponjas.

En el Cretácico Superior se depositaron calizas arcillosas color gris claro, con intercalaciones de lutitas y capas de bentonita de color verde, así como un depósito de calizas arrecifales en las que se enfatiza la presencia de corales, algas y agrupamientos lenticulares de rudistas que corresponden a las Formaciones Méndez, San Felipe, Agua Nueva, Maltrata y Guzmantla. Todas las formaciones de cretácico se depositaron en su mayoría en la parte central del Estado de Veracruz, dando lugar a afloramientos pequeños en las partes norte y sur.

### 2.2.3. CENOZOICO

#### **Paleógeno**

Las rocas carbonatadas del mesozoico sufrieron una intensa erosión, y los sedimentos derivados fueron depositados en las cuencas terciarias de Veracruz, con espesores que llegaron a medir hasta más de 3,000 metros. Estos sedimentos constituyeron las Formaciones Velasco, Chicontepec, Guayabal, Tantoyuca, Horcones, Chapopote, La Laja, Depósito, Encanto, Concepción y Paraje Solo, las cuales conformaron la Planicie Costera del Golfo, compuesta principalmente por areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas, algunos conglomerados y estratos carbonatados.

#### **Neógeno**

Posteriormente, iniciaron las primeras manifestaciones de la actividad magmática y volcánica al norte de Cerro Azul donde afloran cuerpos de intrusivos de gabro y monzonita en forma de diques y chimeneas volcánicas, los cuales cortan a las secuencias de lutitas y areniscas del Terciario Medio e Inferior. Al noroeste afloran basaltos de composición alcalina que constituyen la Sierra Tantima. En la parte oeste de Poza Rica afloran importantes derrames de lava que cubren discordantemente a los depósitos sedimentarios del Terciario Inferior.

En la parte central del estado, donde se encuentran las localidades de Chiconquiaco, Juchique, Alto Lucero y Palma Sola, las rocas ígneas y volcánicas están constituidas por intrusivos y derrames de lava (López-Infanzón, 1991 y Ferrari *et al.*, 2005) que en conjunto forman la actual sierra de Chiconquiaco y el macizo volcánico de Palma Sola. Evidencias de la actividad volcánica reciente, es la presencia de dos conos de escoria muy bien preservados de edad Cuaternaria conocidos como Los Atlixcos, ubicados al NW de la población de Palma Sola, cabe mencionar que los derrames de lava de composición basáltica llegan hasta la costa del Golfo.

## Cuaternario

Actualmente, la actividad volcánica se concentra en la región central del estado de Veracruz, la cual pertenece a la provincia geológica de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), la cual está constituida por calderas y estratovolcanes, así como una gran cantidad de conos de escoria basáltica a riolítica.

Al oeste de la playa de la Cd. de Veracruz se encuentra la cordillera conformada por los grandes estratovolcanes Cofre de Perote (complejo volcánico de composición andesítica), La Gloria (complejo volcánico formado por estructuras en forma de caldera), Las Cumbres (complejo volcánico que contiene un domo de composición dacítica que aportó mucho sedimento al río Huitzilapan-Pescados) (Rodríguez, *et al.*, 2005) y el volcán activo Pico de Orizaba; con una orientación NE-SW. Dicha cordillera constituye el parteaguas, al oeste la región del Altiplano Mexicano, y al este la Planicie Costera del Golfo. Cabe mencionar que dicha cordillera aporta grandes cantidades de sedimentos volcanoclásticos que se encauzan en un gran número de ríos que desembocan en su mayoría al Golfo de México.

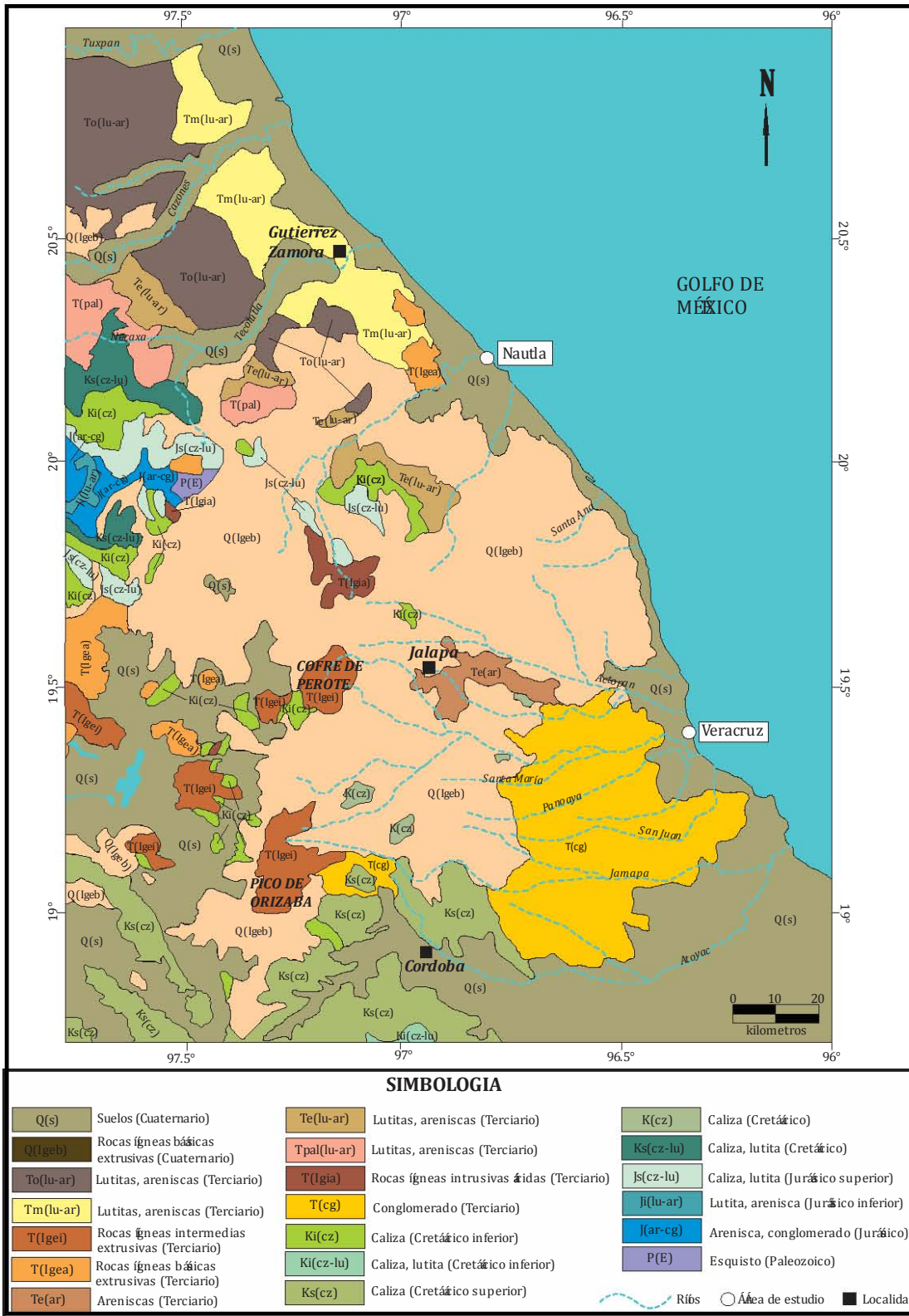


Figura 3. Carta Geológico-Minera del Estado de Veracruz (INEGI, 2008).

# TÉCNICAS ANALÍTICAS III

La metodología utilizada para lograr los objetivos del presente trabajo, se dividió en dos etapas. La primera consistió en la realización de trabajo de campo y la segunda en trabajo de laboratorio. En seguida se describen los métodos empleados en los procesos de análisis y equipo utilizados.

## 3.1. TRABAJO DE CAMPO

Se realizó el muestreo en las 2 playas seleccionadas (Nautla y la Cd. de Veracruz) del estado de Veracruz en el Golfo de México, también se muestreo las 2 partes laterales del Río Nautla. La colecta consistió en un total de 40 muestras; 15 de la playa de Nautla, 10 del Río Nautla y 15 de la Cd. de Veracruz.

En las playas, se colectó aproximadamente 1 kilogramo de sedimento por muestra a cada 200 metros de distancia entre muestras. Se tomaron las muestras en la zona de mesoplaya (zona donde se encuentra el máximo avance y retroceso del nivel del mar) de acuerdo con el perfil de playa que se muestra en la Figura 4 y Figura 5 se presenta el muestreo de playas. En el río, la colecta se realizó en las 2 partes laterales del río Nautla a 4 km aguas arriba de su desembocadura al Golfo de México (Figura 6) para evaluar las posibles variaciones.

Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno previamente etiquetadas con siglas para su control. En la Tabla 1 se muestran las siglas y las coordenadas (Latitud, Longitud) de la ubicación de cada una de las muestras de las playas de Nautla y Veracruz.

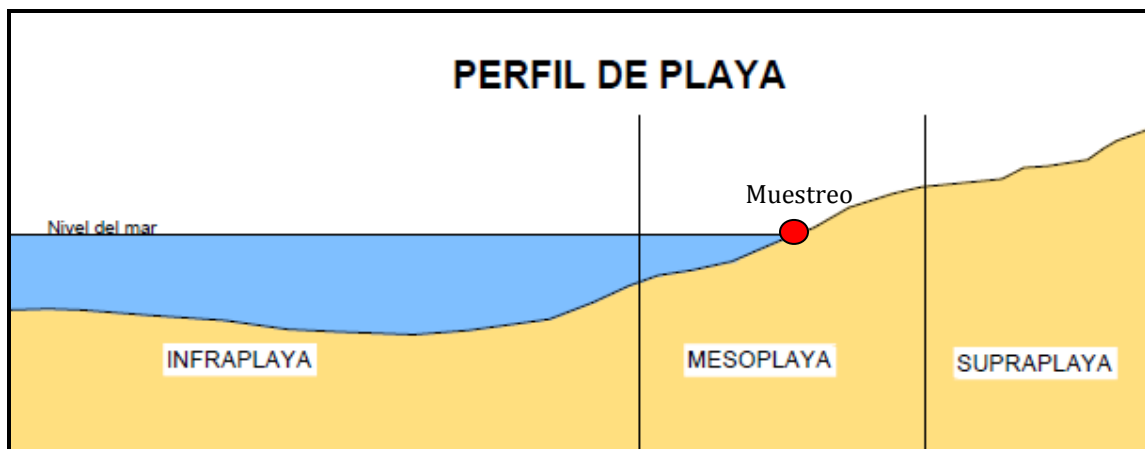


Figura 4. Perfil de playa (modificado de Carranza-Edwards y Caso-Chávez, 1994).



Figura 5. Muestreo de la playa de Nautla.



Figura 6. Muestreo del Río Nautla a 4km aguas arriba de la desembocadura.



Tabla 1. Coordenadas de la ubicación de muestras de las playas de Nautla (Nau), Veracruz (Ver) y Rio Nautla (Rnau).

Muestra	Latitud (N)	Longitud (O)	Muestra	Latitud (N)	Longitud (O)
Nau 01	20°12'46.47"	96°45'33.21"	Ver 06	19°10'26.73"	96°07'10.26"
Nau 02	20°12'40.11"	96°45'26.93"	Ver 07	19°10'19.09"	96°07'06.53"
Nau 03	20°12'34.46"	96°45'20.85"	Ver 08	19°10'13.89"	96°06'59.47"
Nau 04	20°12'29.32"	96°45'18.19"	Ver 09	19°10'09.63"	96°06'56.71"
Nau 05	20°12'23.88"	96°45'09.05"	Ver 10	19°10'07.20"	96°06'52.15"
Nau 06	20°12'20.26"	96°45'05.25"	Ver 11	19°10'05.86"	96°06'42.46"
Nau 07	20°12'16.48"	96°45'01.23"	Ver 12	19°10'04.60"	96°06'35.20"
Nau 08	20°12'10.54"	96°44'55.15"	Ver 13	19°10'03.54"	96°06'28.34"
Nau 09	20°12'07.34"	96°44'51.84"	Ver 14	19°09'59.87"	96°06'26.80"
Nau 10	20°12'02.93"	96°44'47.37"	Ver 15	19°09'56.91"	96°06'20.79"
Nau 11	20°11'58.25"	96°44'43.31"	Rnau1	20°12'42.40"	96°46'51.82"
Nau 12	20°11'54.66"	96°44'38.70"	Rnau2	20°12'39.83"	96°46'53.99"
Nau 13	20°11'49.40"	96°44'33.12"	Rnau3	20°12'37.19"	96°46'55.78"
Nau 14	20°11'44.76"	96°44'28.61"	Rnau4	20°12'34.55"	96°46'57.98"
Nau 15	20°11'40.83"	96°44'24.37"	Rnau5	20°12'31.81"	96°47'00.65"
Ver 01	19°10'51.12"	96°07'19.05"	Rnau6	20°12'39.52"	96°46'47.72"
Ver 02	19°10'43.66"	96°07'22.37"	Rnau7	20°12'36.96"	96°46'49.62"
Ver 03	19°10'40.85"	96°07'13.84"	Rnau8	20°12'34.61"	96°46'51.98"
Ver 04	19°10'33.89"	96°07'13.84"	Rnau9	20°12'32.11"	96°46'54.30"
Ver 05	19°10'33.24"	96°07'11.83"	Rnau10	20°12'29.30"	96°46'57.38"

## 3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

### 3.2.1. Análisis de microtexturas

Previo al análisis de microtexturas de los sedimentos para determinar el tipo de transporte, se realizó la preparación de las muestras. La cual consistió en lavar cada una de las muestras con agua y mezclar los sedimentos con HCl al 12% para eliminar los recubrimientos de carbonato. Después se lavaron con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% para eliminar los restos orgánicos. Finalmente los granos se lavaron varias veces en agua destilada y se secaron bajo una campana de evaporación del Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Bajo un microscopio binocular

se seleccionaron 20 granos al azar de cada muestra, los cuales fueron montados en los porta-muestras con cinta adhesiva. Posteriormente, se realizó el recubrimiento de las muestras en bajo vacío, es decir, un recubrimiento de oro (con un aparato JFC-1100 de capa fina) para darles propiedades conductivas a la muestra y obtener mejores condiciones de imagen en el SEM JEOL JSM-6360LV (Scanning Electron Microscopy), del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM (Figura 7). En general, se utilizaron los aumentos de X100 y X750, pero para examinar las microtexturas como fracturas concoidales, fracturas de tipo Chatter y precipitación de sílice se utilizaron los aumentos de X1,000 a X15,000.



Figura 7. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

### 3.2.2. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico utilizado para determinar la clasificación de los sedimentos, se realizó en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, por medio de un analizador BECKMAN COULTER modelo LS 230, de difracción láser. Este equipo efectúa el análisis de la distribución de tamaño de partículas de manera automática, en un rango de 0.04 hasta 2000  $\mu\text{m}$ . Su fundamento consiste en medir el tamaño de las partículas por difracción del haz de luz láser.

Cada muestra de las playas de Nautla, y la Cd. de Veracruz y el Río Nautla fueron previamente cuarteadas, hasta obtener una muestra representativa de 3.0 gramos

(pesadas en una balanza electrónica). Posteriormente, las muestras cuarteadas fueron lavadas con agua destilada y se decantaron para no perder la fracción más fina (limo). Para determinar los parámetros estadístico texturales de los sedimentos de cada muestra, se usaron las fórmulas y límites propuestos por Folk y Ward (1957).

## Parámetros texturales

### *Mediana*

La mediana es el punto medio, en donde la mitad de las partículas son finas y la otra mitad es más gruesa, y es determinada por el valor del percentil 50 en la curva acumulada.

### *Tamaño Gráfico Promedio (Mzφ)*

Este parámetro es el diámetro de las partículas de una muestra y generalmente representa el tamaño de grano medio de la distribución total de los sedimentos. Las diferencias en los tamaños de partículas se relacionan con las características de la roca del área fuente y la distancia entre la fuente del sedimento con respecto al área de depósito; así como, los diferentes tipos de energía que existieron en el área de depósito. Este parámetro sirve para conocer la naturaleza de los sedimentos y sus condiciones deposicionales.

La siguiente ecuación se utiliza para calcular el tamaño gráfico promedio:

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

En la cual, se muestran los siguientes límites:

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

### ***Desviación Estándar Gráfica Inclusiva ( $\sigma_1\phi$ )***

Este parámetro se caracteriza por el grado de clasificación de la muestra, además de indicar el grado de homogeneidad de los granos de sedimento. La clasificación de los sedimentos, es controlada por el grado de turbulencia, velocidad de transporte, naturaleza de los sedimentos y/o por el transporte eólico (Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards, 2005).

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la desviación estándar inclusiva:

$$\sigma_1\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

En la cual, se muestran los siguientes límites:

$\sigma_1\phi$	Clasificación
< 0.35	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50	Bien clasificado
0.50 a 0.71	Moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.00	Moderadamente clasificado
1.00 a 2.00	Mal clasificado
2.00 a 4.00	Muy mal clasificado
> 4.00	Extremadamente mal clasificado

### ***Grado de Asimetría ( $Sk_1$ )***

Es una medida que 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 arenas de grano grueso (Folk, 1966).

La siguiente ecuación se utiliza para calcular el grado de asimetría:

$$Sk_1 = \frac{(\phi_{16} + \phi_{84} - \phi_2 * 50)}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - \phi_2 * 50}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

En la cual, se muestran los siguientes límites:

$Sk_1\phi$	Clasificación
1.0 a 0.3	Muy asimétrico hacia los tamaños finos
0.3 a 0.1	Asimétrico hacia los tamaños finos
0.1 a - 0.1	Casi simétrico
- 0.1 a - 0.3	Asimétrico hacia los tamaños gruesos
- 0.3 a - 1.0	Muy asimétrico hacia los tamaños gruesos

### ***Curtosis ( $K_G$ )***

Este parámetro es una medida de la angulosidad de la curva de frecuencia, como relación de proximidad entre los valores centrales, generalmente el 50% central y los valores extremos 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 (Turner, 1970). Esta medida refleja en cierto modo, el número de tamaños de grano que hay en la muestra y su distribución.

La siguiente ecuación se utiliza para calcular la curtosis:

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

En la cual, se muestran los siguientes límites:

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

### 3.2.3. Petrografía

Para el análisis petrográfico se describieron 15 láminas delgadas las cuales fueron preparadas en el Instituto de Geología. Las muestras fueron: Nau2, Nau5, Nau7, Nau10 y Nau13 para la playa de Nautla, Ver2, Ver4, Ver6, Ver8 y Ver10 para la playa de Veracruz, y Rnau2, Rnau5, Rnau6, Rnau7 y Rnau8 para el Río Nautla. El estudio petrográfico se realizó en el Laboratorio de Geoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, con un microscopio de luz polarizada, se efectuó el conteo de 300 puntos en cada sección delgada, de acuerdo al método de Indiana (Basu, 1982). Se calcularon las cantidades modales de cuarzo total (Qt), feldespato total [Ft = feldespato potásico (Fk) + plagioclasa (P)], líticos totales [Lt = volcánicos (Lv) + plutónicos (Lp) + metamórficos (Lm) + sedimentarios (Ls)], minerales pesados (MP) y componentes biogénicos (Bio). Los porcentajes modales son enlistados en la Tabla 8.

### 3.2.4. Geoquímica de elementos mayores, traza y Tierras Raras.

Se realizó la determinación de las concentraciones de elementos mayores, traza y Tierras Raras para un total de 34 muestras; 10 de la playa de Nautla, 9 del Río Nautla y 15 de la playa de la Cd. de Veracruz.

#### Preparación de la muestras de sedimento

Inicialmente, las muestras fueron cuarteadas para obtener una fracción representativa de cada una de ellas. Se preparó una solución de HCl al 0.004%, para disolver los carbonatos presentes en cada muestra y se dejaron durante 24 horas. Posteriormente, después de secar las muestras, se trituraron en un pulverizador marca Fritsch Pulverisette 2 de mortero de ágata en el Laboratorio de Físico-Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. La pulverización de cada muestra se realizó por un periodo de 10 minutos hasta obtener un polvo fino (menor a 74 micras). Se pesaron 10 gramos por cada muestra, de los cuales 5 gr se utilizaron para los análisis de elementos mayores y los otros 5gr para los análisis de elementos traza y Tierras Raras.

### Fluorescencia de Rayos X

Los análisis de elementos mayores se llevaron a cabo con un equipo de Fluorescencia de Rayos X marca Siemens SRS 3000; equipado con tubo de rodio y ventana de berilio de 125 micras (elementos mayores (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K y P) del Instituto de Geología de la UNAM (Lozano-Santa Cruz et al., 1995).

La preparación de las muestras consistió en mezclar 1 gramo de muestra en polvo con 9 gr de mezcla fundente  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - $\text{LiBO}_2$  (50:50 wt%). La mezcla es vaciada en un crisol y posteriormente, es calentada a  $1100^\circ\text{C}$  en un horno equipado con quemadores Fisher. Previo al calentamiento, se agregan 2 gotas de LiBr en solución acuosa en una concentración de 250 gr/L, para evitar que la perla se adhiera al molde. Después de enfriadas las perlas, se retiran del molde y se etiquetan con el nombre de la muestra y la fecha en que se elaboró.

Como complemento del análisis de elementos mayores, se determinó la pérdida por calcinación (PXC), calentando a  $1000^\circ\text{C}$  por una hora, un gramo de muestra en “base seca”, en un crisol de porcelana y dejando enfriar lentamente hasta temperatura ambiente para obtener el peso calcinado.

### ICP-MS

Las concentraciones de elementos traza y Tierras Raras se obtuvieron por el método de ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) del laboratorio de Geoquímica del Instituto de Geología de la UNAM. Esta técnica tiene un bajo límite de detección, así como una buena precisión y exactitud. De acuerdo con Rollingson (1993), los iones son extraídos desde el plasma a través de un orificio hacia un sistema de bombeo por vacío y guiados al espectrómetro de masas que identifica los elementos químicos.

## **Identificación de minerales**

### Difracción de Rayos X

Para la identificación de los minerales más abundantes en las arenas de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz se realizaron análisis en muestra total por difracción de rayos X, por medio de un difractómetro automático Shimadzu XRD-6000, del Instituto de Geología de la UNAM. El principio básico de difracción de rayos X para identificar fases minerales, es cuando un haz de rayos X que incide en un cristal, los rayos X se difractan y dan lugar a un patrón de difracción único para cada mineral (Kennett, 1982).

### SEM-EDS

Debido a la coloración gris oscuro que presentan los sedimentos de la Playa de Nautla, se realizó un análisis de minerales pesados por medio del Microscopio Electrónico de Barrido con Espectrometría de Energía Dispersiva (SEM-EDS) para conocer la composición cualitativa, es decir, determinar los minerales presentes en las muestras.



# RESULTADOS Y DISCUSIÓN IV

## 4.1. ANALISIS DE MICROTERTURAS

El estudio de microtexturas en granos de cuarzo (>200  $\mu\text{m}$ ) por medio de un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), se ha convertido en un método importante para la interpretación, debido a que proporcionan información sobre los procesos mecánicos y químicos que actúan sobre los granos durante su transporte (marino, fluvial, eólico y/o glacial) y después de su depósito (Kransley and Funnel, 1965; Doornkamp and Kransley, 1971; Margolis and Kransley, 1974; Kransley and McCoy, 1977; Bull, 1981; Carter, 1984; Kransley and Marshall, 1987; Helland and Diffendal, 1993; Mahaney, 1995; Mahaney *et al.*, 1996; Moral-Cardona *et al.*, 1996, 1997; Mahaney, 1998; Newsome y Ladd; 1999; Madhavaraju *et al.*, 2004a; Armstrong-Altrin *et al.*, 2005; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2005; Kasper-Zubillaga, 2007; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007; Chakroun *et al.*, 2009).

Las microtexturas se clasifican comúnmente en mecánico, mecánico/químico y químico, en función de su origen. Las de origen mecánico son formadas por impactos frecuentes y abrasiones entre los mismos granos durante su transporte en varios ambientes dinámicos. Aquí se forman fracturas concoidales, fracturas en V, entre otras. Mientras las microtexturas de origen químico, se refieren a aquellas que están formadas por la dilución (cavidades por disolución) o precipitación de sílice (glóbulos y películas de sílice).

Los sedimentos transportados por el viento muestran microtexturas bien redondeadas, sin brillo y con bajo relieve; presentan rasgos en forma de placas

invertidas o planares sobre sus superficies, así como superficies pulidas (Abu-Zeid *et al.*, 2001). Los sedimentos transportados por el mar muestran generalmente microtexturas parcialmente redondeados, protuberancias y bordes lisos (Krinley and Trusty, 1985; Moral-Cardona *et al.*, 1997). Basados en varios tipos de microtexturas observadas sobre los sedimentos, es posible identificar tipos de transporte particularmente eólicos, marinos y glaciales.

En el presente estudio se identificaron 16 microtexturas en los granos de sedimento de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz (Tabla 2). Estas microtexturas se dividieron de acuerdo a su origen, 8 microtexturas de origen mecánico, 4 de origen mecánico/químico y 4 de origen químico.

Tabla 2. Microtexturas en sedimentos de la playa de Nautla y la playa de la Cd. de Veracruz.

MICROTEXTURA	NAUTLA	VERACRUZ	ORIGEN
Cavidades pequeñas y medianas	C	A	Mecánico
Fracturas concoidales	C	Aus	Mecánico
Contornos angulares	A	Aus	Mecánico
Contornos sub-angulares	C	E	Mecánico
Contornos sub-redondeados	R	C	Mecánico
Contornos redondeados	Aus	C	Mecánico
Fracturas en V	C	Pc	Mecánico
Superficies lisas	Aus	E	Mecánico
Fracturas en placas/planares	E	C	Mecánico/Químico
Relieve alto	E	Pc	Mecánico/Químico
Relieve medio	Pc	R	Mecánico/Químico
Marca tipo Chatter	Aus	Pc	Mecánico/Químico
Cavidades por disolución	R	C	Químico/disolución
Grietas por disolución	Aus	C	Químico/disolución
Glóbulos de sílice	Aus	Pc	Químico/precipitación
Películas de sílice	Aus	C	Químico/precipitación

A = Abundante (> 75%); C = Común (50-75%); Pc = Poco común (25-50%); E = Escaso (2-25%); R = Raro (< 5%); Aus = Ausente

#### 4.1.1. Microtexturas de origen mecánico

En los sedimentos de la playa de Nautla se presentan frecuentemente microtexturas en forma de cavidades pequeñas y medianas. También, se observaron fracturas concoidales indicadoras de una alta energía en la zona de oleaje de la playa (Krinsley y Donahue, 1968). Estas fracturas se clasifican en pequeñas, medianas y grandes basándose en el tamaño de fractura, la mayoría de los granos presentaron fracturas concoidales grandes, es decir, son mayores a  $100\mu\text{m}$  (Figura 8a y b). Los sedimentos exhiben contornos de angulares a sub-angulares en su mayoría (Figura 8c) y regularmente se encuentran asociados con las fracturas concoidales.

En la playa de la Cd. de Veracruz se observaron con frecuencia cavidades pequeñas y medianas (Figura 8d y e). Los sedimentos van de redondeados a sub-redondeados (Figura 8f y Figura 9a). Se observaron fracturas en forma de V (Figura 9b y c) y superficies lisas que suelen asociarse con los contornos redondeados (Figura 9d).

#### 4.1.2. Microtexturas de origen mecánico/químico

En la playa de Nautla se observaron microtexturas en forma de placas en la superficie de los sedimentos (Figura 10e). Se presentaron diversos tipos de relieve, es decir, bajo, medio y alto. El relieve de estos sedimentos se ha identificado principalmente en el grado de alteración de la superficie del grano por uno o varios tipos de microtexturas. En esta playa la mayoría del sedimento presenta relieve medio a bajo (Figura 10a y b).

Sin embargo, en la playa de la Cd. de Veracruz se observaron fracturas planares (Figura 10f), microtexturas de alto relieve (Figura 10b). Las fracturas de tipo Chatter (onduladas), son muy frecuentes en los granos de esta playa (Figura 10c y d). Regularmente estas fracturas son macroscópicas, es decir de 1 a 5 centímetros, pero también se pueden encontrar de forma microscópica ( $1$  a  $5\mu\text{m}$ ) como este caso.

#### **4.1.3. Microtexturas de origen químico por disolución**

En las microtexturas de origen químico estudiadas en la playa de Nautla se observaron microtexturas por disolución y por precipitación. En las primeras se presentaron cavidades por disolución de varios tamaños y formas, las formas circulares y sub-circulares son las más comunes en esta playa (Figura 11a).

En la playa de la Cd. de Veracruz se observaron de forma poco frecuente, fisuras o grietas sobre las superficies del sedimento, estas formas se deben muy probablemente a los cambios de temperatura en el medio ambiente (Figura 11b).

#### **4.1.4. Microtexturas de origen químico por precipitación**

En la playa de Nautla, los glóbulos de sílice (Figura 11c) muestran un aspecto liso al estar claramente uniformes y unidos. Esta característica se forma generalmente en sedimento que tiene contacto con soluciones que están sobresaturadas de sílice. De igual forma, las películas de sílice crecen en cierta parte o en toda la superficie del grano (Figura 11d), dependiendo de la disponibilidad de los fluidos que están sobresaturados de sílice. Cabe mencionar que esta microtextura es resultado de la rápida precipitación de la sílice amorfa.

#### **4.1.5. PALEOAMBIENTE**

Con base en las características micro-texturales mencionadas se propone lo siguiente: Dentro de las fracturas de origen mecánico, se describieron las fracturas concoidales, que se asocian con sedimentos glaciogénicos (Margolis y Kennett, 1971; Mahaney y Kalm, 2000; Cowan *et al.*, 2008; Deane, 2010). Estas fracturas se forman en su mayoría en la zona de oleaje de la playa (Figura 8a y b), indicando también un transporte subacuoso (Krinsley y Margolis, 1969; Krinsley y Smith, 1981).

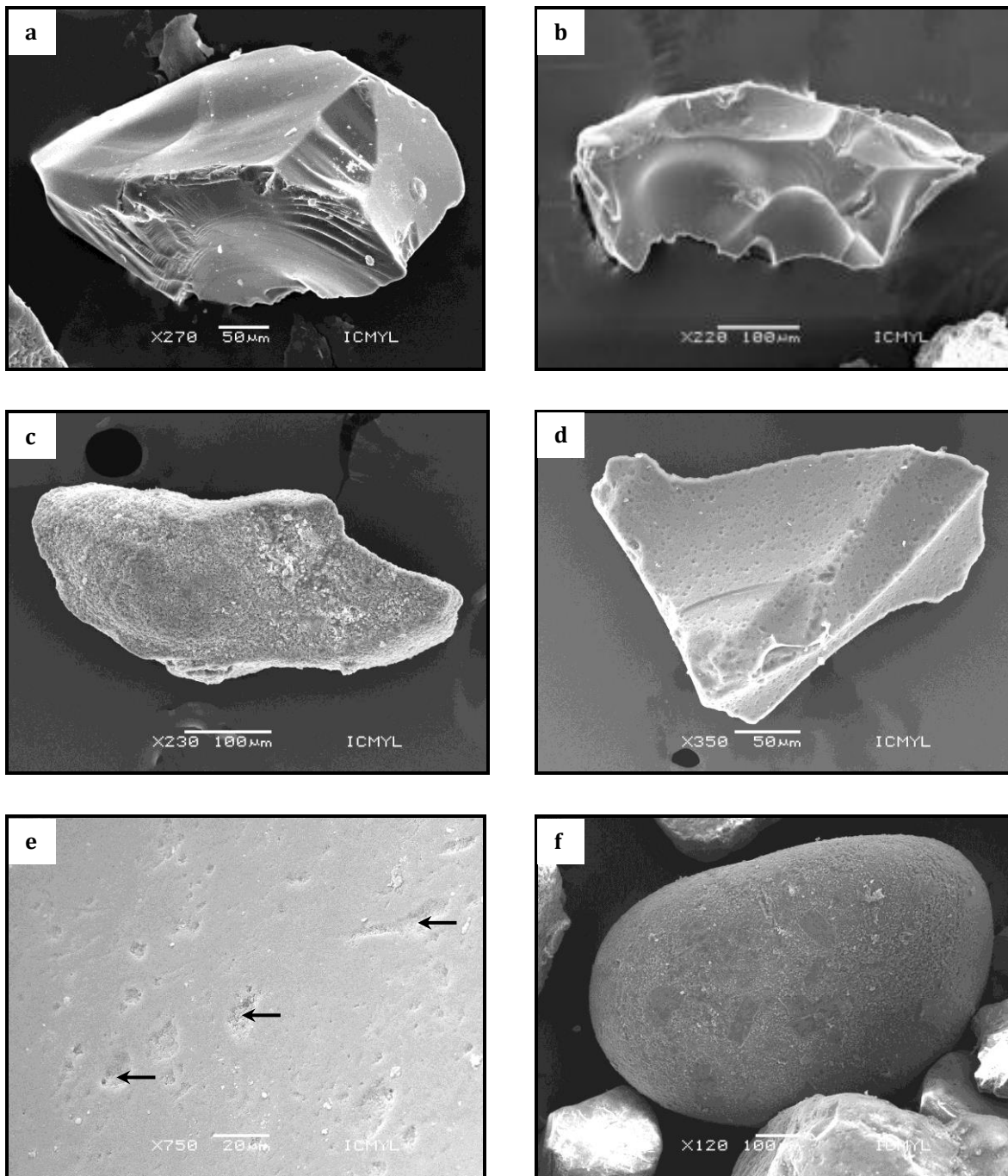


Figura 8. Microtexturas de origen mecánico: a) y b) Fracturas concoidales grandes de la playa de Nautla c) Contornos sub-angulares de la playa de Nautla, d) Cavidades medianas y pequeñas de la playa de la Cd. de Veracruz, e) Magnificación de la anterior, y f) Contornos redondeados de los sedimentos de la Cd. de Veracruz (Kasper-Zubillaga, *et al.*, 2005; Madhavaraju *et al.*, 2006 y 2009).



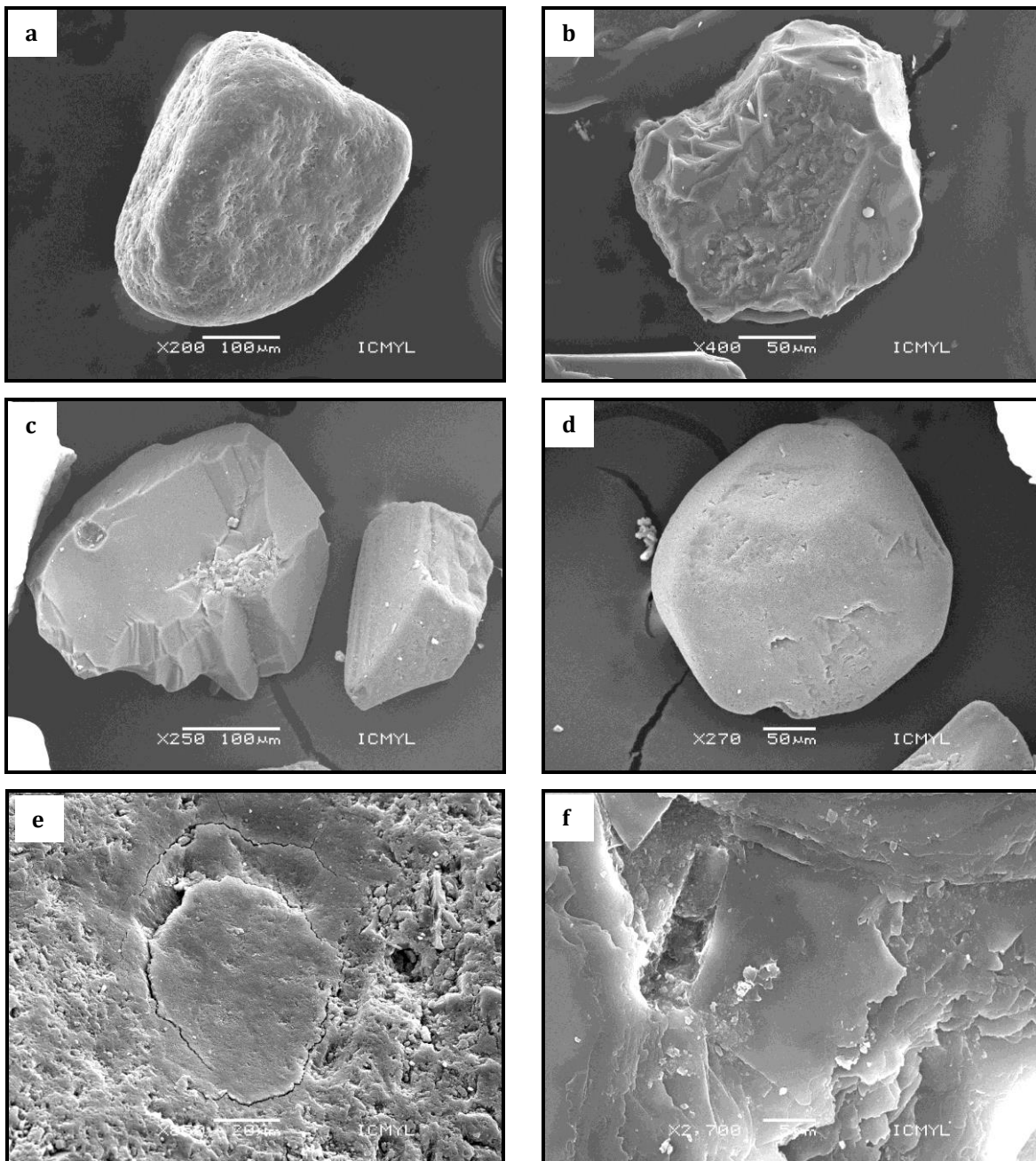


Figura 9. Microtexturas de origen mecánico: a) Contornos sub-redondeados (Cd. de Veracruz), b) y c) Fracturas en forma de "V" (Cd. de Veracruz), d) Superficie lisa de los granos (Cd. de Veracruz), y e) Microtexturas planares (Cd. de Veracruz). Por último f) Fracturas en forma de placa (Nautla) (Madhavaraju *et al.*, 2009 y 2006; Moral-Cardona, *et al.*, 1997; Kasper-Zubillaga, 2009).

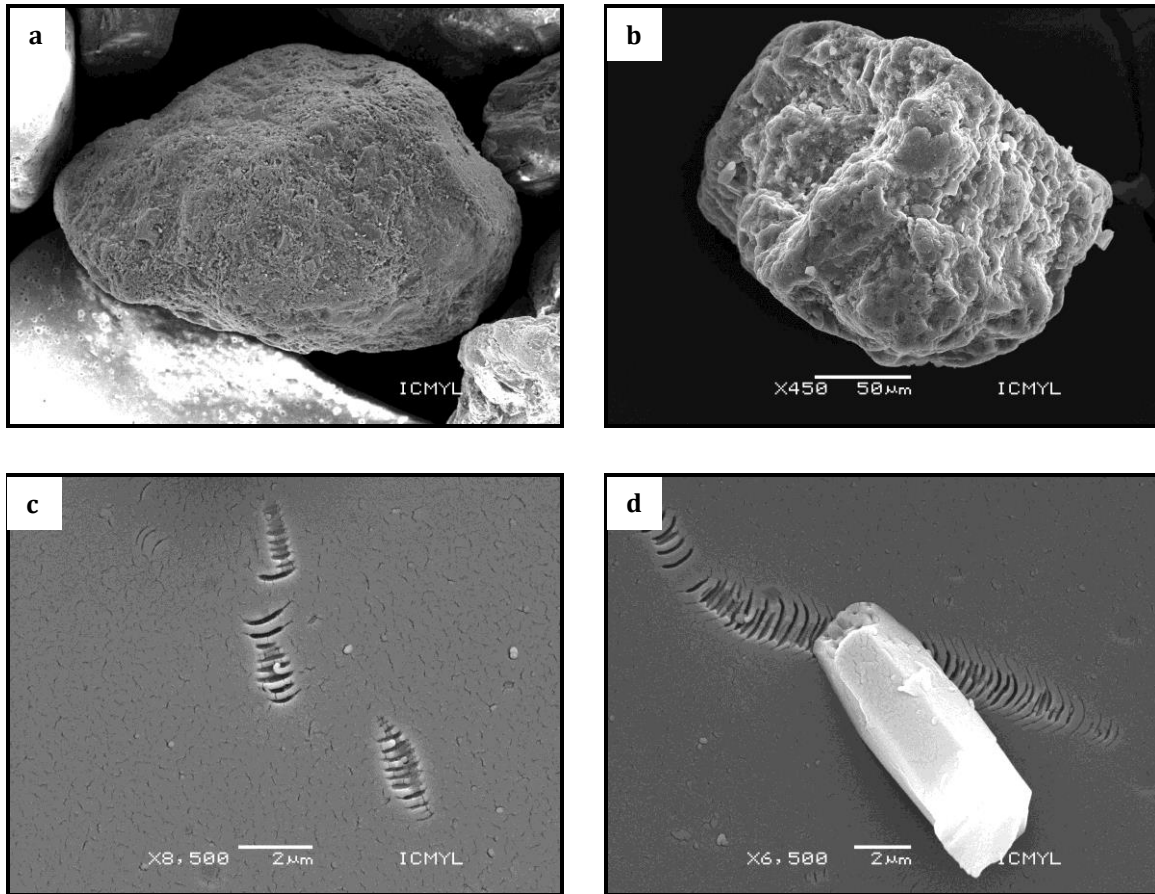


Figura 10. Microtexturas de origen mecánico/químico: a) Microtextura de bajo relieve de la playa de Nautla, b) Microtextura de alto relieve de la playa de la Cd. de Veracruz, c) y d) adhesión de partículas a las superficies de los granos de cuarzo de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz respectivamente, e) y f) marcas de tipo Chatter, muy comunes en la playa de la Cd. de Veracruz (Peterknech y Tietz, 2011).

Las cavidades medianas y pequeñas identificadas en las arenas de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz (Figura 8d y e), probablemente se formaron por la colisión de los granos durante un transporte eólico y está asociada con las superficies lisas de los granos.

Los granos estudiados en la playa de Nautla, presentan contornos angulares a sub-angulares (Figura 8c). El dominio de los granos sub-angulares asociados a las fracturas en forma de V indican una fuente cercana, corto transporte y una rápida



deposición, de lo contrario, un largo transporte puede destruir estas fracturas (Folk, 1978).

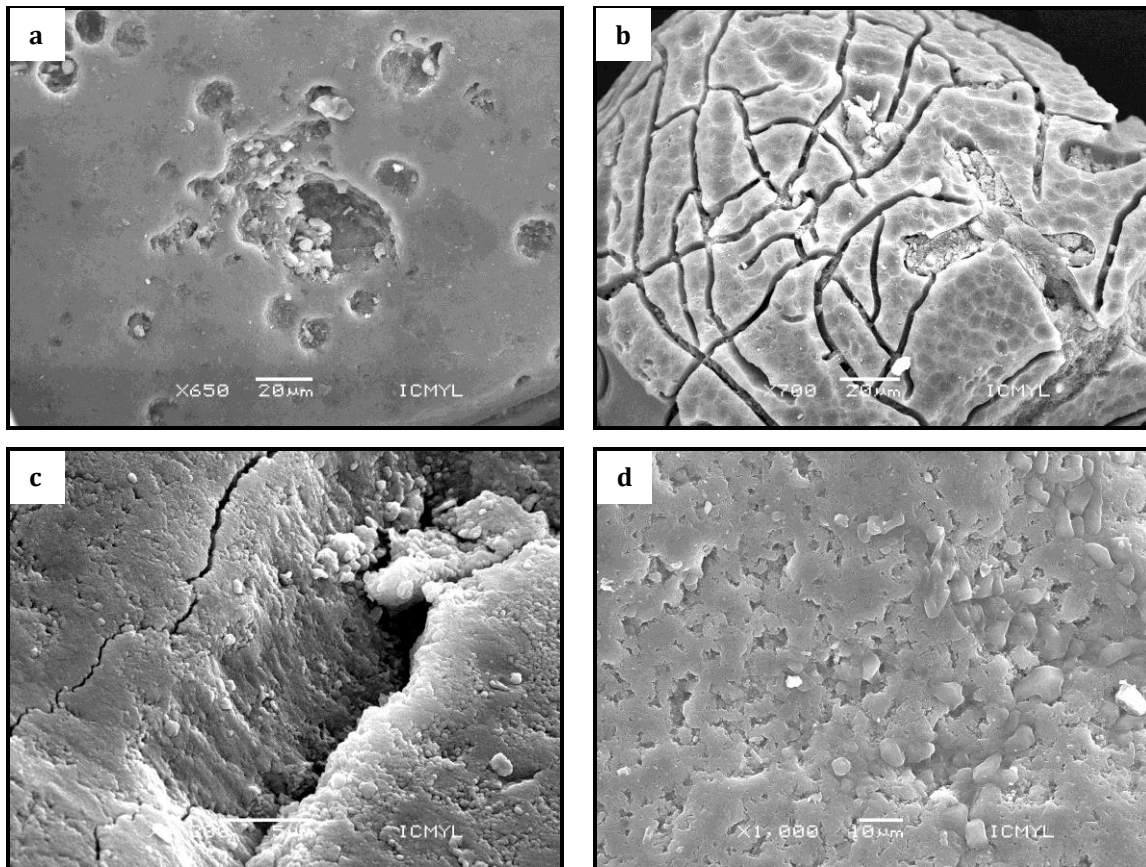


Figura 11. Microtexturas de origen químico: a) cavidades por disolución de la playa de Nautla y b) grietas por cambios de temperatura en la playa de la Cd. de Veracruz. Microtexturas de origen químico: c) Glóbulos de sílice de la playa de Nautla y d) Películas de sílice de la playa de Nautla.

La redondez depende de la gravedad específica, la solubilidad y la dureza, y un grado variable de redondez de los granos de arena están vinculados con transporte de alta energía (Costa *et al.*, 2013). La forma redondeada es un indicador de arenas derivadas por procesos eólicos (Kasper-Zubillaga, 2009), ya que el redondeo de los granos de arena durante el transporte por tracción acuosa, requiere de viajar miles de kilómetros (Costa *et al.*, 2013). Los contornos sub-redondeados que se identificaron en la playa de la Cd. de Veracruz (Figura 8f y Figura 9a), indican un largo transporte eólico, probablemente derivado de dunas cercanas que posteriormente formaron parte de las arenas de playa.



Las fracturas en forma de V (Figura 9b y c) que se presentaron en la playa de la Cd. de Veracruz probablemente, son el resultado de la abrasión acumulada de múltiples ciclos de transporte y reciclaje (Margolis y Krinsley, 1974; Corcoran *et al.*, 2010). La abundancia y tamaño de las formas y fracturas en V puede aumentar cuando el sedimento se somete a una agitación en ambientes sub-acuosos por un lapso grande de tiempo (Mahaney, 1998). Esto ocurre principalmente en los sedimentos que tienen un transporte marino poco profundo, fluvial y/o deltaicos (Manker y Ponder, 1978; Higgs, 1979; Krinsley y Donahue, 1968; Linde y Mycielska-Dowgiallo, 1980). Margolis y Kennett (1971) mencionaron que las fracturas en forma de V ocurren en menor proporción en los ríos, mientras que en las costas de alta energía se presentan con mayor abundancia (Kasper-Zubillaha, *et al.*, 2005). Los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz (Figura 9d) presentaron superficies lisas, que pudieron formarse en gran parte, por la influencia de un largo transporte eólico hasta el lugar de depositación.

Dentro de las fracturas de origen mecánico/químico, se encuentran las fracturas planares o en forma de placas (Figura 10a y b), las cuales se desarrollan por transporte eólico (Krinsley y Doornkamp, 1973; Mazullo y Ehrich, 1983). Las fracturas en forma de placas son consideradas como el resultado de impactos en zonas de alta energía que ocurren cuando los sedimentos son transportados por vientos de altas velocidades (Mazullo *et al.*, 1986). Con respecto a esta fractura se puede decir que el área costera de la playa de la Cd. de Veracruz, recibe más sedimento de las dunas por procesos eólicos en comparación con la playa de Nautla.

Con respecto a las fracturas de tipo Chatter, existen controversias sobre el origen de este tipo de fracturas (Peterknecht y Tiezt, 2011), se cree que estas fracturas generalmente proporcionan evidencias de un transporte glacial cuando se presentan en granos derivados del granate (Folk, 1975). Otros estudios muestran que las fracturas de tipo chatter son probablemente un tipo de función mecánica y no necesariamente peculiar en granos de granate (Bull, 1977) o para entornos glaciares (Bull *et al.*, 1980). Bull *et al.* (1980) y Orr y Folk (1983) sugieren un origen mecánico

y/o químico para este tipo de fracturas. Además Le-Ribault (1975) mostró que las fracturas de tipo chatter debieron ser orientadas en una misma dirección, si su origen es glaciar. En este estudio, las fracturas de tipo chatter no son uniformes en la orientación, longitud y/o tamaño; las identificadas en la playa de la Cd. de Veracruz (Figura 10, *c* y *d*) no han sido observadas en otras regiones costeras de México.

Recientemente en una revisión por Peterknecht y Tietz (2011), las fracturas tipo Chatter constan de una serie de huellas en forma de media luna sobre la superficie del grano. Revelan dos fases en el proceso de formación; la primera fase es la colisión mecánica de los componentes durante el transporte de los granos, seguida por una segunda fase caracterizada por el establecimiento de una reacción química en cualquier superficie del grano de cuarzo para la disolución y son indicativas de un clima tropical húmedo.

Las cavidades por disolución que se identificaron en la superficie de los granos de arena de la playa de Nautla (Figura 11*a*), así como las microtexturas complejas en forma de grietas de desecación (Figura 11*b*) de la playa de la Cd. de Veracruz indican una erosión química. Los espacios entre las fracturas en la superficie del sedimento fueron sometidos a procesos de disolución mineral después de un previo fracturamiento.

Las microtexturas por precipitación de sílice en las playas de Nautla y Veracruz, están generalmente formadas por procesos químicos en áreas tropicales o áreas saturadas de sílice, como las de las zonas de intermarea de la playa (Le-Ribault, 1975; Higgs, 1979; Moral-Cardona *et al.*, 1997). El sedimento de estas playas exhiben microtexturas de origen químico como los glóbulos de sílice y películas de sílice, indican que son parte del evento final que afecta el sedimento. Los glóbulos de sílice (Figura 11*c*) y películas de sílice (Figura 11*d*) generalmente se forman sobre los granos de cuarzo en las superficies rotas durante su post-depositación o diagénesis (Madharavaju *et al.*, 2004).

## 4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

### 4.2.1. Parámetros Texturales

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los análisis granulométricos (Tamaño gráfico promedio, Desviación estándar inclusiva, Grado de asimetría y Curtosis) de los sedimentos de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla.

Tabla 3. Resultados del análisis granulométrico de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla en el Golfo de México.

Muestra	$Mz\phi$	$\sigma_1\phi$	$Sk_i$	$K_G$
Nau1	0.698	0.587	-0.029	0.992
Nau2	0.732	0.646	0.097	1.085
Nau4	1.046	0.613	-0.024	1.058
Nau5	0.809	0.733	0.001	0.948
Nau6	0.706	0.664	0.016	0.977
Nau7	0.698	0.649	0.148	1.124
Nau10	0.945	0.7	0.038	0.968
Nau11	1.153	0.679	-0.064	1
Nau13	0.795	0.743	-0.02	0.965
Nau14	1.105	0.673	-0.018	1.048
Rnau1	2.564	0.715	0.309	1.05
Rnau2	2.496	0.677	0.329	1.029
Rnau6	2.533	0.561	0.211	0.0975
Rnau8	2.108	0.667	0.02	0.959
Rnau9	2.495	0.627	0.313	1.115
Ver1	2.48	0.445	0.075	0.939
Ver2	2.376	0.6	-0.197	1.132
Ver3	2.524	0.416	0.083	0.959
Ver4	2.504	0.474	-0.061	1.119
Ver5	2.542	0.4	0.087	0.967
Ver6	2.345	0.579	-0.154	1.098
Ver7	2.189	0.718	-0.228	1.043
Ver8	2.324	0.598	-0.119	1.109
Ver9	2.446	0.448	0.089	0.941
Ver10	2.288	0.604	-0.15	1.022

**Mz $\phi$** : Tamaño gráfico promedio;  **$\sigma_1\phi$** : Desviación estándar gráfica inclusiva; **Sk**: Grado de asimetría; **K<sub>G</sub>**: Curtosis. Naun: Nautla; Vern:Veracruz; Rnaun:Río Nautla.

En base al método gráfico de Folk y Ward (1957), se calculó el parámetro de tamaño de grano para las 2 playas y el río. El tamaño medio de las arenas de la playa de Nautla se encuentran en un rango de 0.69 a 1.15  $\phi$ , indicando que son arenas gruesas. Mientras que la playa de Veracruz y el Río Nautla presentan valores que van de 2.18 a 2.54  $\phi$  y 2.10 a 2.56  $\phi$  respectivamente, indicativos arenas finas (Tabla 4). Puede sugerirse que la selectividad del viento (transporte eólico) produce las arenas finas bien clasificadas, sin embargo, la mezcla de procesos eólicos, marinos y fluviales generan diferentes tamaños de grano (Kasper-Zubillaga, 2009).

Tabla 4. Tamaño grafico promedio (Mz  $\phi$ ) de las arenas de la playa de Nautla y Veracruz, así como del Río Nautla.

Playa	Tamaño Gráfico Promedio (Mz $\phi$ )	Clasificación
Nautla	0.69 a 1.15 $\phi$	Arenas gruesas
Cd. de Veracruz	2.18 a 2.54 $\phi$	Arenas finas
Río Nautla	2.10 a 2.56 $\phi$	Arenas finas

Los valores de la desviación estándar grafica inclusivade los sedimentos de la playa de Nautla muestran valores de 0.58 a 0.74  $\phi$ , que indican arenas moderadamente clasificadas. Para las muestras de la playa de la Cd. de Veracruz se obtuvieron mayoritariamente valores de 0.40 y 0.71  $\phi$ , de arenas bien clasificadas. Las muestras del Río Nautla presentan valores de 0.4 a 0.71  $\phi$ , de arenas bien clasificadas a moderadamente bien clasificadas como se muestra en la Tabla 5.

Los valores obtenidos de la desviación estándar indican que las arenas bien clasificadas son el resultado de la abrasión por las olas del mar, lo que produce la reducción del tamaño de arena y una mejor clasificación (Carranza-Edwards *et al.*, 2009). Las arenas moderadamente clasificadas de la playa de Nautla pueden presentar una mezcla de procesos eólicos y marinos que generan los diferentes tamaños de grano. Un largo transporte puede generar un buen clasificado y un corto transporte puede generar un mal clasificado de los sedimentos de playa.

Tabla 5. Valores de Desviación estándar de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla.

Playa	Desviación Estándar ( $\sigma_1\phi$ )	Clasificación
Nautla	0.58 a 0.74 $\phi$	Moderadamente clasificadas
Veracruz	0.56 a 0.71 $\phi$	Moderadamente bien clasificadas
Río Nautla	0.40 a 0.71 $\phi$	Bien clasificadas a moderadamente bien clasificadas

Los valores obtenidos en el grado de asimetría de las muestras de arena de la playa de Nautla fueron de -0.06 a 0.14  $\phi$  dominando principalmente los valores positivos, lo que sugiere que el tamaño de grano en las arenas, es fino. Para la playa de la Cd. de Veracruz los valores van de -0.22 a 0.08  $\phi$ , presenta algunos valores negativos, indican arenas gruesas. Los valores de las muestras del Río Nautla varían de 0.02 a 0.32 (Tabla 6). Por lo tanto, las muestras de las playas de Nautla y Veracruz presentan un grado de asimetría simétrico, lo que puede indicar que posiblemente los sedimentos estén compuestos por arenas finas y gruesas. Por tanto, las condiciones de erosión, transporte y sedimentación son particulares para cada área de estudio (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2008).

Tabla 6. Valores de grado de asimetría de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla.

Playa	Grado de Asimetría ( $Sk_i$ )	Clasificación
Nautla	-0.06 a 0.14 $\phi$	Casi simétrico
Veracruz	-0.22 a 0.08 $\phi$	Casi simétrico
Río Nautla	0.02 a 0.32 $\phi$	Asimétrico hacia los tamaños finos

Los valores de curtosis en las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla son de 0.94 a 1.12  $\phi$ , 0.93 a 1.13  $\phi$  y 0.95 a 1.11  $\phi$  respectivamente, presentando una curva de frecuencia mesocúrtica como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de curtosis de las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y Río Nautla.

Playa	Curtosis ( $K_G$ )	Clasificación
Nautla	0.94 a 1.12 $\phi$	Mesocúrtico
Veracruz	0.93 a 1.13 $\phi$	Mesocúrtico

**4.2.2. Ambientes de depósito**

En el diagrama propuesto por Moiola y Weiser (1968), y Hails y Hoyt (1969) se utilizaron los parámetros de grado de asimetría ( $Sk_i\phi$ ) en el eje X y tamaño grafico promedio ( $Mz\phi$ ) en el eje Y (Figura 12) para diferenciar los ambientes de playa y duna. De igual forma, el diagrama propuesto por Miola y Wieser (1968) utilizando el tamaño grafico promedio ( $Mz\phi$ ) en el eje X y el grado de asimetría ( $Sk_i\phi$ ) en el eje Y (Figura 13). Se observa que las arenas de Nautla, en los dos diagramas caen en el ambiente de playa, posiblemente se debe a que las arenas en su mayoría son transportadas por el oleaje del mar y las corrientes litorales (transporte marino). Las arenas de la playa de la Cd. de Veracruz caen tanto en ambiente de playa como en ambiente de duna, lo que sugiere que las arenas de esta playa son provenientes de dunas transportadas por viento y por las corrientes litorales (transporte eólico y marino). Mientras que las muestras del Rio Nautla en ambos diagramas caen en un ambiente de duna, confirmando que los sedimentos erosionados son trasportados por procesos eólicos y fluviales principalmente.

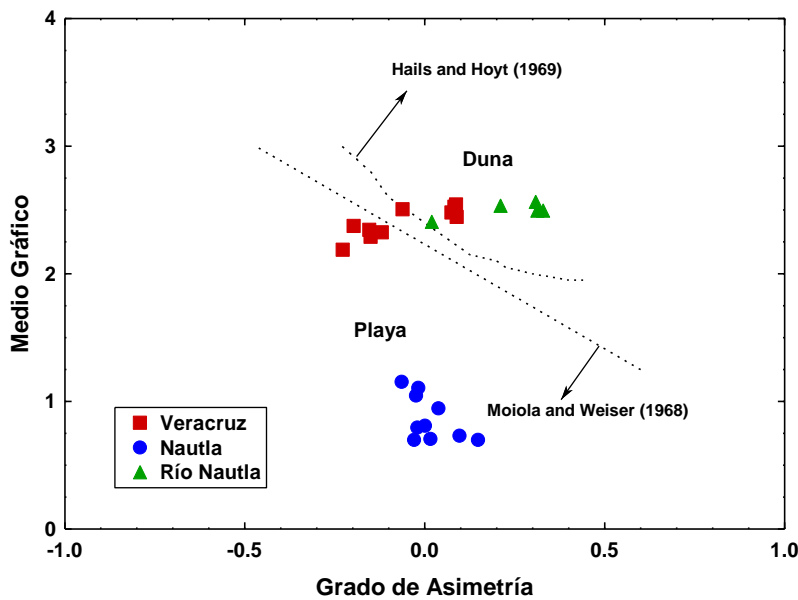


Figura 12. Diagrama binario  $Sk_i\phi/Mz\phi$  de discriminación de ambientes sedimentarios litorales propuesto por Moiola y Weiser (1968) y Hails y Hoyt (1969).

En el diagrama propuesto por Friedman (1967) con el grado de asimetría en el eje X y la desviación estándar gráfica en el eje Y, para diferenciar el ambiente de río y playa. Se observa que las muestras de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz caen en el campo del ambiente de playa y las muestras del Río Nautla se trazan en el campo del ambiente de río (Figura 14).

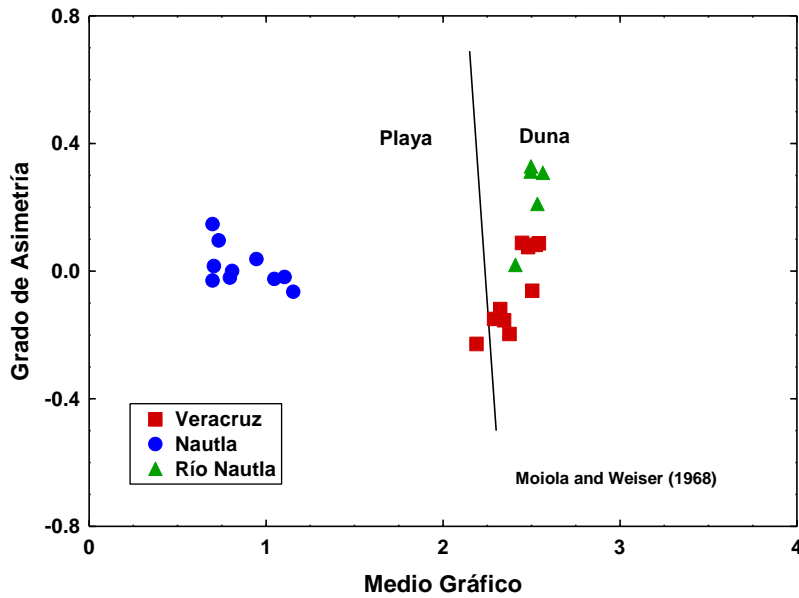


Figura 13. Diagrama binario  $Mz\phi/Sk\phi$  de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Moiola y Weiser (1968).

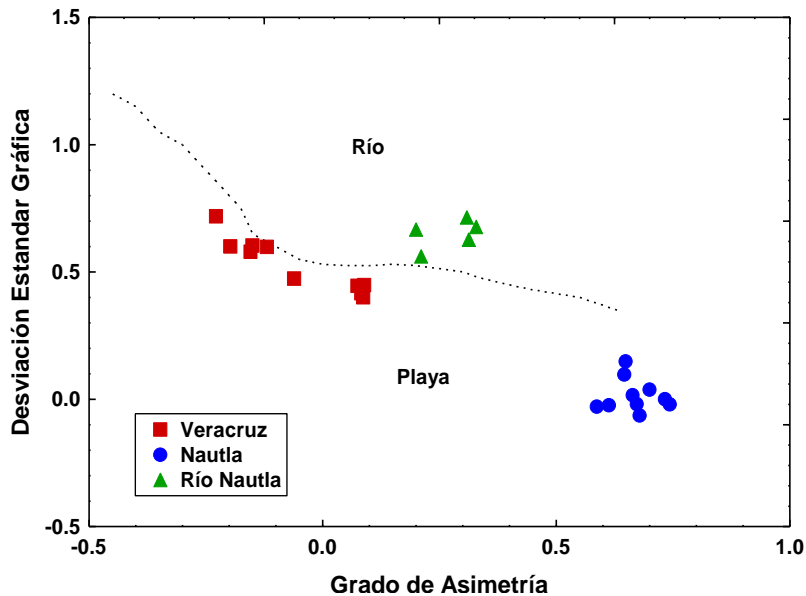


Figura 14. Diagrama binario  $Mz\phi/\sigma_1$  de discriminación de ambiente sedimentario litoral propuesto por Fiedman (1967).



### 4.3. ANÁLISIS PETROGRÁFICO

El conteo de los 300 puntos de arena en cada una de las 5 láminas delgadas seleccionadas de la playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla permitió elaborar la Tabla 8. De acuerdo con el conteo mineralógico, se observa que el contenido de cuarzo es más abundante en la playa de la Cd. de Veracruz ( $C_T$ ; 41% al 53%) que en la playa de Nautla ( $C_T$ ; 15% al 20%) y Río Nautla ( $C_T$ ; 36% al 46%). Los promedios de cuarzo, feldespato y fragmentos líticos que se obtuvieron son los siguientes:  $Ct_{17}$ - $Ft_2$ - $Lt_{58}$ ;  $Ct_{40}$ - $Ft_3$ - $Lt_{32}$ ;  $Ct_{48}$ - $Ft_4$ - $Lt_{25}$  para la playa de Nautla, Río Nautla y la playa de la Cd. de Veracruz respectivamente. De los fragmentos líticos, los líticos volcánicos son dominantes en la playa de Nautla ( $L_v$ ; 44% al 52%) (Figura 15a) y el Río Nautla ( $L_v$ ; 24% al 32%) (Figura 15b), los cuales probablemente se derivan de rocas basálticas o intermedias. Mientras que los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz contienen mayores cantidades de fragmentos líticos sedimentarios ( $L_s$ ; 18% al 27%) (Figura 15c) comúnmente derivados de rocas sedimentarias.

Los fragmentos líticos plutónicos y metamórficos están ausentes en la playa de la Cd. de Veracruz; y son muy escasos en la playa y Río Nautla. Los pocos líticos metamórficos observados (Figura 15d) probablemente se derivaron de esquistos. Y los líticos plutónicos pueden derivarse de rocas dioríticas. Los minerales pesados probablemente magnetita, ilmenita y zircón son más abundantes en las arenas de Nautla ( $MP$ ; 17% al 27%) y Río Nautla ( $MP$ ; 17% al 24%) (Figura 15e) que en las arenas de la Cd. de Veracruz ( $MP$ ; 0% al 2%). Estos minerales también fueron identificados por métodos de difracción de rayos X (Figura 33) y por el microscopio electrónico de barrido por dispersión de energía (por sus siglas en inglés, SEM-EDS) (ver Figura 34). Sin embargo las arenas de Nautla y Río Nautla están más empobrecidas en los contenidos de feldespato y plagioclasa a diferencia de las arenas de la Cd. de Veracruz (Figura 15f y Figura 16a) que también presentan un alto contenido en biógenos (Figura 16c, d y e), probablemente se debe a la presencia de arrecifes.

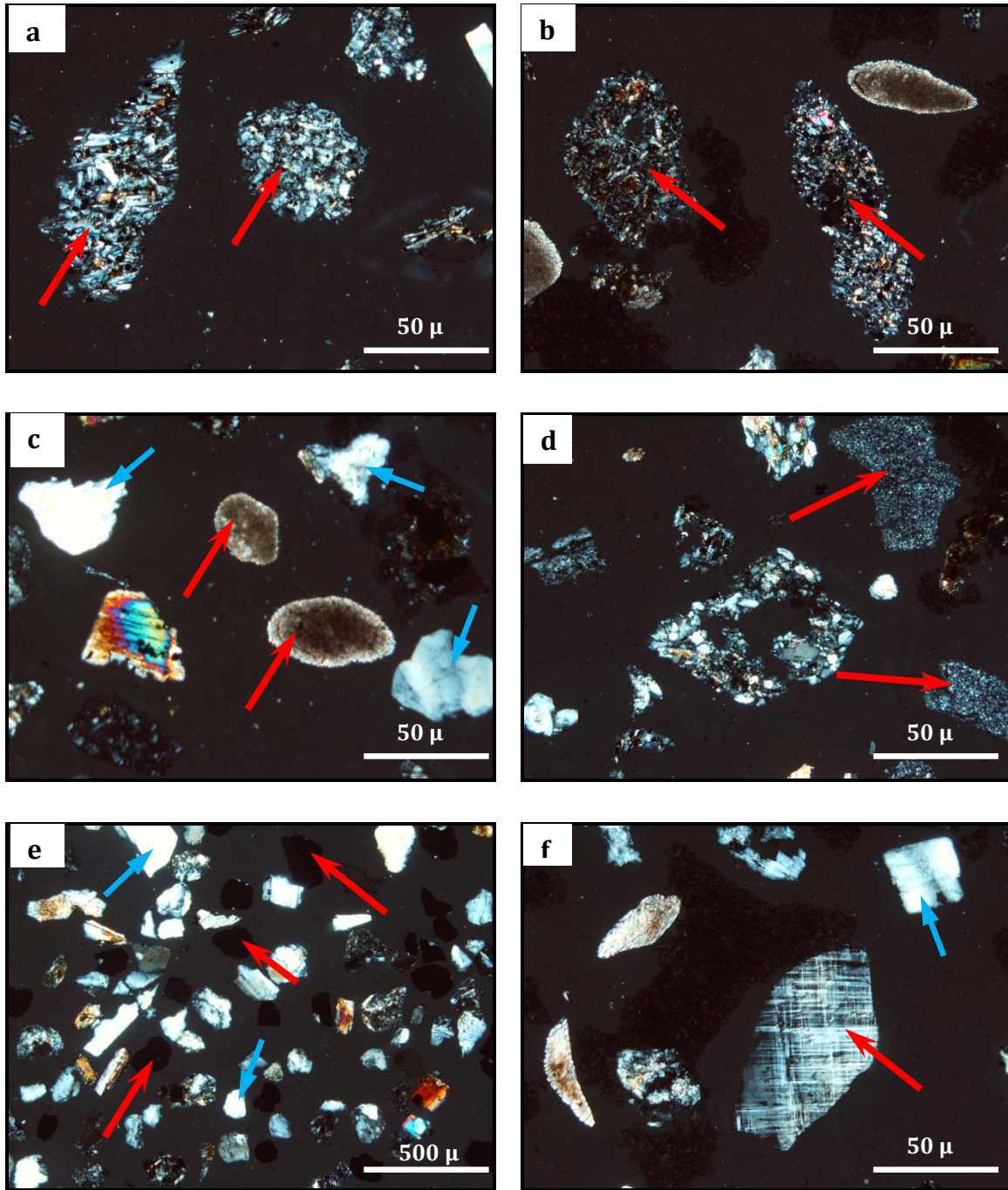


Figura 15. En las láminas delgadas, los cuarzos son señalados con flechas azules, y en rojo los diferentes líticos y otros minerales. a) Lítico volcánico de la playa de Nautla, b) Lítico volcánico del Río Nautla, c) Lítico sedimentario de la playa de la Cd. de Veracruz, d) Líticos metamorficos de la playa de Nautla, e) Minerales pesados de la playa de Nautla, f) Feldespato de la playa de la Cd. de Veracruz.

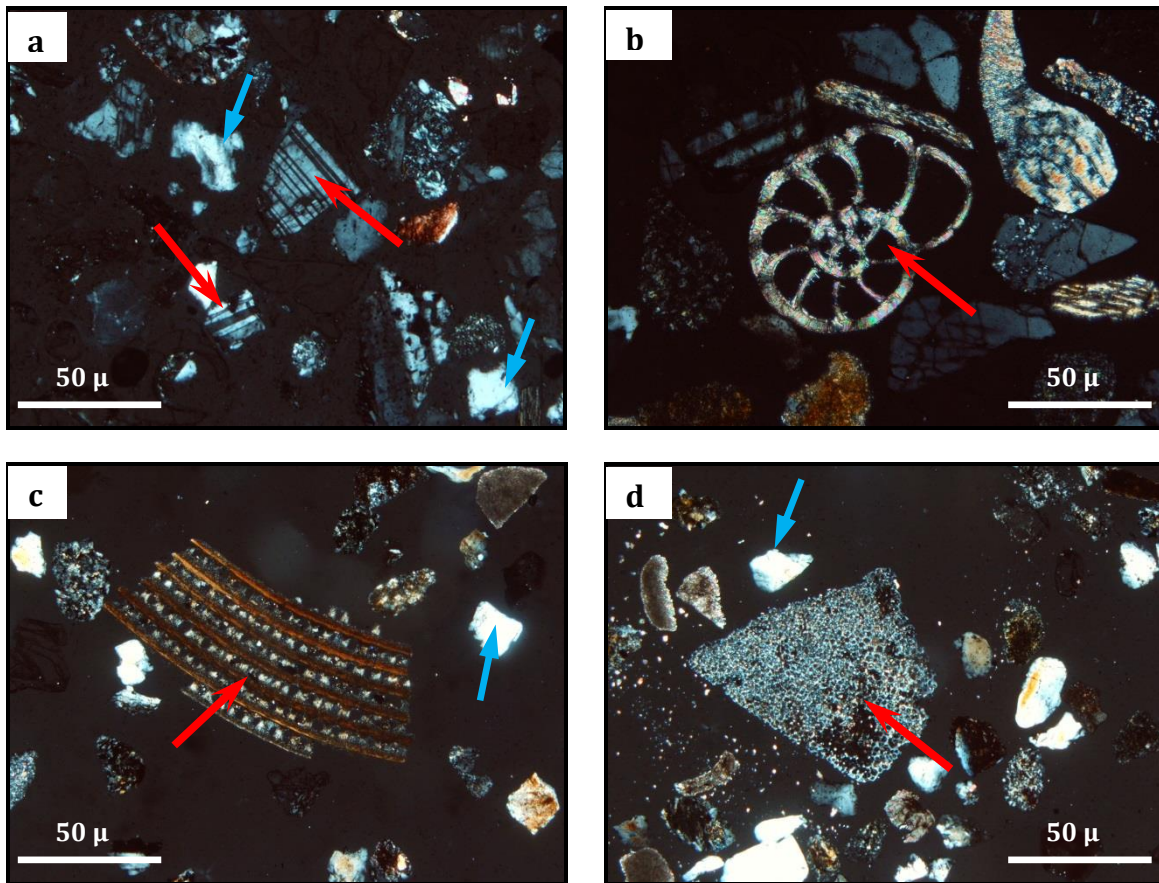


Figura 16. Los cuarzos son señalados con flechas azules, y en rojo los diferentes líticos, biógenos y otros minerales. a) Plagioclasas, b), c) y d) biógenos de la playa de la Cd. de Veracruz.

El diagrama ternario de clasificación de Folk (1974) agrupa el contenido de cuarzo total, feldespato total y líticos totales, para clasificar las fracciones arenosas (Figura 17). Se observa que la mayoría de las muestras de arena de la playa de Nautla y Río Nautla corresponden a la clasificación de litarenita, mientras que las arenas de la playa de la Cd. de Veracruz caen en dos campos: litarenita félsica y litarenita.

De acuerdo con esta clasificación, las muestras de arena de la playa de Nautla y Río Nautla son litarenita, lo que sugiere una influencia importante de líticos volcánicos en la playa de la región, es decir que los materiales fueron probablemente aportados por afloramientos de rocas ígneas extrusivas de composición básica e intermedia, de acuerdo al bajo contenido en cuarzo. Mientras que las muestras de arena de la playa



de la Cd. de Veracruz son litarenitas félsicas y litarenitas de rocas ígneas de composición ácida.

Tabla 8. Porcentaje modal de los minerales y líticos presentes en la fracción arenosa de los sedimentos de la playa de Nautla, Río Nautla y la playa de la Cd. de Veracruz.

MUESTRA	Q <sub>T</sub>	F <sub>T</sub>	Pl	Lv	Ls	Lm	Lp	MP	Biog	Total %
Nau 1	19.67	2.33	6.00	44.33	3.67	1.67	1.67	20.67	0.67	100
Nau 3	15.00	4.00	1.33	46.67	1.67	1.00	1.00	29.00	0.33	100
Nau 5	18.00	0.33	2.33	61.00	0.33	0.67	0.67	16.33	0.33	100
Nau 7	16.00	1.33	0.33	55.00	0.33	0.67	0.33	25.67	0.33	100
Nau 9	17.00	3.33	1.00	48.33	2.67	0.33	0.00	26.33	0.33	100
Rnau6	39.33	3.33	7.00	24.67	0.67	1.33	1.33	17.33	1.00	100
Rnau7	43.00	3.00	6.00	32.33	1.00	0.33	0.33	21.00	0.33	100
Rnau8	40.33	2.33	5.33	32.00	1.33	0.00	0.33	17.00	0.67	100
Rnau9	34.67	2.33	4.33	32.00	3.00	0.00	0.67	22.00	0.67	100
Rnau10	36.00	2.00	2.67	32.33	2.33	0.00	0.33	23.67	0.33	100
Ver 2	40.67	4.67	6.00	3.67	18.33	0.00	0.67	1.33	24.33	100
Ver 4	47.00	3.00	7.33	2.33	25.00	0.00	0.33	1.67	12.67	100
Ver 6	48.67	4.00	3.33	4.67	21.00	0.00	0.67	3.00	14.33	100
Ver 8	53.00	7.00	5.67	3.00	15.67	0.00	0.33	2.33	12.00	100
Ver 10	49.67	2.67	1.67	1.00	26.00	0.00	0.67	1.33	16.67	100

Q<sub>T</sub>: Cuarzo total, F<sub>T</sub>: Feldespatos totales, Pl: Plagioclasas, Lv: Líticos volcánicos, Ls: Líticos sedimentarios, Lm: Líticos metamórficos, Lp: Líticos plutónicos, MP: Minerales Pesados, Biog: Biógenos

En el diagrama ternario para distinguir los tipos de líticos (Lv-Ls-(Lp+Lm), Potter, 1994) de la Figura 18 revela que la composición de los sedimentos de la playa de Nautla y el Río Nautla están controlados por detritos volcánicos, mientras que los sedimentos de la Cd. de Veracruz están más enriquecidos en fragmentos líticos sedimentarios. El enriquecimiento de fragmentos líticos en los sedimentos de las playas de Nautla y el Río Nautla puede ser por la resistencia a la abrasión de los fragmentos líticos volcánicos y al corto transporte de los sedimentos de la fuente volcánica a la playa (Marsaglia, 1993).

El diagrama ternario de Minerales Pesados-Cuarzo total-Líticos Totales (MP-C<sub>T</sub> LT, Figura 19) indica que las arenas de la playa de Nautla y Río Nautla presentan un

contenido mayor de minerales pesados en comparación con las arenas de la playa de Veracruz. La playa de Nautla muestra un claro enriquecimiento de fragmentos líticos, sin embargo, la playa de Veracruz muestra alto contenido de cuarzo, como se remarcó en los demás diagramas.4

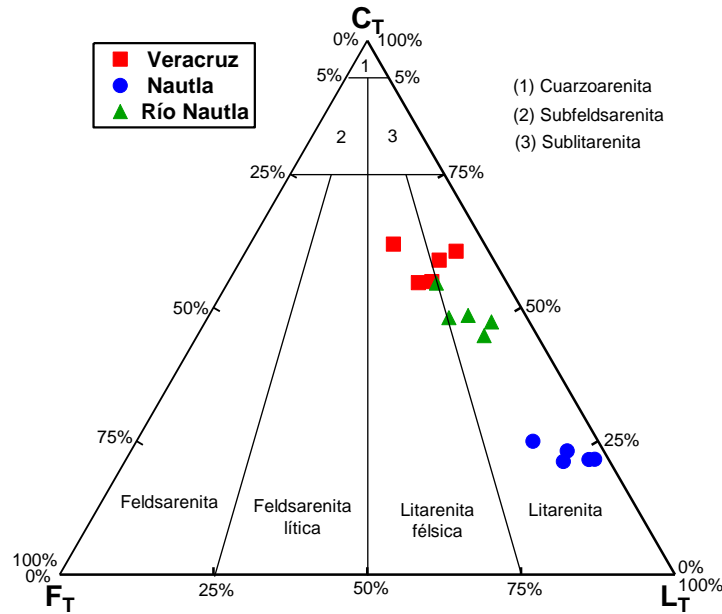


Figura 17. Diagrama de clasificación de Folk (1974) para las arenas de las playas de Nautla, Veracruz y el Río Nautla. CT=cuarzo total, FT=K+P (K=feldespatos potásicos, P=plagioclasas) y LT=líticos totales.

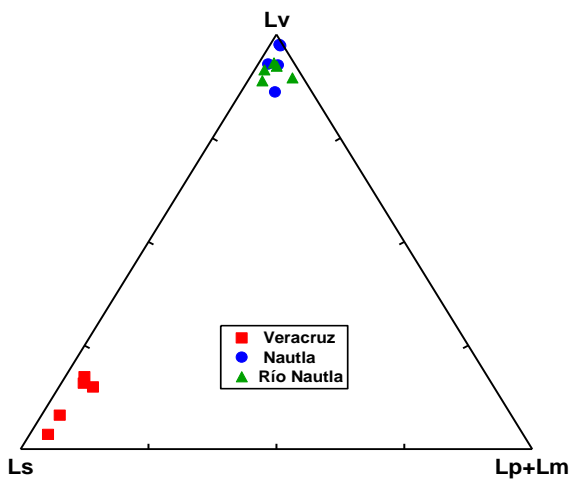


Figura 18. Diagrama ternario de Dickinson (1985), Lv-Ls-(Lm+Lp) para las arenas de playa y río. Lv=Líticos volcánicos, Ls=Líticos sedimentarios, Lm=Líticos metamórficos, Lp=Líticos plutónicos.

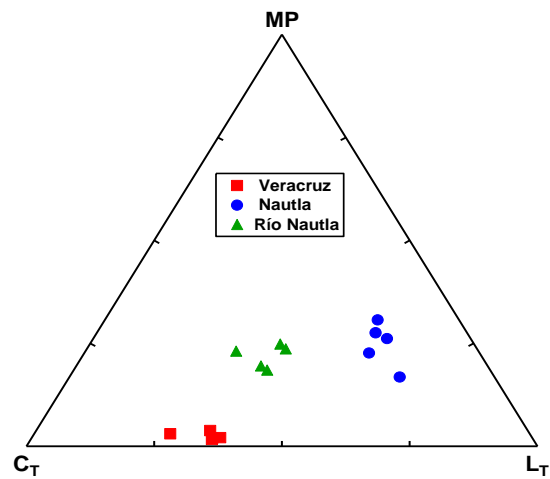


Figura 19. Diagrama ternario de Dickinson (1985), MP-CT-LT para las arenas de playa y río. MP= Minerales Pesados, CT=Cuarzo total, LT=Líticos totales.

#### **4.4. ANÁLISIS GEOQUÍMICO**

La aplicación de la geoquímica resultó muy útil para los estudios de procedencia en los sedimentos de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla. Las variaciones en la composición química de los sedimentos de estas playas indican cambios en la mineralogía debido a los efectos de meteorización, transporte y/o procesos diagenéticos. Los sedimentos fueron analizados por métodos geoquímicos de elementos mayores, trazas y Tierras Raras, para evaluar las características de la roca fuente en las arenas de playa.

##### **4.4.1. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES**

Se consideran elementos mayores a todos aquellos que se encuentran en concentraciones mayores al 1% en peso (1000ppm), en las rocas y que forman todos los minerales presentes en ellos. La concentración de dichos elementos se reportan tradicionalmente como óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (total),  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Rollingson, 1993). La suma total de todos los óxidos debe ser cercana al 100%. El análisis cuantitativo de los elementos mayores en los sedimentos es útil para nombrar y clasificar la roca sedimentaria, sugerir la procedencia del sedimento, así como el nivel de intemperismo alcanzado. En la Tabla 9 se presentan los resultados de los análisis geoquímicos de elementos mayores para las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla.

Tabla 9. Concentraciones de elementos mayores (% en peso) de las muestras de las playas de Nautla (NAU), la Cd. de Veracruz (Ver) y Río Nautla (Rnau).

MUESTRA	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup>	MnO	MgO	CaO	NaO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
Nau01	63.57	0.96	14.42	5.92	0.08	2.58	5.08	3.06	2.10	0.2	100
Nau02	60.24	1.07	13.94	6.71	0.09	3.12	6.18	2.88	1.89	0.23	100
Nau04	58.05	0.90	13.13	5.90	0.08	2.67	7.64	2.69	1.74	0.24	100
Nau05	51.92	0.81	11.15	6.23	0.10	3.15	10.96	2.18	1.44	0.23	100
Nau06	62.26	1.03	14.17	6.51	0.09	3.06	5.57	2.92	1.96	0.20	100
Nau07	63.38	1.03	15.36	6.18	0.07	2.21	4.74	3.15	2.25	0.11	100
Nau10	60.05	1.06	13.25	7.00	0.10	3.48	6.54	2.79	1.76	0.24	100
Nau11	58.03	1.13	11.06	8.09	0.13	5.27	7.95	2.08	1.33	0.22	100
Nau13	57.71	0.95	12.39	6.74	0.1	3.32	7.85	2.66	1.69	0.23	100
Nau14	55.82	1.37	12.85	9.18	0.14	5.56	8.23	2.54	1.54	0.28	100
Rnau1	69.525	0.671	13.332	4.312	0.054	1.432	2.846	2.905	2.304	0.047	100
Rnau2	69.54	0.764	13.223	4.729	0.06	1.444	2.958	2.719	2.234	0.046	100
Rnau3	67.434	1.094	12.914	6.595	0.083	1.702	3.591	2.852	2.001	0.03	100
Rnau4	69.014	0.721	13.716	4.404	0.06	1.225	2.95	3.166	2.436	0.036	100
Rnau5	66.481	1.122	13.553	6.673	0.087	1.738	3.581	2.962	2.073	0.043	100
Rnau6	65.22	1.529	12.121	9.158	0.097	1.957	3.549	2.646	1.943	0.044	100
Rnau8	68.421	0.982	12.932	6.149	0.069	1.408	2.809	2.821	2.222	0.031	100
Rnau9	69.588	0.633	14.229	4.058	0.052	1.352	2.596	2.82	2.3	0.044	100
Ver01	75.35	0.37	11.82	2.55	0.03	0.68	1.56	2.40	2.58	0.08	100
Ver02	71.71	0.34	11.47	2.63	0.03	0.99	4.22	2.34	2.58	0.08	100
Ver03	75.29	0.36	11.74	2.43	0.03	0.56	1.60	2.45	2.60	0.07	100
Ver04	76.47	0.39	11.58	2.31	0.02	0.54	1.56	2.38	2.53	0.04	100
Ver05	75.19	0.39	11.87	2.41	0.03	0.49	1.57	2.45	2.94	0.05	100
Ver06	75.90	0.37	12.12	2.40	0.02	0.55	1.50	2.42	2.66	0.05	100
Ver07	74.65	0.36	12.34	2.39	0.03	0.43	1.40	2.55	2.98	0.04	100
Ver09	73.17	0.36	12.16	2.58	0.03	0.61	1.55	2.45	2.80	0.07	100
Ver10	70.13	0.35	11.67	2.72	0.04	0.99	4.53	2.45	2.66	0.10	100
Ver11	70.32	0.34	11.33	2.60	0.04	0.93	3.99	2.26	2.42	0.08	100
Ver12	67.95	0.34	11.07	2.61	0.04	0.94	6.18	2.16	2.45	0.11	100
Ver13	68.29	0.32	10.88	2.55	0.06	1.00	6.09	2.18	2.32	0.09	100
Ver14	67.21	0.32	11.23	2.62	0.04	1.03	6.20	2.27	2.43	0.11	100
Ver15	68.14	0.35	11.80	2.79	0.04	1.05	5.18	2.32	2.57	0.10	100
Ver16	73.59	0.37	12.33	2.89	0.03	0.80	1.98	2.49	2.68	0.11	100

Se realizó una comparación de datos de elementos mayores de los sedimentos de las áreas de estudio con los valores de la Corteza Continental Superior (por sus siglas en inglés UCC, Upper Continental Crust). Se observa que la playa de Nautla y el Río Nautla presentan una concentración ligeramente menor con respecto a la UCC en el contenido de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , y en concentración mucho menor en  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , por lo que, posiblemente los sedimentos de la playa y del Río Nautla tengan un menor contenido de feldespato K y plagioclasas. Sin embargo, muestra un enriquecimiento en elementos mayores como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{MnO}$ , indicando la presencia de minerales pesados, aunque en menor cantidad en el Río Nautla, debido a las concentraciones ligeramente menores (Figura 20).

En la playa de la Cd. de Veracruz presenta una concentración en  $\text{SiO}_2$  muy semejante a la UCC y ligeramente menor en el contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . El empobrecimiento de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  y  $\text{MnO}$  indican la ausencia de minerales pesados. El ligero enriquecimiento de  $\text{K}_2\text{O}$  en la playa de la Cd. de Veracruz en comparación con las otras playas puede indicar el contenido de feldespato K y plagioclasa en los sedimentos (Figura 20).

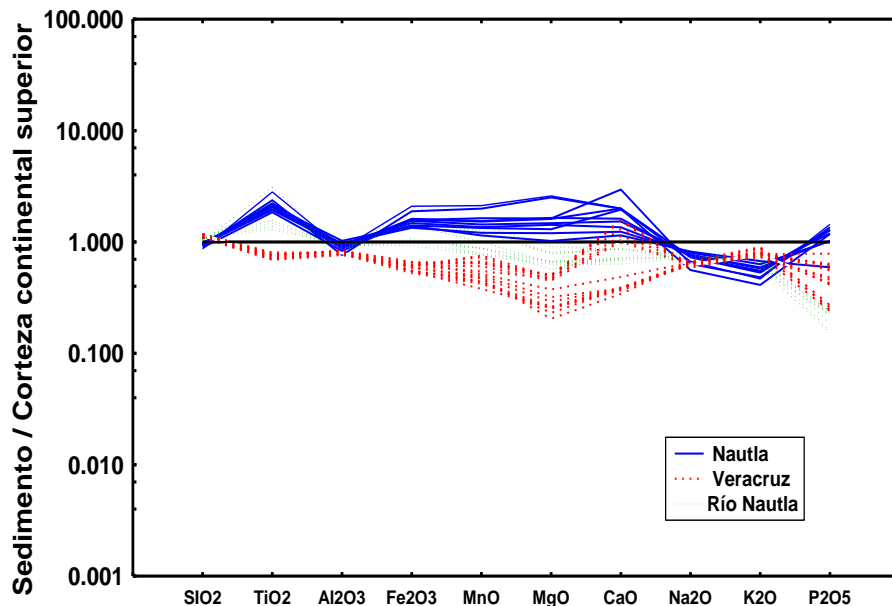


Figura 20. Diagrama de los elementos mayores normalizados con Corteza Continental Superior. Los valores fueron tomados de Taylor y McLennan (1985).



**4.4.1.1. Clasificación geoquímica**

El contenido de SiO<sub>2</sub> en los sedimentos la playa de Nautla varía de 51% al 64% con un promedio de 59%, para la playa de la Cd. de Veracruz varía del 67% a 76% con un promedio de 72% y para el Río de Nautla del 65% al 70% con un promedio de 68%, como se muestra en la Figura 21 Estos valores permiten clasificar los sedimentos de la playa de Nautla como de composición intermedia, mientras que los sedimentos del Río Nautla son de composición félsica, así como las de la playa de la Cd. de Veracruz.

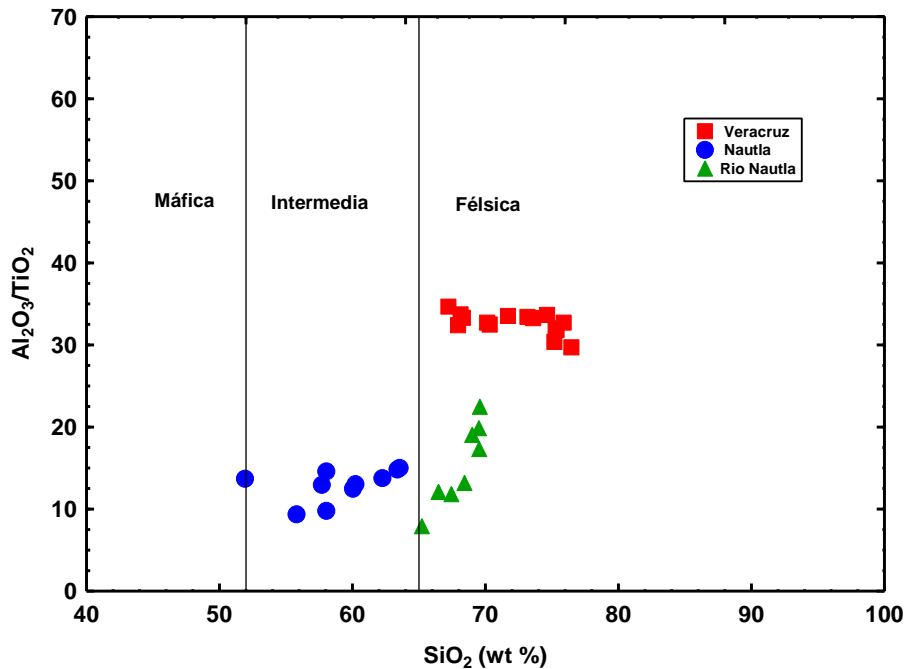


Figura 21. Diagrama de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> versus SiO<sub>2</sub>, para clasificar los tipos de sedimento de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla (Le Bas *et al.*, 1986).

En general, la concentración de minerales pesados (ilmenita, magnetita, entre otros) presentes en los sedimentos está directamente relacionado con el contenido de TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En la Figura 22 se presentan las variaciones en TiO<sub>2</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de los sedimentos de estudio. La playa de Nautla muestra una mayor presencia de minerales pesados, debido a la correlación positiva que presenta en estos elementos (r=0.89). Los sedimentos del Río Nautla tienen una correlación positiva perfecta (r=1), es decir, conforme aumenta el contenido de TiO<sub>2</sub>, también se incrementa el contenido de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, indicando la presencia de minerales pesados. Sin embargo, la playa de la Cd. de

Veracruz indica una menor proporción de minerales pesados, debido a su correlación negativa significativamente baja ( $r=-0.44$ ).

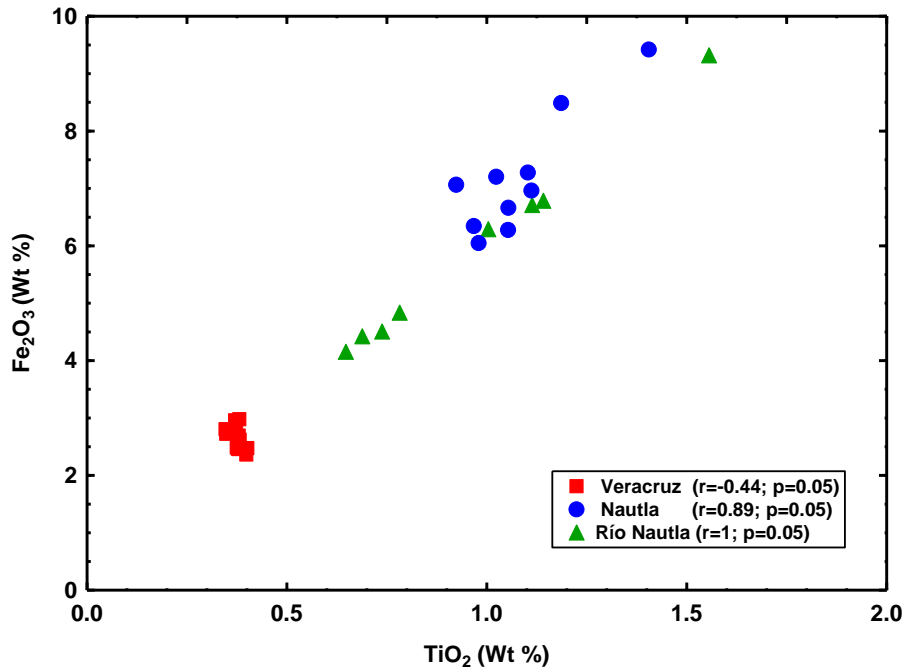


Figura 22. Diagrama bivariado de TiO<sub>2</sub> versus Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de las arenas de la playa de Veracruz.

Otra clasificación geoquímica de sedimentos clásticos que se usó en el presente trabajo utiliza la relación  $\text{Log} (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  (Potter, 1978) que refleja la abundancia de cuarzo, así como, el contenido de arcillas y feldspatos y la relación  $\text{Log} (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$  (Pettijohn *et al.*, 1972) que se refiere al índice de madurez químico. En la Figura 23 se observa que las muestras de la playa de Nautla y Río Nautla caen en el campo de las gravacas, mientras que las muestras de la playa de la Cd. de Veracruz se agrupan en el campo de las litoarenitas. El incremento en la relación  $\text{Log} (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$  de los sedimentos de la playa de Veracruz indica que su madurez composicional es mayor que las arenas de Nautla. Este resultado es consistente con la petrografía, donde la playa de la Cd. de Veracruz muestra un incremento en el contenido de cuarzo en comparación con la playa de Nautla y Río Nautla (Tabla 8).

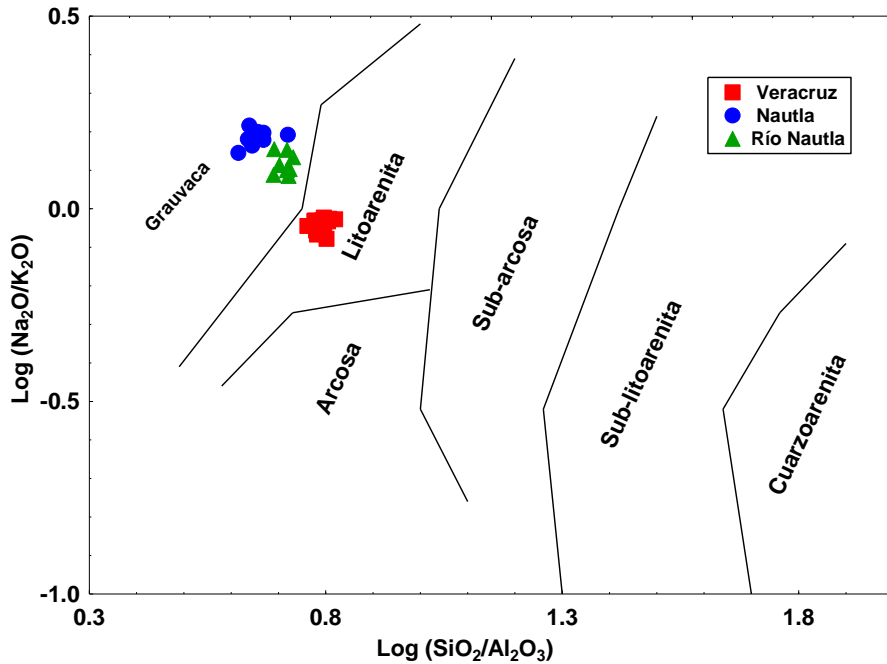


Figura 23. Clasificación geoquímica de las arenas de playa, utilizando el diagrama: Log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-Log(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O) (Pettijohn *et al.*, 1972).

Herrón (1988) modificó el diagrama de Pettijohn *et al.* (1972), al cambiar el parámetro del eje vertical por Log(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>O), en lugar de Log(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O). La relación Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>O permite a las arcosas ser mucho mejor clasificadas, y es también una medida de la estabilidad mineral. Por lo tanto, en el diagrama de Herrón (1988) de la Figura 24 se observa que, las muestras de arena de la playa de Nautla se encuentran en los límites entre lutita y lutita-Fe. Las muestras del Río Nautla caen en los campos de grauvaca y los límites del campo de la lutita, a excepción de la muestra Rnau06 que se ubicó en el campo de la arena-Fe, mientras que la mayor parte de las muestras de arena de la playa de la Cd. de Veracruz se encuentra en el campo de las lito-arenitas y en los límites de la arcosa. Esto indica la alta proporción de líticos presentes en las muestras del Río y la playa de Nautla. Mientras que en la playa de la Cd. de Veracruz se observan altos contenidos de cuarzo. Esta clasificación es consistente con los datos petrográficos, del diagrama ternario de CFL de la Figura 17, donde se observa que las muestras de la Cd. de Veracruz caen el campo de las litarenitas (félsicas) y las de Nautla en el campo de las litarenitas con menores cantidades de cuarzo.

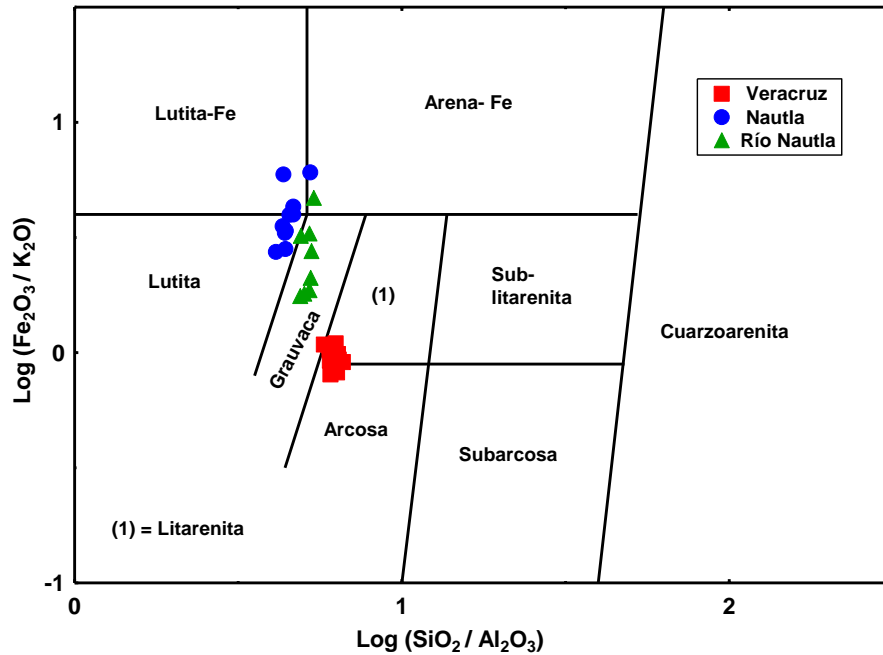


Figura 24. Clasificación geoquímica de las arenas de playa, utilizando el diagrama:  $\text{Log} (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ - $\text{Log} (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (Herrón, 1988).

La relación  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es un índice comúnmente utilizado para conocer la madurez de los sedimentos. Los valores de estos elementos van a cambiar durante la meteorización, el transporte y sedimentación debido a un aumento en el contenido de cuarzo o a la disminución de los componentes menos resistentes como el feldespato, anfíbol, y fragmentos líticos. En este estudio, el contenido de aluminio varía de 11-14.5% para la playa de Nautla, de 12-14.3% para el Río Nautla y de 11-12.5% para la playa de Veracruz (Figura 25). Esto indica que los altos contenidos de alúmina en la playa de Nautla y Río Nautla se deben a la influencia terrígena durante la depositación. Mientras que la playa de la Cd. de Veracruz muestra una disminución en el contenido de alúmina, pero un aumento en el contenido de sílice, lo que indica un alto porcentaje de cuarzo en las arenas y una madurez moderada para las arenas de ésta playa.

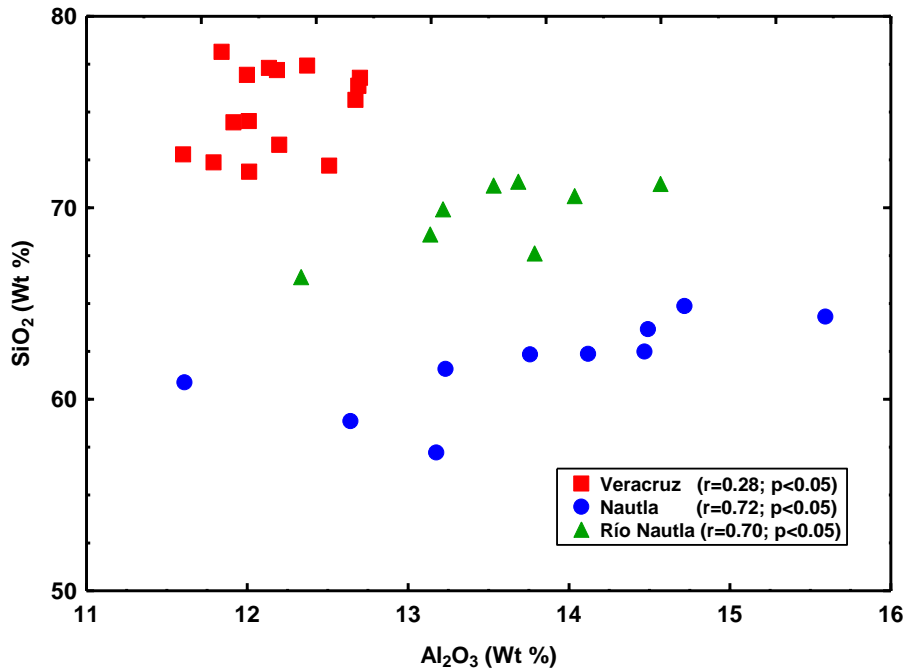


Figura 25. Diagrama bivalente de  $Al_2O_3$  y  $SiO_2$ , para la madurez de las arenas de playa.

#### 4.4.1.2. Paleo-intemperismo

La alteración de los minerales debido a la meteorización química depende principalmente de la intensidad y la duración de la meteorización. El proceso dominante durante la meteorización química de la parte superficial de la corteza es la degradación de los feldespatos y la formación de minerales arcillosos. Durante la meteorización, el calcio, el sodio y el potasio son más móviles y/o solubles en condiciones superficiales por lo tanto, incrementa la proporción de alúmina en los productos de la meteorización (Nesbitt *et al.*, 1980).

El diagrama ternario de  $Al_2O_3 - CaO+Na_2O - K_2O$  (Figura 26) se utilizó para evaluar la composición de los sedimentos de las playas ricas en plagioclasa o feldespato potásico (Nesbitt y Young, 1984; 1989; Nesbitt *et al.*, 1996). Se puede observar en el diagrama (Figura 26) que las muestras de las 3 áreas de estudio (las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla) caen cerca del apéndice del  $CaO+Na_2O$ , indica que los sedimentos presentan un contenido más rico en plagioclasas que en feldespatos,

razón por la cual se acercan más a la composición de las rocas andesitas y andesita basáltica que a las riolitas.

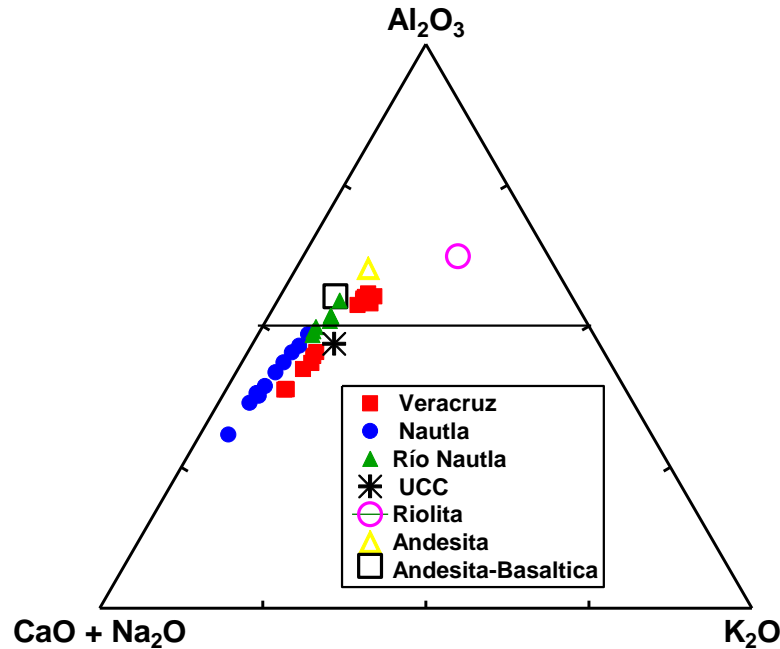


Figura 26. Diagrama ternario de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO+Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O que indica el contenido mineral de acuerdo a la composición de los sedimentos (Nesbitt y Young, 1984).

#### 4.4.2. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TRAZA

Un elemento traza es aquel que se encuentra en concentraciones menores al 0.1% en peso, es decir, en concentraciones menores a 1000 partes por millón (ppm). Son útiles en la determinación de procedencia, debido a la baja movilidad que presentan bajo condiciones geológicas ya previstas. Se presentan en minerales resistentes a la meteorización y transporte de los sedimentos. Por lo tanto conservan material parental del cual provienen (McLennan *et al.*, 1993).

Los elementos traza que pueden sustituir a los elementos mayores, se estudian en conjuntos de acuerdo con sus características geoquímicas, las cuales son utilizadas como importantes trazadores de procesos en el manto. De acuerdo con su comportamiento en los sistemas magmáticos estos se dividen en elementos compatibles e incompatibles.

Los elementos incompatibles se concentran principalmente en la fase líquida durante la fusión y cristalización del magma, teniendo un coeficiente de partición menor a 1. Los elementos que son incompatibles con respecto a la mineralogía del manto (olivino, piroxeno, espinela y granate) son llamados elementos de radio iónico grande (LILE, por sus siglas en inglés: large-ion-lithophile elements), ejemplos de estos elementos son el K, Rb, Sr y Ba. Existen otros elementos incompatibles como las Tierras Raras (REE). Por el contrario, los elementos compatibles con un coeficiente de partición mayor a 1 (Ni y Cr) son retenidos en la fase sólida durante la fusión parcial y la cristalización fraccionada.

En la Tabla 10 se muestran los resultados de algunos elementos traza obtenidos por medio del ICP-MS que se obtuvieron para las 10 muestras de la playa de Nautla, las 8 muestras del Río Nautla y las 15 muestras de la playa de la Cd. de Veracruz.

#### **4.4.2.1. Elementos litófilos de radio iónico grande (LILE): Rb, Ba y Sr.**

Las correlaciones observadas en los diagramas binarios (Rb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Figura 27 y Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Figura 28) no son significativas. Cullers (1988) mencionó que los feldespatos controlan las concentraciones de Ba y Rb. Estos elementos de radio iónico grande y bajo potencial iónico son móviles y solubles. Por tal motivo en las áreas de estudio de este trabajo (playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla), los sedimentos están empobrecidos en el contenido de feldespatos como se muestra en el Análisis Petrográfico y como se observa también en la concentraciones como elementos traza en comparación con las concentraciones promedio de la Corteza Continental Superior (UCC) de la Figura 29.

De acuerdo con el contenido de Sr, solo se observa el enriquecimiento en los sedimentos de la playa de Nautla, lo cual se debe al tamaño de grano de los sedimentos (arenas gruesa) ya que, a medida que va disminuyendo el tamaño de grano, las concentraciones de Sr tienen a disminuir también como se observa en la playa de la Cd. de Veracruz y el Río Nautla (arenas finas).

Tabla 10. Concentración de Elementos Traza en ppm para los sedimentos de la playa de Nautla (Nau), Río Nautla (Rnau) y la playa de la Cd. de Veracruz (Ver).

ppm	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y
<b>Nau 1</b>	12.74	117.45	67.92	15.05	26.70	25.41	58.99	56.64	477.10	12.25
<b>Nau 2</b>	12.81	131.57	77.59	16.86	30.37	23.52	59.05	45.34	470.82	12.84
<b>Nau 4</b>	7.91	120.01	68.00	14.89	26.03	20.26	53.03	26.93	426.60	8.75
<b>Nau5</b>	8.35	117.11	72.77	15.99	31.23	21.36	53.53	24.28	411.65	8.20
<b>Nau 6</b>	19.22	134.49	79.30	17.31	31.50	24.44	60.66	55.45	500.75	12.90
<b>Nau 7</b>	21.82	125.65	61.21	14.30	21.44	22.36	67.42	61.26	597.95	18.75
<b>Nau 10</b>	14.95	144.02	94.79	18.70	34.81	24.52	71.14	50.83	460.14	14.83
<b>Nau11</b>	22.71	170.31	131.44	24.15	53.24	21.56	79.24	36.93	371.35	18.51
<b>Nau 13</b>	16.91	136.74	86.59	17.96	33.23	20.89	65.50	46.60	473.77	16.18
<b>Nau14</b>	22.69	196.01	148.54	26.91	59.96	25.95	81.39	41.39	451.54	18.18
<b>Rnau1</b>	12.49	93.03	36.38	6.81	13.47	27.25	35.84	23.01	203.82	3.04
<b>Rnau2</b>	5.92	89.16	27.45	6.48	12.54	20.43	34.53	21.09	124.66	4.78
<b>Rnau3</b>	6.22	147.13	40.56	7.29	12.87	19.75	37.39	15.10	93.27	5.16
<b>Rnau4</b>	6.06	88.47	24.10	5.09	9.30	17.78	31.16	16.55	95.84	3.77
<b>Rnau5</b>	11.31	175.84	57.84	9.72	14.13	24.78	46.16	29.88	307.77	7.11
<b>Rnau6</b>	8.97	228.46	78.33	11.52	16.74	30.57	62.36	28.31	238.57	8.20
<b>Rnau8</b>	7.16	159.42	63.09	8.31	14.27	32.95	42.48	27.74	195.51	5.93
<b>Rnau9</b>	8.06	97.37	35.50	7.05	13.81	25.48	41.28	57.19	280.58	9.21
<b>Ver1</b>	56.73	43.36	41.48	14.55	17.2	45.97	68.05	75.63	230.29	10.7
<b>Ver2</b>	58.71	47.05	45.52	10.76	22.23	52.57	167.9	76.54	340.74	15.1
<b>Ver3</b>	54.7	43.36	46.27	20.73	24.37	56.79	72.6	77.1	241.67	10.2
<b>Ver4</b>	72.74	46.32	49.26	24.34	23.16	43.67	57.25	79.65	257.21	10.1
<b>Ver5</b>	76.48	48.83	44.87	32.65	27.02	61.31	87.46	86.15	273.23	11.7
<b>Ver6</b>	64.62	42.29	43.1	28.72	20.9	45.57	112.6	84.05	248.49	10.9
<b>Ver7</b>	59.91	40.67	43.1	18.62	31.53	50.72	84.24	91.35	214.37	14.2
<b>Ver8</b>	74.38	42.72	38.83	13.85	27.12	55.28	98.66	81.6	219.86	13.2
<b>Ver9</b>	64.25	44.46	43.28	33.01	31.9	81.2	90.36	80.3	323.75	18.8
<b>Ver10</b>	61.93	43.29	42.89	26.01	30.54	55.88	97.02	69.72	297.77	13.4
<b>Ver11</b>	44.67	46.93	45.93	8.0	30.82	31.06	72.64	67.42	356.41	14.7
<b>Ver12</b>	69.39	47.33	49.21	10.40	49.73	52.75	128.5	72.57	403.05	16.8
<b>Ver14</b>	51.07	41.03	37.76	16.14	39.67	41.94	69.16	67.2	352.16	14
<b>Ver15</b>	63.97	46.09	41.78	14.45	53.12	51.74	80.96	74.59	353.86	16.6



Continuación de la Tabla 10.

ppm	Zr	Nb	Mo	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	U	Th
<b>Nau 1</b>	170.60	17.92	1.42	1.99	607.12	4.69	5.84	13.08	2.55	7.56
<b>Nau 2</b>	153.89	17.20	1.25	1.53	557.97	4.21	5.47	10.73	2.25	6.34
<b>Nau 4</b>	128.02	15.27	1.18	0.60	522.13	3.47	4.95	10.46	2.14	4.22
<b>Nau5</b>	111.69	13.63	1.07	0.64	480.50	3.03	4.30	9.49	1.87	2.90
<b>Nau 6</b>	170.95	18.68	1.35	1.93	634.67	4.77	6.15	11.70	2.52	7.52
<b>Nau 7</b>	173.21	20.64	1.46	2.28	750.79	4.91	8.89	13.11	2.70	12.36
<b>Nau 10</b>	142.91	17.09	1.23	1.71	542.53	4.16	6.11	10.77	2.15	6.61
<b>Nau11</b>	117.76	14.24	1.07	1.36	440.25	3.65	4.60	8.93	1.65	5.56
<b>Nau 13</b>	140.74	15.87	1.18	1.66	548.70	3.95	4.99	10.52	2.16	6.84
<b>Nau14</b>	159.87	18.31	1.24	1.46	523.79	4.82	5.94	9.90	2.16	7.06
<b>Rnau1</b>	106.47	12.15	1.35	0.45	405.31	2.58	7.91	13.30	2.18	2.762
<b>Rnau2</b>	22.08	3.40	0.46	1.54	103.01	0.76	-0.28	5.28	0.92	6.458
<b>Rnau3</b>	21.50	3.83	0.60	1.24	58.97	0.72	-0.35	4.68	0.59	3.234
<b>Rnau4</b>	20.64	3.29	0.45	1.35	63.39	0.69	-0.25	3.23	0.54	2.728
<b>Rnau5</b>	109.58	15.19	1.39	0.87	491.17	2.61	9.30	8.75	2.08	4.693
<b>Rnau6</b>	29.20	7.64	0.72	1.37	290.50	1.07	-0.34	8.07	0.88	4.585
<b>Rnau8</b>	112.60	15.01	1.57	0.63	327.66	2.73	9.22	16.28	2.37	4.487
<b>Rnau9</b>	115.65	12.58	1.57	1.24	480.77	2.77	8.19	11.82	2.41	6.757
<b>Ver1</b>	141	13.6	2.81	3.19	540.99	3.96	1.5	17.2	2.16	7.53
<b>Ver2</b>	147	12.4	2.54	3.43	537.15	3.79	1.2	17.8	2.24	7.38
<b>Ver3</b>	142.4	12.8	2.62	3.34	549.89	3.87	1.17	13.5	2.09	6.91
<b>Ver4</b>	147.8	13.2	2.59	3.38	619.27	3.8	1.27	14.3	2.05	7.37
<b>Ver5</b>	165.2	16.4	2.96	3.51	619.34	4.15	1.78	14.7	2.23	7.74
<b>Ver6</b>	154.4	14.1	2.68	3.62	570.22	4.04	1.31	12.7	2.29	8.43
<b>Ver7</b>	157.9	15.6	3.17	3.74	517.7	4.39	1.52	13.9	2.96	10.8
<b>Ver8</b>	144.6	13.7	2.86	3.27	511.83	4.12	1.27	14.3	2.63	9.42
<b>Ver9</b>	145.9	13.9	3.02	3.37	499.81	3.99	1.33	17.9	2.82	9.59
<b>Ver10</b>	130	11.4	2.27	3.02	524.38	3.59	1.15	13.6	2.14	6.62
<b>Ver11</b>	132.6	11.4	2.9	2.98	479.28	3.61	0.99	13.2	2.24	7.46
<b>Ver12</b>	136.7	12.1	2.94	3.07	575.93	3.54	1.33	13.7	2.09	6.81
<b>Ver14</b>	128.2	11.1	2.12	3.11	463.3	3.44	1.04	14.4	2.3	7.38
<b>Ver15</b>	144.9	13.5	2.57	3.27	491.54	3.93	1.7	16	2.56	8.57

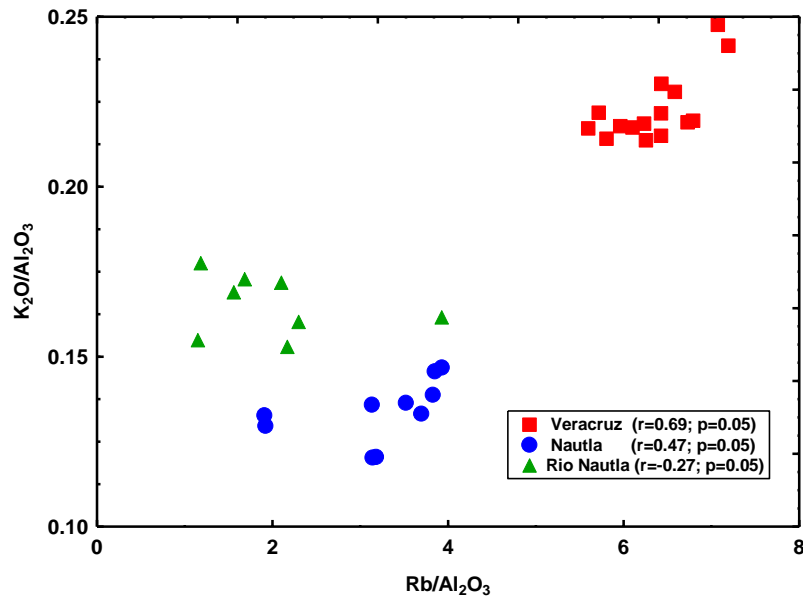


Figura 27. Diagrama binario  $Rb/Al_2O_3$  vs  $K_2O/Al_2O_3$  para los sedimentos de la playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla.

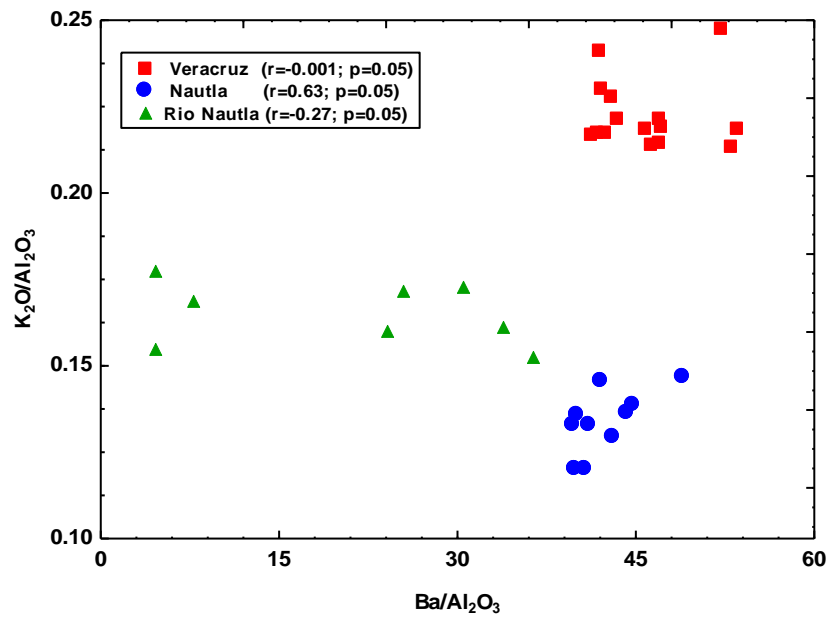


Figura 28. Diagrama binario  $Ba/Al_2O_3$  vs  $K_2O/Al_2O_3$  para los sedimentos de la playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla.

#### 4.4.2.2. Elementos de alto potencial iónico (HFSE): Zr, Nb, Hf, Th y Sc.

Los elementos de alto potencial iónico (por sus siglas en inglés HFSE, High Field Strength Elements) en comparación con los valores de la corteza continental superior (UCC) se encuentran generalmente empobrecidos en los sedimentos de las tres áreas de estudio. Considerando las áreas de estudio individualmente, los sedimentos de las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz muestran patrones similares en el contenido de Zr, Hf y Nb. Mientras que en el contenido de Th se observan variaciones en ambas playas. El Río Nautla por su parte, no muestra semejanzas en los patrones por lo tanto puede tener varias fuentes para los sedimentos.

#### 4.4.2.3. Elementos traza de transición (TTE) V, Cr, Co, Cu, Ni, y Sc

Las variaciones en los elementos traza de transición pueden indicar el fraccionamiento mineral durante el transporte o bien, las diferencias composicionales en las rocas de origen, debido a que estos elementos son inmóviles durante la meteorización.

De acuerdo con el diagrama de la Figura 29, el contenido de Co en los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz (~8 a 33) muestran una amplia dispersión en sus concentraciones al igual que los sedimentos de la playa de Nautla (~14 a 27) y Río Nautla (~5 a 12). Las concentraciones de Cu en los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz es de ~31 a 81, para los sedimentos de Nautla son de ~20 a 26 y para el Río Nautla de ~18 a 33. El Sc varía de ~45 a 76, ~8 a 23 y ~6 a 12 para las playas de la Cd. de Veracruz, Nautla y Río Nautla respectivamente. La concentración de V es muy baja para la playa de la Cd. de Veracruz de ~ 41-49, mientras que para Nautla y Río Nautla es de ~117 a 196 y ~89 a 228 respectivamente. Las concentraciones de Ni para la playa de la Cd. de Veracruz varía de ~17 a 53 y el contenido de Cr varia de ~38 a 49. Las concentraciones para la playa de Nautla son Ni de ~21 a 60 y Cr de ~61 a 149. Las altas concentraciones de estos elementos indican la procedencia de rocas de composición intermedia o máfica para los sedimentos de la playa de Nautla. Mientras

que las bajas concentraciones indicar una composición más félsica para los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz.

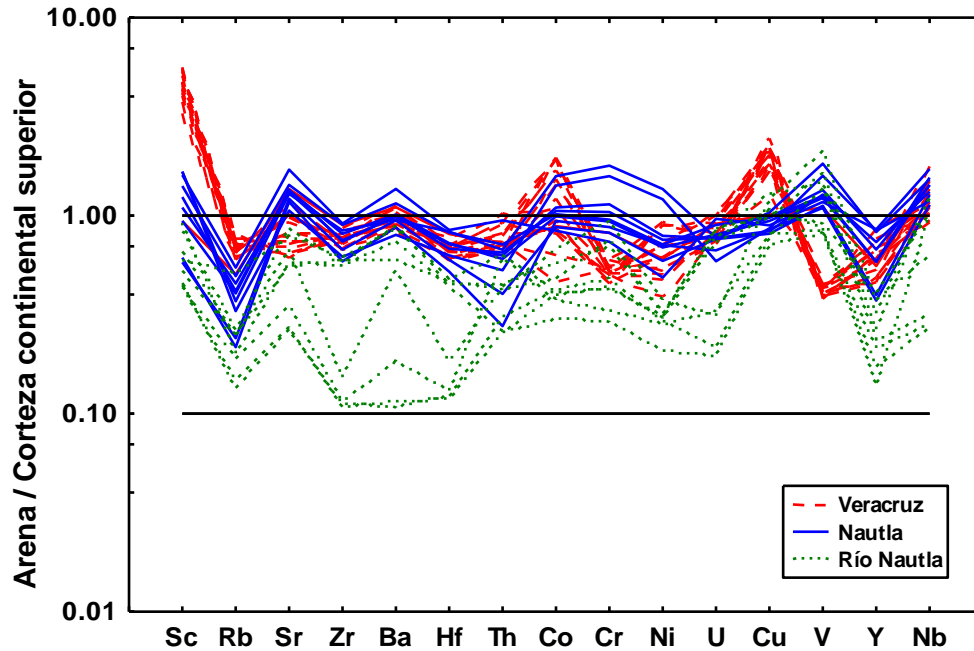


Figura 29. Diagrama normalizado de los elementos traza de los sedimentos de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla, con el promedio de la Corteza Continental Superior (Taylor y McLennan, 1985).

#### 4.4.3. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS TIERRAS RARAS

Los elementos de Tierras Raras (por sus siglas en inglés, REE) son un grupo de 15 elementos (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) con número atómico entre el 57 (La) y 71 (Lu). Los miembros con número atómico menor a 63 son llamados Tierras Raras Ligeras (LREE), mientras que aquellos de mayor número atómico mayor a 63 se conocen como Tierras Raras Pesadas (HREE). Estos elementos son de gran utilidad en estudios petrogenéticos de rocas ígneas, debido a que todas las Tierras Raras tienen comportamiento geoquímico similar, es decir, son trivalentes bajo la mayoría de condiciones geológicas, aunque algunos elementos de Tierras Raras también existen en estados de oxidación diferentes, tal es el caso del  $Ce^{4+}$  y  $Eu^{2+}$ . Además, se consideran los elementos traza menos solubles y son relativamente

inmóviles durante bajos grados de metamorfismo, intemperismo y alteración hidrotermal (Rollingson, 1993).

Las REE tienen propiedades químicas y físicas similares debido a su configuración electrónica, es decir, forman iones estables de carga  $3+$ . Las diferencias significativas en el comportamiento geoquímico son debidas al constante decremento observado en el tamaño iónico a medida que aumentamos el número atómico (“contracción de los lantánidos”). Estas pequeñas diferencias en tamaño y comportamiento son aprovechadas por procesos petrológicos que conllevan al fraccionamiento de las REE. Este último, es el fenómeno principal en geoquímica para estudiar la génesis de fuentes de rocas (magmas) y para descifrar los procesos petrológicos.

Los datos de las concentraciones de REE de las muestras del área de estudio, se presentan en la Tabla 11 expresadas en partes por millón (ppm). Los datos fueron normalizados con respecto a las abundancias de REE en meteoritos condriticos (Nakamura, 1974). Las condritas son utilizadas en la normalización debido a que son consideradas como materiales poco a nada fraccionados del Sistema Solar, los cuales pudieron haber sido similares a los que formaron la Tierra primitiva.

Los patrones de REE normalizados con condrita y el tamaño de la anomalía de Eu ya sea positiva o negativa, también ha sido utilizada para inferir fuentes de sedimentos clásticos (Basu *et al.*, 1982; Armstrong-Altrin, 2009; Madhavaraju y Lee, 2010; Fu *et al.*, 2011). Las rocas máficas usualmente contienen una baja relación en LREE/HREE (excepto en basaltos alcalinos) y la tendencia no muestra anomalías de Eu. Mientras que las rocas félsicas usualmente contienen mayores concentraciones en la relación LREE/HREE y exhiben una anomalía de Eu negativa (Cullers, 1994, 2000). Por lo tanto, los patrones de REE normalizados con condrita y la anomalía de Eu son de gran utilidad para identificar la naturaleza de la roca fuente.

Las concentraciones de REE para las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla tienen una amplia variación (Figura 30). La playa de Nautla presenta una variación de

la cantidad total de  $\Sigma$ REE de 109.39 a 161.29 ppm, la playa de la Cd. de Veracruz en  $\Sigma$ REE va de 81.12 a 121.48 ppm y el Río Nautla en  $\Sigma$ REE de 32.08 a 78.90 ppm. Para la mayoría de las muestras de sedimento, la  $\Sigma$ REE son generalmente menores que el promedio de la Corteza Continental Superior (UCC) (Taylor y McLennan, 1985), excepto para algunas muestras de la playa de Nautla.

Los sedimentos de la playa de Nautla (LREE: 97.84 a 142.68; HREE: 10.27 a 15.34), en comparación con los sedimentos de la Cd. de Veracruz (LREE: 70.95 a 106.67; HREE: 9.03 a 13.87), tienen mayor enriquecimiento en LREE, pero ambas presentan un patrón semejante en el contenido de HREE. Las arenas del Río Nautla se observan muy empobrecidas en LREE (28.72 a 70.52) y HREE (3.08 a 7.72) en comparación con el promedio de UCC.

Los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz se caracterizan por tener una anomalía negativa de Eu muy marcada. Esta anomalía fue calculada a través de la expresión  $Eu/Eu^* = (Sm_N * Gd_N)^{1/2}$ . Las variaciones en la anomalía de  $Eu/Eu^*$  son más altas en los sedimentos de la playa de Nautla (0.90-1.17) y Río Nautla (0.73-1.02), que en los sedimentos de la Cd. de Veracruz (0.61-0.83). Esto indica que los sedimentos de la playa de Nautla y probablemente los sedimentos del Río Nautla sean de un origen intermedio a máfico, mientras que los sedimentos de Veracruz proceden de una composición más félsica.

#### 4.4.4. PROCEDENCIA

La petrografía y la geoquímica son las herramientas más importantes para el análisis de procedencia de los sedimentos de playa. La composición de un sedimento no está determinada solo por la naturaleza de la roca fuente, también está en función del clima y el relieve dentro de la región donde se origina dicho sedimento. Cada tipo de roca tiende a producir conjuntos de minerales distintos y se utiliza como una guía para determinar la roca fuente, como se realizó en este trabajo con los siguientes diagramas.

Tabla 11. Concentración de elementos de Tierras Raras en ppm de la playa de Nautla, Río Nautla y la playa de Veracruz.

ppm	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
<b>Nau1</b>	22.22	46.19	5.23	20.34	3.94	1.35	3.78	0.52	2.75	0.53	1.51	0.20	1.33	0.20
<b>Nau2</b>	23.59	47.35	5.77	22.75	4.40	1.44	4.28	0.58	3.12	0.58	1.66	0.22	1.38	0.20
<b>Nau4</b>	22.07	44.60	5.51	21.60	4.07	1.27	3.82	0.51	2.63	0.49	1.35	0.17	1.13	0.16
<b>Nau5</b>	22.73	45.09	5.81	23.09	4.39	1.26	4.00	0.53	2.72	0.52	1.41	0.17	1.09	0.15
<b>Nau6</b>	24.08	48.17	5.75	22.84	4.42	1.49	4.29	0.58	3.10	0.59	1.67	0.22	1.43	0.21
<b>Nau7</b>	26.71	46.16	6.24	24.03	4.64	1.81	4.70	0.64	3.50	0.69	2.02	0.28	1.90	0.29
<b>Nau10</b>	25.07	45.49	6.13	24.57	4.92	1.57	4.71	0.62	3.43	0.63	1.79	0.23	1.55	0.22
<b>Nau11</b>	24.47	46.61	6.48	26.70	5.54	1.63	5.42	0.75	3.98	0.75	2.12	0.27	1.80	0.26
<b>Nau13</b>	25.94	51.54	6.39	25.47	4.98	1.54	4.92	0.67	3.54	0.68	1.90	0.25	1.62	0.25
<b>Nau14</b>	31.78	62.62	8.41	33.36	6.51	1.93	6.23	0.80	4.23	0.79	2.21	0.28	1.88	0.27
<b>Rnau1</b>	6.497	16.941	1.91	7.36	1.413	0.41	1.274	0.182	1.037	0.201	0.591	0.082	0.557	0.082
<b>Rnau2</b>	8.234	21.614	2.065	7.95	1.539	0.378	1.405	0.188	0.998	0.188	0.539	0.072	0.491	0.069
<b>Rnau3</b>	7.95	15.954	2.041	7.921	1.511	0.358	1.449	0.197	1.048	0.204	0.587	0.079	0.537	0.077
<b>Rnau4</b>	6.746	12.962	1.647	6.217	1.148	0.287	1.07	0.145	0.782	0.148	0.429	0.058	0.392	0.056
<b>Rnau5</b>	11.374	31.619	2.878	11.127	2.187	0.717	2.039	0.303	1.737	0.348	1.041	0.147	1.003	0.144
<b>Rnau6</b>	12.615	31.84	3.116	12.198	2.324	0.658	2.199	0.299	1.623	0.314	0.91	0.125	0.84	0.123
<b>Rnau8</b>	10.863	31.628	2.676	9.831	1.842	0.483	1.711	0.249	1.415	0.279	0.819	0.116	0.773	0.113
<b>Rnau9</b>	13.822	37.997	3.439	12.802	2.462	0.661	2.324	0.34	1.977	0.395	1.182	0.17	1.164	0.173
<b>Ver1</b>	18.75	33.69	3.63	12.12	2.76	0.72	2.56	0.39	2.52	0.49	1.53	0.24	1.51	0.22
<b>Ver2</b>	23.9	42.02	4.94	17.21	3.92	0.92	3.53	0.54	3.32	0.63	2.03	0.29	1.72	0.26
<b>Ver3</b>	18.19	32.02	3.45	11.46	2.68	0.63	2.42	0.36	2.42	0.46	1.53	0.23	1.43	0.22
<b>Ver4</b>	18.88	31.42	3.49	11.44	2.61	0.7	2.46	0.36	2.44	0.44	1.49	0.23	1.4	0.21
<b>Ver5</b>	20.61	34.92	3.84	12.68	2.91	0.75	2.81	0.41	2.6	0.49	1.62	0.25	1.57	0.23
<b>Ver6</b>	21.07	35.26	3.9	12.8	2.88	0.68	2.67	0.39	2.68	0.49	1.61	0.26	1.53	0.23
<b>Ver7</b>	23.51	40.75	4.42	14.69	3.34	0.63	2.91	0.46	3	0.55	1.85	0.28	1.85	0.26
<b>Ver9</b>	21.4	37.53	4.21	14.59	3.13	0.7	2.79	0.46	2.8	0.55	1.69	0.26	1.67	0.25
<b>Ver10</b>	27.04	48.82	5.71	20.67	4.43	0.94	3.91	0.64	3.75	0.74	2.19	0.34	2.01	0.3
<b>Ver11</b>	21.48	39.68	4.4	15.72	3.61	0.88	3.28	0.51	3.17	0.6	1.84	0.28	1.7	0.24
<b>Ver12</b>	23.4	41.78	4.85	17.25	3.84	0.88	3.53	0.54	3.29	0.61	1.92	0.28	1.75	0.25
<b>Ver13</b>	24.22	43.06	5.12	18.79	4.23	0.97	3.79	0.58	3.39	0.65	1.99	0.28	1.69	0.26
<b>Ver14</b>	22.9	41.16	4.71	17.12	3.84	0.88	3.54	0.56	3.34	0.63	1.93	0.29	1.75	0.26
<b>Ver15</b>	25.52	45.36	5.32	19.07	4.24	0.96	3.8	0.59	3.63	0.66	2.12	0.32	1.89	0.28

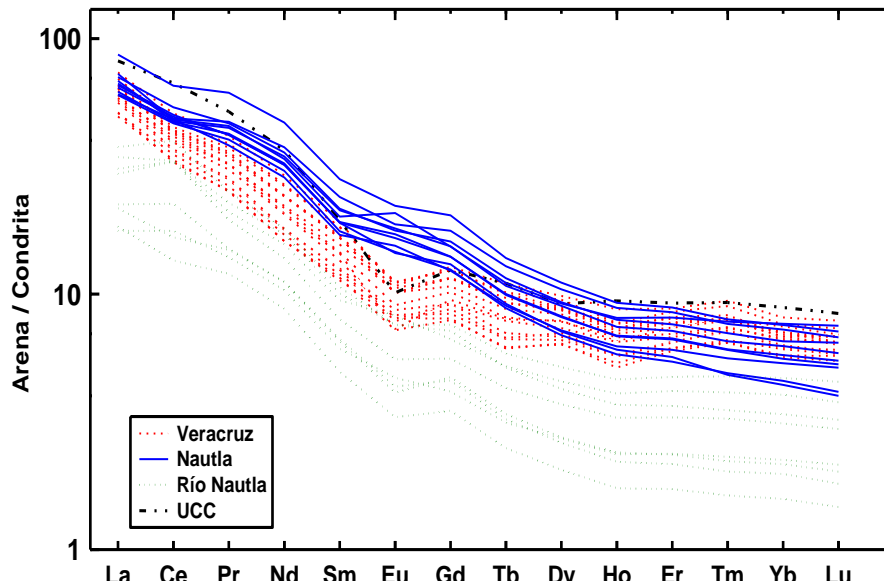


Figura 30. Diagrama normalizado de Condrita y tierras raras de las arena de la playa de Veracruz. Los valores normalizados de Condrita son de Taylor y McLennan (1985).

#### 6.1.4.1. Características de la roca fuente

Los diagramas de discriminación propuestos por Roser y Korsch (1988), han sido ampliamente utilizados en estudios de procedencia para distinguir entre sedimentos de procedencia máfica, ígnea intermedia o félsica y sedimentaria cuarzosa (Das *et al.*, 2008, Hossain *et al.*, 2010; Etemad-Saeed *et al.*, 2011). En la Figura 31 se puede observar que las muestras de la playa de la Cd. de Veracruz caen tanto en el campo de procedencia ígnea félsica como de procedencia ígnea intermedia. Por otra parte, las muestras de la playa de Nautla y del Río Nautla, se ubican en su mayoría en el campo de procedencia ígnea intermedia.

La relación  $Al_2O_3$  vs  $TiO_2$  en sedimentos clásticos se pueden utilizar como un indicador primario del origen de la roca (García *et al.*, 1994; Anderson *et al.*, 2004). De acuerdo con Girty *et al.* (1996) una relación de  $Al_2O_3/TiO_2 < 14$  en los sedimentos sugiere rocas de origen máfico, las relación con rangos de 14 a 19 indican un origen de composición intermedio y rangos de 19 a 28 pueden ser de origen félsico. Las variaciones en las relaciones de  $Al_2O_3/TiO_2$  para la playa de Nautla son de 9 a 15 por lo que sugiere que los sedimentos se derivaron de una roca de composición máfica, para



el Río Nautla los valores son de 7 a 22 indicando una composición máfica a intermedia. Sin embargo, la playa de Veracruz que muestra valores de 29 a 34 sugiere que los sedimentos se derivaron de una roca de composición félsica. Este análisis corrobora las composiciones que se mostraron en la Figura 21 sin utilizar las concentraciones de SiO<sub>2</sub>.

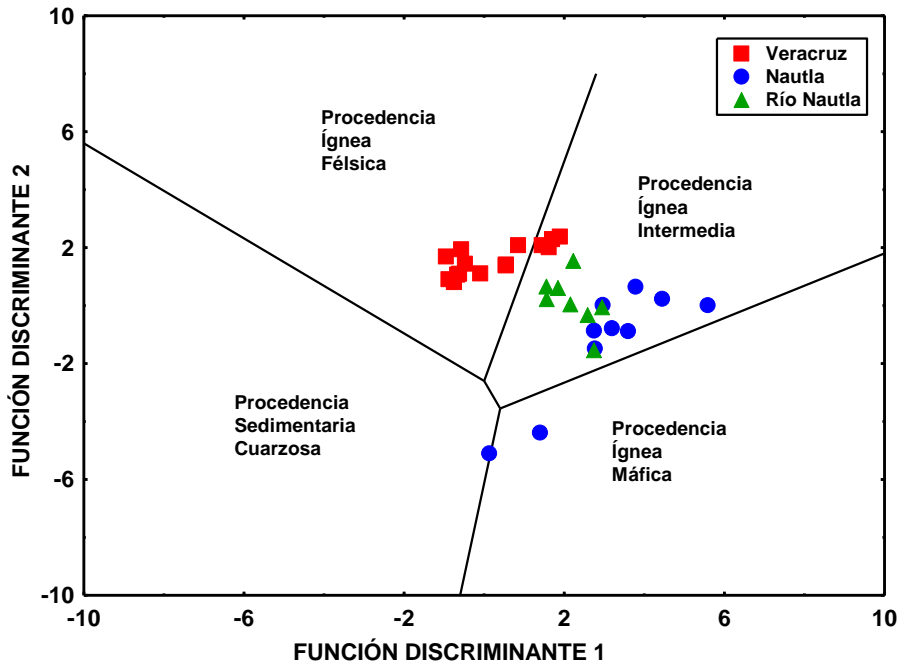


Figura 31. Diagrama de función de discriminación para la procedencia de los sedimentos (Roser and Korsch, 1988). Función discriminante 1 =  $(-1.773 \cdot \text{TiO}_2) + (0.607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.760 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.500 \cdot \text{MgO}) + (0.616 \cdot \text{CaO}) + (0.509 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.224 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-9.090)$ ; función discriminante 2 =  $(0.445 \cdot \text{TiO}_2) + (0.070 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + (-0.250 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3) + (-1.142 \cdot \text{MgO}) + (0.438 \cdot \text{CaO}) + (1.475 \cdot \text{Na}_2\text{O}) + (-1.426 \cdot \text{K}_2\text{O}) + (-6.861)$ .

El diagrama de Th/Sc vs Zr/Sc (Figura 32) es ampliamente utilizado para diferenciar la composición de la roca fuente y los procesos sedimentarios que influyen sobre las rocas sedimentarias clásticas (McLennan *et al.*, 1993). El diagrama evalúa las concentraciones de los minerales pesados en los sedimentos. La relación Th/Sc es un índice que nos indica la composición global de la procedencia y la relación Zr/Sc es un índice utilizado para el enriquecimiento de zircón (McLennan *et al.*, 1993). Las muestras de la playa de la Cd. de Veracruz y algunas muestras del Río Nautla que se

ubicar cerca de la Tendencia 1 sugiere una homogeneidad composicional, mientras que las muestras de la playa de Nautla y algunas del Río Nautla que caen cerca de la Tendencia 2 indica la adición de minerales pesados durante la clasificación y depósito de los sedimentos.

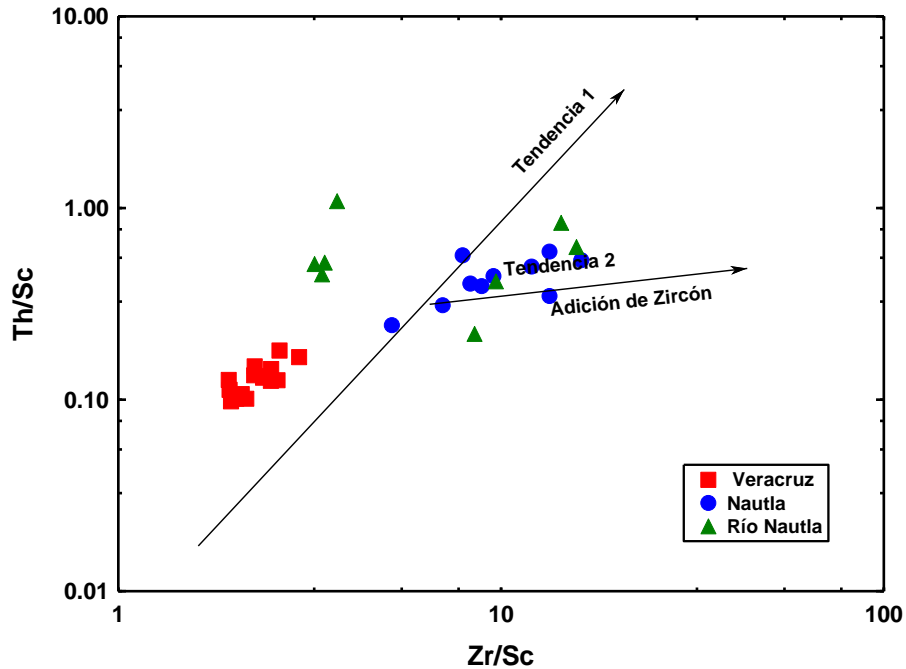


Figura 32. Diagrama bivalente de la relación Th/Sc versus Zr/Sc (McLennan *et al.*, 1993. La adición de zircón en el sedimento es observada en la tendencia 2.

#### 6.1.4.2. Identificación de minerales pesados

El tipo y abundancia de los minerales pesados permiten obtener información acerca de la procedencia de los sedimentos de las playas, de los procesos de transporte del sedimento que son especialmente utilizados para los análisis paleo-ambientales, la localización de depósitos potencialmente económicos, la evolución de procesos diagenéticos (Mange y Maurer, 1992; Marchesini *et al.*, 2000), entre otros. También son considerados como trazadores naturales debido a su comportamiento hidrodinámico y resistencia a la meteorización (Pettijohn, 1975; Frihy y Komar, 1993).

En este estudio se identificaron algunos minerales presentes en las playas de Nautla y la Cd. de Veracruz mediante las técnicas de análisis de Difracción de Rayos X (DRX) y

en particular, los minerales pesados se identificaron por medio del Microscopio Electrónico de Barrido con Espectrometría de Energía Dispersiva (por sus siglas en inglés, SEM-EDS).

En los análisis de DRX que se realizaron en muestra total para la playa de Nautla (Figura 33a y b) y la Cd. de Veracruz (Figura 33 c y d) mostraron una variedad de minerales que pueden observarse en los difractogramas.

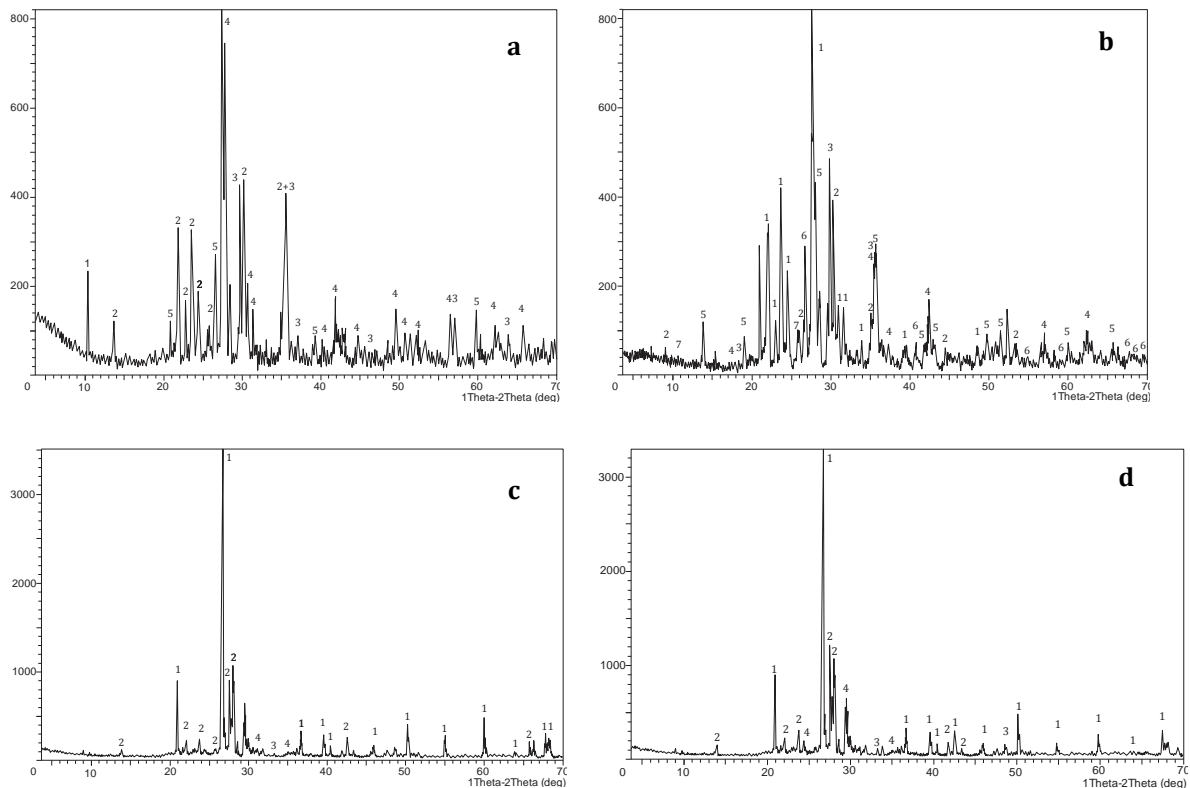


Figura 33. En las muestras Nau1 y Nau3 de la playa de Nautla se presentan minerales como: **(a)** 1. Anfíboles, 2. Plagioclasas, 3. Magnetita, 4. Ilmenita, 5. Cuarzo. **(b)** 1. Plagioclasas, 2. Micas, 3. Ilmenita, 4. Magnetita, 5. Piroxenos, 6. Cuarzo. 7. Micas. En las muestras Ver 6 y Ver 14 para la playa de Veracruz se identificaron minerales como: **(c)** 1. Cuarzo, 2. Plagioclasas, 3. Anfíboles, 4. Micas. **(d)** 1. Cuarzo, 2. Plagioclasas, 3. Micas, 4. Anfíboles.

El SEM-EDS es probablemente el instrumento auxiliar más utilizado en el estudio de minerales pesados, debido a que ayuda a analizar las características morfológicas o composicionales de los sedimentos (Mallick, 1986). En los análisis realizados en las

muestras de la playa de Nautla se identificaron algunos minerales pesados como los que se muestran a continuación.

La magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) se identificó tanto en los sedimentos de la playa de Nautla, como en los del Río Nautla (Figura 34a). Este mineral se encuentra diseminado como mineral accesorio en muchas rocas ígneas, también se encuentra asociada a rocas metamórficas cristalinas y en rocas ricas en minerales ferromagnesianos tales como dioritas, gabros, peridotitas (Ford, 2002).

La ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) es un mineral accesorio de varios tipos de rocas ígneas (Figura 34b) y está asociada a la magnetita, rutilo y el zircón. También se identificó en los sedimentos de la playa y del Río Nautla. La presencia de estos dos minerales es concordante con la geoquímica de elementos mayores en las cuales los sedimentos de la playa de Nautla y del Río Nautla muestran un mayor contenido de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  y  $\text{MgO}$ .

El zircón ( $\text{ZrSiO}_4$ ) se identificó en las arenas de la playa de Nautla (Figura 34c), comúnmente es un mineral accesorio constituyente de rocas ígneas volcánicas, probablemente como inclusiones derivadas de rocas más viejas.

Los resultados muestran que parte del origen de los sedimentos de la playa de Nautla se encuentra en los aportes del Río Nautla. En cuanto a los procesos de selección y concentración de minerales pesados, el oleaje y la configuración de la costa determinan su acumulación tanto transversal o longitudinalmente en las playas. La distribución de la fracción pesada indica un transporte diferencial de sedimentos motivado por la energía de los ambientes. El que la zona de la playa de Nautla esté enriquecida en minerales pesados puede atribuirse a que la energía del oleaje es capaz de movilizar materiales de diferente densidad y tamaño de grano, por lo que arrastra los minerales pesados del nivel del mar y los conduce tanto hacia la playa como hacia la zona sub-litoral y en la dirección del transporte litoral (Badr, 1995).

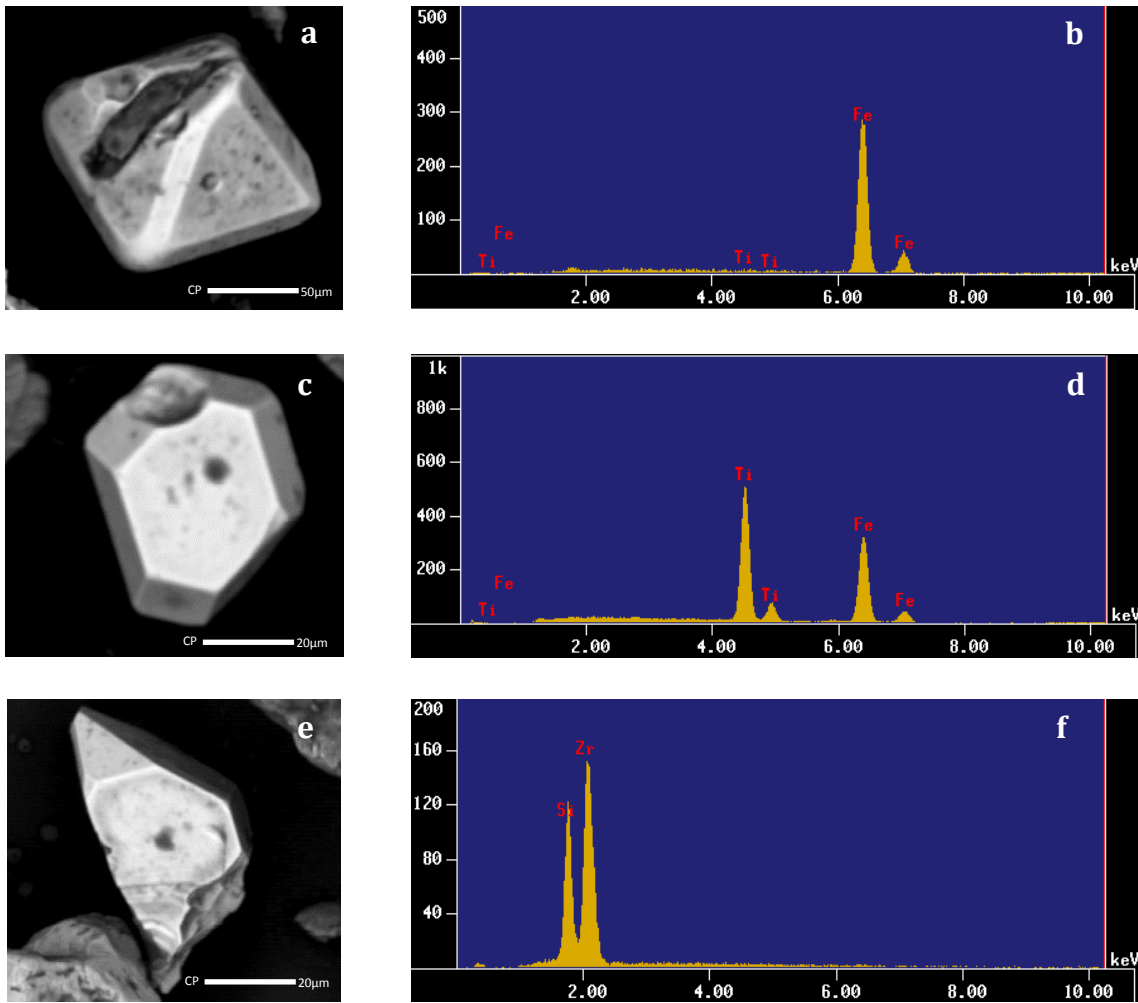


Figura 34. Las ilustraciones de la izquierda son los minerales: a) Magnetita c) Ilmenita, e) Zircón. Las ilustraciones de la derecha son los espectros correspondientes emitidos por los minerales que indican las concentraciones de los elementos en un análisis semi-cuantitativo: b), d) y f).

#### 4.4.5. ANÁLISIS DE ANOVA

Se realizó una comparación de los datos geoquímicos obtenidos en este trabajo con los publicados por otros autores de regiones relativamente cercanas a las áreas de estudios (Figura 35), con la finalidad de hacer una descripción de comportamientos análogos y/o variaciones composicionales que se presenten entre las concentraciones de los elementos mayores de las tres áreas de estudio(

Tabla 9) y de otras regiones aledañas (Tabla 12).

Se puede observar que el contenido de  $\text{SiO}_2$  es mayor para el grupo Gr6 (Caldera Los Humeros, Puebla) debido a que esta localidad se encuentra compuesta por riolitas principalmente. La aplicación de ANOVA a un nivel de significancia de un 99% revela que hay diferencias significativas en el contenido de sílice en los distintos grupos ( $F_{\text{calc}} = 113.4631518$  y  $F_{\text{crit}} = 2.95365$ , donde  $F_{\text{calc}} > (F_{\text{crit}})_{99\%}$ , lo que indica, que el conjunto de datos son significativamente diferente (Tabla 14). En cuanto al contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se observa que, en las tres áreas de estudio de este trabajo y la Caldera Los Humeros en Puebla ( $F_{\text{calc}} = 2.6856438$  y  $F_{\text{crit}} = 5.01074$ , donde  $F_{\text{calc}} < (F_{\text{crit}})_{99\%}$ ), indican diferencias significativamente a un nivel de significancia del 99%.

Los promedios en el contenido de  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  no son similares en las áreas de estudio de la playa y río Nautla y las regiones de Palma Sola, Cofre de Perote, Pico de Orizaba en Veracruz y Sierra Negra en Puebla. Sin embargo, se mostraron diferencias significativas en un nivel de significancia del 99% para la playa de la Cd. de Veracruz y la región de la Caldera Los Humeros, Puebla.

Los contenidos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $F_{\text{calc}} = 3.0756961$  y  $F_{\text{crit}} = 6.01249$ ),  $\text{MgO}$  ( $F_{\text{calc}} = 2.5522763$  y  $F_{\text{crit}} = 6.11209$ ), y  $\text{TiO}_2$  ( $F_{\text{calc}} = 2.9087456$  y  $F_{\text{crit}} = 4.87329$ ), donde  $F_{\text{calc}} < (F_{\text{crit}})_{99\%}$ . Las áreas de estudio de la playa y río Nautla, así como las regiones de Pico de Orizaba, Cofre de Perote en Veracruz y Sierra Negra en Puebla, no presentan diferencias significativas, es decir, que pueden presentar una composición semejante.

Con los elementos traza se puede observar de manera general que el Río Nautla muestra diferencias significativas en los contenidos de Ba, Cu, Ni, Zr, Hf, Y y Sc. Esto nos puede indicar que los sedimentos de este río provienen de diversas fuentes. Los resultados son concordantes con el diagrama normalizado de elementos traza de Taylor y McLennan (1985) (Fig. 27). Las muestras de la playa de Nautla son significativamente diferentes en los contenidos de Cr, Cu y Nb; y la playa de Veracruz es significativamente diferente en los contenidos de Cs, Rb y Sc.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 12. Concentración en % de los elementos mayores de los grupos: Gr4: Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gómez-Tuena *et al.*, 2003), Gr5: Cofre de Perote, Veracruz de composición Basáltica-Andesítica (Orozco-Esquivel *et al.*, 2007), Gr6: Caldera Los Humeros, Puebla (Verma, 2001), Gr7: Pico de Orizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010) y Gr8: Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010). Los valores: 0.00 significa que no fueron analizados en los estudios.

GRUPO/ MUESTRA	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Gr4/PS 99-14	46.68	16.09	11.81	10.56	8.02	1.03	2.68	2.40	0.57
Gr4/PS 99-18	52.89	17.00	9.66	6.55	4.73	2.26	4.12	1.99	0.62
Gr4/PS 99-19	46.80	17.41	11.52	9.38	4.87	1.58	4.47	2.59	1.18
Gr4/PS 99-25	46.64	15.54	13.27	9.20	7.43	1.56	2.59	3.02	0.56
Gr4/PS 99-35	44.84	15.12	12.67	11.49	8.63	1.06	2.73	2.82	0.48
Gr4/PS 99-26	48.70	17.55	11.44	9.45	4.47	1.61	3.71	2.10	0.83
Gr4/PS 99-27	47.68	17.09	11.86	9.99	6.06	0.99	3.13	2.16	0.83
Gr4/PS 99-11	46.31	14.96	10.14	11.85	11.30	1.25	2.08	1.48	0.47
Gr4/PS 99-5C	47.52	16.17	10.54	9.66	7.80	2.59	2.88	1.96	0.71
Gr5/EAP41	53.66	17.84	9.33	6.49	2.79	2.41	4.75	1.84	0.73
Gr5/EAP52	51.69	19.44	8.80	8.10	3.28	1.63	4.11	1.95	0.84
Gr5/PS-108	53.44	17.84	9.56	6.52	2.56	2.53	4.67	1.91	0.79
Gr5/EAP39	52.38	16.63	7.89	7.96	5.84	3.24	3.97	1.34	0.59
Gr5/EAP59	53.58	16.45	10.24	6.19	3.26	2.93	4.02	2.18	1.00
Gr5/PS-29	53.95	17.42	7.96	8.19	5.55	1.32	3.93	1.22	0.34
Gr5/PS-41	54.59	17.29	7.96	7.85	5.23	1.40	3.94	1.24	0.37
Gr6/LH6	75.82	14.20	1.01	0.36	0.11	4.84	3.47	0.09	0.05
Gr6/LH8	76.42	12.90	1.20	0.40	0.10	5.78	3.05	0.08	0.05
Gr6/LH7	76.98	12.41	1.17	0.40	0.10	5.17	3.64	0.05	0.05
Gr6/LH11	71.37	16.62	2.04	0.86	0.31	5.34	3.11	0.26	0.05
Gr6/LH14	72.47	14.61	1.77	0.86	0.29	5.48	4.16	0.26	0.06
Gr6/LH23	77.26	12.51	0.91	0.39	0.11	4.85	3.81	0.08	0.05
Gr6/LH30	75.89	12.92	1.38	0.49	0.13	4.95	4.05	0.12	0.05
Gr6/LH31	72.25	14.71	1.93	1.16	0.37	4.71	4.44	0.32	0.06
Gr6/LH36	69.23	15.51	2.91	2.01	0.73	4.35	4.51	0.55	0.14
Gr6/LH41	70.81	14.82	2.76	1.48	0.51	4.64	4.40	0.46	0.08
Gr6/LH44	69.62	15.33	2.99	1.81	0.63	4.21	4.77	0.50	0.10
Gr6/LH86	68.83	15.61	3.11	1.99	0.79	4.13	4.86	0.50	0.13
Gr7/21 <sup>a</sup>	63.63	17.09	4.65	5.34	1.69	2.18	4.51	0.64	0.20
Gr7/40 <sup>b</sup>	63.02	16.64	4.89	5.62	2.55	1.92	4.35	0.67	0.25
Gr7/33 <sup>b</sup>	61.08	18.54	5.25	5.51	2.50	1.72	4.46	0.61	0.24
Gr8/46 <sup>a</sup>	53.84	15.84	8.17	8.56	7.03	1.57	3.48	1.02	0.36
Gr8/64 <sup>a</sup>	54.03	17.01	8.47	7.81	5.21	1.55	3.96	1.41	0.41
Gr8/CS-8 <sup>c</sup>	53.86	17.40	8.07	7.48	6.69	1.40	3.67	1.04	0.25
Gr8/Al-1 <sup>c</sup>	54.57	15.53	8.13	8.59	7.68	1.33	2.99	0.85	0.21

Tabla 13. Concentración en ppm de los elementos trazas y tierras raras de los diferentes grupos: Gr4: Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gómez-Tuena *et al.*, 2003), Gr7: Pico de Orizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010) y Gr8: Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010). Los valores: 0.00 significa que no fueron analizados en los estudios

GRUPO / MUESTRA	Ba	Co	Cr	Cs	Cu	Ni	Zr
Gr4/PS 99-14	380.00	43.40	219.70	0.60	37.80	91.50	193.10
Gr4/PS 99-18	515.00	25.70	144.00	1.38	31.20	61.60	378.20
Gr4/PS 99-19	537.00	28.50	16.50	0.90	44.30	10.20	302.10
Gr4/PS 99-25	278.00	43.50	151.40	0.18	46.40	78.80	268.50
Gr4/PS 99-35	466.00	52.00	229.80	0.55	47.80	121.40	197.20
Gr4/PS 99-26	670.00	35.10	82.50	0.91	34.00	26.70	287.30
Gr4/PS 99-27	482.00	35.60	64.60	0.73	37.60	35.20	192.70
Gr4/PS 99-11	480.00	44.90	477.70	0.98	58.80	180.90	155.00
Gr4/PS 99-5C	1002.00	39.80	268.50	3.56	66.40	107.70	284.80
Gr7/21 <sup>a</sup>	723.00	13.10	39.70	1.51	13.20	12.10	191.00
Gr7/40 <sup>b</sup>	574.00	11.00	21.00	1.00	17.00	26.00	170.00
Gr7/33 <sup>b</sup>	793.00	10.00	25.00	1.00	13.00	19.50	162.00
Gr8/46 <sup>a</sup>	596.00	36.25	345.00	1.11	43.60	112.00	160.00
Gr8/64 <sup>a</sup>	512.00	33.20	192.00	0.75	37.20	127.00	185.00
Gr8/CS-8 <sup>c</sup>	532.00	23.00	282.00	1.10	28.00	102.00	173.00
Gr8/Al-1 <sup>c</sup>	438.00	28.00	341.00	1.30	37.00	64.00	123.00

En la comparación del contenido de las Tierras Raras se observan diferencias significativas en las tres áreas de estudio Gr1, Gr2 y Gr3 (Playa de Nautla, la Cd. de Veracruz y Río Nautla), así como en la región de la Caldera Los Humeros, Puebla (Gr6). De igual forma se realizó una comparación con las anomalías de Eu de todos los grupos y solo se observaron diferencias significativas en los grupos Gr2 y Gr6 (Playa de la Cd. de Veracruz y Caldera los Humeros, Puebla), estos resultados posiblemente se debe a que éstas áreas tienen un mayor contenido de sílice, por lo tanto, presentan una composición más félsica a diferencias de las otras regiones y áreas de estudio que se encuentran en un parámetro de intermedio a máfico.

Cabe mencionar que se realizó la comparación solo con datos geoquímicos de fuentes volcánicas, debidos que no se tienen disponibles datos geoquímicos de fuentes sedimentarias o metamórficas.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración en ppm de los elementos trazas y tierras raras de los grupos: Gr4: Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gómez-Tuena *et al.*, 2003), Gr5: Cofre de Perote, Veracruz de composición Basáltica-Andesítica (Orozco-Esquivel *et al.*, 2007), Gr6: Caldera Los Humeros, Puebla (Verma, 2001), Gr7: Pico de Orizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010) y Gr8: Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrasco-Núñez, 2010). Los valores: 0.00 significa que no fueron analizados en los estudios.

GRUPO / MUESTRA	Hf	Nb	Rb	Sc	V	Y	TREE	Eu_Eu
Gr4/PS 99-	4.42	22.34	19.30	27.90	267.00	27.70	152.13	1.00
Gr4/PS 99-	7.74	57.78	38.22	17.50	131.00	29.90	230.33	1.03
Gr4/PS 99-	6.56	54.25	34.29	15.20	223.00	33.90	257.17	0.95
Gr4/PS 99-	5.97	41.91	22.41	21.30	218.00	28.10	168.60	1.02
Gr4/PS 99-	4.77	31.18	15.90	32.30	321.00	27.50	157.34	1.00
Gr4/PS 99-	6.52	29.50	56.04	24.30	263.00	36.60	210.61	0.94
Gr4/PS 99-	4.20	28.19	18.23	23.30	251.00	27.70	214.44	0.97
Gr4/PS 99-	3.53	24.60	29.09	36.20	267.00	25.00	164.51	0.95
Gr4/PS 99-	6.55	31.66	81.93	26.60	248.00	31.20	270.96	0.90
Gr5/EAP41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	203.76	1.02
Gr5/EAP52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	182.32	1.08
Gr5/PS-108	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	260.25	0.79
Gr5/EAP39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	274.23	0.96
Gr5/EAP59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	316.38	0.66
Gr5/PS-29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	127.76	0.96
Gr5/PS-41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.55	0.90
Gr6/LH6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	170.05	0.10
Gr6/LH8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	161.42	0.09
Gr6/LH7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.38	0.18
Gr6/LH11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.15	0.36
Gr6/LH14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	125.14	0.65
Gr6/LH23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	155.52	0.11
Gr6/LH30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	160.17	0.24
Gr6/LH31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	144.69	0.85
Gr6/LH36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	148.57	0.56
Gr6/LH41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.64	0.46
Gr6/LH44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	145.53	0.98
Gr6/LH86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.05	0.58
Gr7/21 <sup>a</sup>	4.38	6.52	49.30	12.80	103.00	18.50	115.52	0.88
Gr7/40 <sup>b</sup>	4.50	4.00	26.00	0.00	82.00	16.00	106.57	1.03
Gr7/33 <sup>b</sup>	4.30	6.00	26.00	0.00	81.00	20.00	129.24	1.02
Gr8/46 <sup>a</sup>	3.89	5.51	27.10	24.90	182.00	744.00	154.72	0.86
Gr8/64 <sup>a</sup>	4.31	22.30	30.00	20.20	193.00	632.00	136.22	0.94
Gr8/CS-8 <sup>c</sup>	4.00	7.50	30.00	0.00	144.00	438.00	126.50	0.96
Gr8/Al-1 <sup>c</sup>	3.20	4.50	24.00	0.00	175.00	542.00	106.52	0.94

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Tabla 14. Resultados de la aplicación de ANOVA a un 99% de nivel de confianza para los datos de la concentración de los elementos mayores, traza y tierras raras de la Playa de Nautla (Gr1), Playa de Veracruz (Gr2), Río Nautla (Gr3), Palma Sola en Veracruz (Gr4), Cofre de Perote en Veracruz (Gr5), Caldera Los Humeros en Puebla (Gr6), Pico de Orizaba en Veracruz (Gr7) y Sierra Negra en Puebla (Gr8).

Elemento	Grupos	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	F <sub>calc</sub>	F <sub>crit</sub>	H <sub>0</sub>	Grupos sin diferencias significativas	Grupos con diferencias significativas
SiO <sub>2</sub>	8	7	60	113.463151	2.95365	false		Gr1, Gr2, Gr3, Gr4, Gr5, Gr6, Gr7, Gr8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	3	19	2.6856438	5.01074	true	Gr5, Gr7, Gr8, Gr4	Gr2, Gr1, Gr3, Gr6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	2	18	3.0756961	6.01249	true	Gr7, Gr3, Gr1	Gr4, Gr6, Gr2, Gr5, Gr8
CaO	8	3	20	2.2389990	4.93906	true	Gr8, Gr5, Gr1, Gr7	Gr6, Gr4, Gr3, Gr2
MgO	8	2	17	2.5522763	6.11209	true	Gr7, Gr5, Gr1	Gr4, Gr8, Gr6, Gr2, Gr3
K <sub>2</sub> O	8	5	35	3.2396736	3.59133	true	Gr8, Gr4, Gr1, Gr7, Gr3, Gr5	Gr6, Gr2
Na <sub>2</sub> O	8	3	27	3.1619918	4.60102	true	Gr1, Gr3, Gr4, Gr8	Gr2, Gr7, Gr5, Gr6
TiO <sub>2</sub>	8	3	21	2.9087456	4.87329	true	Gr7, Gr3, Gr8, Gr1	Gr4, Gr6, Gr2, Gr5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8	2	14	3.4153640	6.51426	true	Gr1, Gr7, Gr8	Gr4, Gr5, Gr3, Gr6, Gr2
Ba	6	4	36	1.4260984	3.892544	true	Gr7, Gr1, Gr2, Gr4, Gr8	Gr3
Co	6	4	35	2.9803974	3.90855	true	Gr3, Gr7, Gr8, Gr2, Gr1	Gr4
Cr	6	2	23	2.5197893	5.66334	true	Gr7, Gr2, Gr3	Gr8, Gr4, Gr1
Cs	6	4	29	0.7763796	4.04509	true	Gr8, Gr3, Gr4, Gr7, Gr1	Gr2
Cu	6	2	25	3.4149065	5.56759	true	Gr2, Gr4, Gr8	Gr7, Gr1, Gr3
Ni	6	2	25	2.4128995	5.56759	true	Gr7, Gr2, Gr1	Gr8, Gr3, Gr4
Zr	6	3	28	2.9987929	4.56861	true	Gr7, Gr2, Gr1, Gr8	Gr4, Gr3
Hf	6	3	28	1.7999993	4.56861	true	Gr7, Gr1, Gr8, Gr2	Gr3, Gr4
Nb	6	3	26	4.1542596	4.63818	true	Gr7, Gr3, Gr8, Gr2	Gr4, Gr1
Rb	6	4	29	1.7188386	4.04509	true	Gr3, Gr8, Gr7, Gr4, Gr1	Gr2
Sc	6	2	18	5.3738357	6.01249	true	Gr1, Gr4, Gr8	Gr2, Gr7, Gr3
Sr	3	2	13	4.0052997	6.6987	true	Gr4, Gr7, Gr8	
Th	3	2	13	0.5697093	6.6987	true	Gr4, Gr7, Gr8	
V	6	3	21	3.3404003	4.87329	true	Gr7, Gr8, Gr3, Gr1	Gr4, Gr2
Y	6	2	25	2.8185200	5.56759	true	Gr2, Gr1, Gr7	Gr8, Gr3, Gr4
TREE	8	3	19	4.1573427	5.01074	true	Gr5, Gr4, Gr7, Gr8	Gr3, Gr2, Gr6, Gr1
Eu Eu	8	5	35	2.9582092	3.59133	true	Gr1, Gr4, Gr7, Gr8, Gr5, Gr3	Gr6, Gr2

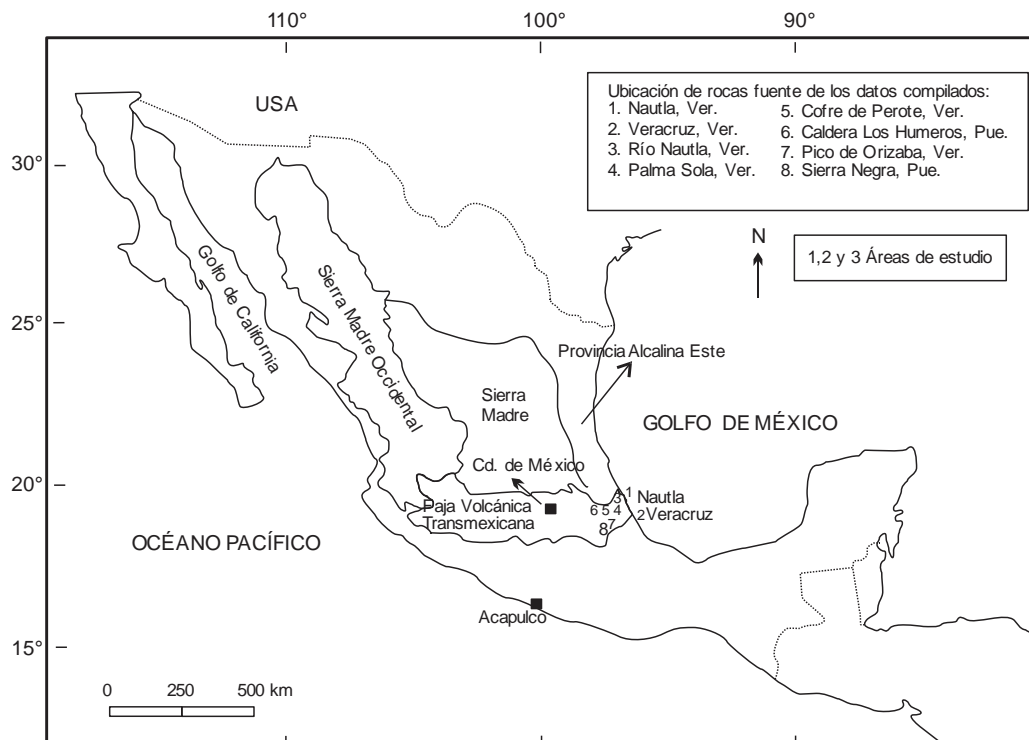


Figura 35. Áreas fuente de donde fueron compilados los datos geoquímicos en este estudio para identificar la probable roca fuente. Los datos citados son los siguientes:

1. Palma Sola, Veracruz de composición Basáltica (Gomez-Tuena *et al.*, 2003).
2. Cofre de Perote, Veracruz de composición Basáltica-Andesítica (Orozco-Esquivel *et al.*, 2007).
3. Caldera Los Humeros, Puebla (verma, 2001).
4. Pico de Oarizaba, Veracruz de composición Andesítica (Schaaf y Carrazco-Nuñez, 2010).
5. Sierra Negra, Puebla de composición Basáltica-Andesítica (Schaaf y Carrazco-Nuñez. 2010).

# CONCLUSIONES V

De acuerdo con el análisis de microtexturas, los sedimentos de la playa de Nautla son de origen mecánico. Los sedimentos angulares y sub-redondeados, así como las fracturas concoidales indican un transporte marino y fluvial. Los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz por su parte, presenta sedimentos de origen mecánico/químico. Los granos de arena bien redondeados y las superficies lisas son evidencia de una largo transporte eólico. Las fracturas de tipo Chatter identificadas en los sedimentos se asocian con un ambiente de playa intermareal, indicando un clima tropical húmedo. Las fracturas en “V”, los glóbulos y las películas de sílice en la superficie de los sedimentos indican un transporte marino.

Los sedimentos de la playa de Nautla están dominados por arenas gruesas, moderadamente clasificadas, lo cual está relacionado con el tipo de transporte que presenta (marino y fluvial) que sugieren una cercana procedencia de los sedimentos. El Río Nautla se encuentra dominado por arenas finas de bien clasificadas a moderadamente bien clasificadas. Los sedimentos, tanto del río como de la playa están compuestos por fragmentos de roca volcánica, plagioclasas, cuarzo, minerales pesados (magnetita, ilmenita, zircón). Mientras que los sedimentos de la playa de la Cd. de Veracruz están dominados por arenas finas moderadamente bien clasificadas relacionados con el predominio del transporte eólico. Los sedimentos están compuestos por cuarzos, plagioclasas, líticos sedimentarios y componente biógenos en mayor cantidad.

A partir de los análisis geoquímicos, se observan los contenido de sílice en la playa de la Cd. de Veracruz y Río Nautla son más elevadas, por lo tanto, indican un origen ígneo

## **CONCLUSIONES**

---

de composición félsica. Mientras que las muestras de la playa de Nautla indican una composición de intermedia a básica. En la relación de los elementos mayores con la corteza continental superior (UCC) se observa un ligero enriquecimiento en las arenas de Nautla y Río Nautla en el contenido de  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ , lo cual nos indica una concentración de minerales pesados como ilmenita, magnetita, entre otros. Una correlación positiva que se observó entre el  $TiO_2$  y el  $Fe_2O_3$ , refleja una abundancia en la concentración de minerales pesados con composición de Ti y Fe como ilmenita, magnetita y probablemente rutilo.

En general, los patrones de elementos traza de las 3 áreas de estudio mostraron un empobrecimiento en comparación con los valores promedio de la Corteza Continental Superior. Solo en la playa de Nautla se observó un enriquecimiento de los elementos inmóviles como Co, Cr, Ni y V, que son los que indican que los sedimentos provienen de una fuente de composición máfica. Las bajas concentraciones de Rb y Ba, indican que los sedimentos de las playas de Nautla, la Cd. de Veracruz y el Río Nautla están empobrecidos en el contenido de feldespato, tal como se observó en el diagrama ternarios de petrografía (Figura 17).

Los patrones de Tierras Raras normalizados con condrita indicaron que los sedimentos de la Cd. de Veracruz provienen de una fuente félsica (como riolitas) debido la anomalía negativa de Eu y los valores elevados en la relación LREE/HREE. Mientras que, los sedimentos de la playa de Nautla muestran anomalía positiva de Eu y los valores en la relación LREE/HREE son más bajos indicando una composición máfica (basaltos).

Los granos de ilmenita, magnetita presentes en la playa de Nautla son los posibles causantes del alto contenido de  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ , Cr, V, Zn, Ta, Ce y REE y un bajo contenido en las concentraciones de  $SiO_2$  y  $Al_2O_3$  en comparación con los sedimentos de la Cd. de Veracruz. De igual forma, los elementos como  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ , Cr, Hf, Ni, V y Zr están ampliamente asociados con los minerales pesados como magnetita, ilmenita y zircón que se encuentran presentes en los sedimentos de la playa de Nautla.

## CONCLUSIONES

---

El análisis de ANOVA nos permitió determinar las posibles fuentes de los sedimentos de las tres áreas de estudio, concluyendo que los sedimentos del río Nautla presentan diferencias significativas, es decir que tiene diversas fuentes que suministran de sedimentos al río a los largo de su trayectoria, desde los arroyos que se forman en el volcán inactivo Cofre de Perote y zonas aledañas, hasta su desembocadura en el Golfo de México. La playa de Nautla por su parte no muestra diferencias significativas, es decir que los sedimentos de ésta playa comparada con las otras regiones como Palma Sola, Cofre de Perote, Pico de Orizaba son muy análogos en su composición. Por otro lado, la playa de la Cd. de Veracruz por su alto contenido en cuarzo muestra semejanzas con las fuentes de composición riolítica como la Caldera Los Humeros en Puebla, sin embargo, esto no indica que los sedimentos de la palaya sean procedentes de esta región.

**REFERENCIAS**

- Abu-Zeid, M.M., Baghdady, A.R. and El-Etr, H.A., 200., Textural attributes, mineralogy and provenance of sand dune fields in the greater Al Ain area, United Arab Emirates. *Journal of Arid Environment* 48, 475–499.
- Andersson, P.O.D., Worden, R.H., Hodgson, D.M., Flint, S., 2004. Provenance evolution and chemostratigraphy of a Paleozoic submarine fan-complex: Tanqua Karoo Basin, South Africa. *Marine and Petroleum Geology* 21, 555–577.
- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Verma, S.P. and Ramasamy, S., 2004. Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*, v. 74, 285-297.
- Armstrong-Altrin, J.S., Madhavaraju, J., Ramasamy, S. and Gladwin Gnana Asir, N., 2005. Provenance and depositional history of sandstones from the Upper Miocene Kudankulam Formation, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 66, 59–65.
- Armstrong-Altrin, J.S., 2009. Provenance of sands from Cazones, Acapulco, and Bahía Kino beaches, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26 (3), 764–782.
- Armstrong-Altrin, J.S., Young, I.L., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., García, D., Nelson-Eby, G. Balaram, V., Cruz-Ortiz, N.L., 2012. Geochemistry of beachsands the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance. *Chemie Erde - Geochemistry*. 1-18.
- Badr, A.A., 1995. Ideal beach profile as indicated by grain size, roundness and heavy mineral analyses, Burullus coast, Egypt. *MBSS Newsletter*, 17, 42-52.
- Bahena-Manjarrez, J., Rosales-Hoz, L. and Carranza-Edwards, A., 2002. Spatial and temporal variation of heavy metals in a tropical estuary. V. 42, No. 6, 575-582.
- Basu, A., Blanchard, D.P., Brannon, J.C., 1982. Rare earth elements in the sedimentary cycle: a pilot study of the first leg. *Sedimentology* 29, 737–742.
- Bhatia, M.R.; and Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of grawackes and tectonic discrimination of sedimentary basin: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 92, 181-193.
- Böse, E., 1899. Geología de los alrededores de Orizaba con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa central de México. *Boletín del Instituto Geológico de México*, 13.
- Bull, P. A., 1977. Glacial deposits identified by chattermark trails in detrital garnets: comment: *Geology*, v. 5, 248.

- Bull, P. A., Culver, S. j., and Gardner, R., 1980. Chattermark trails as paleoenvironmental indicators: *Geology*, v. 8. 318-322.
- Bull, P.A., 1981. Environmental reconstruction by electron microscopy. *Progress in Physical Geography*, 5, 368–397.
- C.F.E., 1977. Boletín Hidrométrico: Cuenca del río Tecolutla. Comisión Federal de Electricidad. Vol. No. 7
- Cantú-Chapa, A., 1984. El Jurásico Superior de Tamán, San Luís Potosí, Este de México, en: Perrilliat, M.C. (ed.), *Memoria Tercer Congreso Latinoamericano de Paleontología: México*, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 207-215
- 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, 2009-2014.
- Carranza-Edwards, A., Centen-García, E., Rosales-Hoz, L., Cruz, R.L.-S., 2001. Provenance of beach gray sands from western Mexico. *Journal South American Earth Sciences*. V. 14, 291-305.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Urrutia-Fucugauchi, J., Sandoval-Fortanel, A., Morales-De-Le-Garza, E. y Lozano-SantaCruz, R., 2005. Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in southern México. *Continental Shelf Research* 25: 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*, 26(2), 433-447.
- Carrasco-Núñez G., Ban M., 1994 “Geologic map and structure sections of the summit area of Citlaltépetl volcano, Mexico.” *Serie de cartas geológicas y mineras no.9*, Instituto de Geología UNAM, México.
- Carrillo-Bravo, J., 1965. Estudio geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, V. 17, nums. 5-6, 7396.
- Carta Geológico-Minera del Estado de Veracruz, 2008. Servicio Geológico Mexicano.
- Carter, J.M., 1984. An application to scanning electron microscopy of quartz sand surface textures to the environmental diagnosis of Neogene carbonate sediments. Finestrate Basin, Southeast Spain. *Sedimentology*, 31, 717–731.
- Chakroun A., Miskovsky J. C., Zaghbib-Turki D., 2009. Quartz grain surface features in environmental determination of aeolian Quaternary deposits in northeastern Tunisia. *Mineral Mag* 73(4):607– 614



- Comisión Nacional del Agua, 2002. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero Cotaxtla, estado de Veracruz. Gerencia de Aguas subterráneas, 21.
- Comisión Nacional del Agua, 2005. Mapa Hidrológico, escala 1:1 000 000. Sistema de Información Geográfica del Agua, Subgerencia de Programación de la Gerencia Regional Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua
- Consejo de Recursos Minerales, 1994. MONOGRAFÍA GEOLÓGICO-MINERA DEL ESTADO DE VERACRUZ Editorial Pedagógica Iberoamericana México, D.F.
- Corcoran P. L., Packer K, Biesinger MC., 2010. First-cycle grain weathering processes: compositions and textures of sea glass from port Allen, Kauai, Hawaii. *Journal Sedimentary Res* 80: 884– 894
- Costa P. J. M., Andrade C, Mahaney W. C., Marques de Silva F., Freire P., Freitas M. C., Janardo C, Oliveira M. A., Silva T, Lopes V., 2013. Aeolian microtextures in silica spheres induced in a wind tunnel experiment: Comparison with eolian quartz. *Geomorphology* 180-181: 120– 129
- Cowan E. A., Hillenbrand C-D, Hassler LE, Ake MT, 2008. Coarse-grained terrigenous sediment deposition on continental rise drifts: A record of Plio-Pleistocene glaciation on the Antarctic Peninsula. *Palaeo* 265:275– 291
- Crittelli, 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., A. Basu and L.J. Suttner, 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA. *Chemistry Geology*, 70: 335-348.
- Cullers, R.L., 1994b. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstone 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, 181-203.
- Curry, J. R., 1960. Sediments and history of Holocene transgression, continental shelf, northwest Gulf of Mexico, p. 221—266 in Shepard, F. P., et al., Editors, *Recent sediments, northwest Gulf of Mexico, 1951-1958: American Association of Petroleum Geologists*, 394.

## REFERENCIAS

---

- Das, B. K., Al-Mikhlafl, A. S. and Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance and tectonic setting. *Journal Asian Earth Sciences*, v. 26 (6), 649-668.
- Deane S. M., 2010. Quartz grain microtextures and sediment provenance: Using Scanning Electron Microscopy to characterize tropical highland sediments from Costa Rica and the Dominican Republic. MSc thesis, University of Tennessee, Knoxville, 123.
- Dickinson, W.R., 1986. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basin, in K.L. Kleinspehn and C. Paola (eds.), *New perspectives in basin analysis*, Springer-Verlag, 27-42
- Doornkamp, J.C. and Krinsley, D. H., 1971, Electron microscopy applied to quartz grains from a tropical environment. *Sedimentology*, 17, 89–101.
- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Armstrong-Altrin, J.S., 2011. Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidence for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 61, 142-159.
- Ferrari, L., Tagami, T., Eguchi, M., Orozco-Ezquivel, T. M., Petrone, C. M. Jacobo-Albarrán, J. y López-Martínez, M., 2005. Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic volcanism along the southwestern Gulf of Mexico: The Eastern Alkaline Province revisited. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 146, 284 – 306.
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos river bar, a study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, 3–26.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publ. Co. Austin, Texas 159.
- Folk, R.L., 1975. Glacial deposits identified by chattermark traces in detrital garnets: *Geology*, 8, 473-475.
- Folk, R.L., 1978. Angularity and silica coatings of Simpson desert sand grains. Northern Territory, Australia: *Journal of Sedimentary Petrology*, 48, 611-624.
- Ford, W.E., 2002. *Textbook of Mineralogy. With an extended Treatise on crystallography and Physical Mineralogy*. Fourth Edition. 490.
- Friedman, G.M., 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Research*; June 1967, v. 37, No.2; 327-354.
- Frihy, O.E. & Komar, P.D., 1993. Long-term shoreline changes and the concentration of heavy minerals in beach sands of the Nile Delta, *Egypt Mar Geology*, 115, 253-261.

## REFERENCIAS

---

- Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F., He, J., 2011. Geochemistry and origin of rare earth elements (REEs) in the Shengli River oil shale, northern Tibet, China. *Chemie der Erde - Geochemistry*. 71, 21–30.
- Garcia, D., Fontelles, M., Moutte, J., 1994. Sedimentary fractionations between Al, Ti, and Zr, and the genesis of strongly peraluminous granites. *Journal of Geology*. 102, 411–422
- Girty, G.H., Ridge, D.L., Knaack, C., Johnson, D., Al-Riyami, R.K., 1996. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California. *Journal Sedimentary Research*. 66, 107–118.
- 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 Trans-Mexican Volcanic Belt: Mantle sources, slab contributions, and crustal contamination. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 4 (8), 8912.
- Hails, J.R and Hoyt, J.H. (1969). The significance and limitations of statistical parameters for distinguishing ancient and modern sedimentary environments of the lower, Georgia coastal plain. *Journal Sedimentary Petrology*, v. 39, 559-580
- Heim, A., 1926. Notes on the Jurassic of Tamazunchale (Sierra Madre Oriental, Mexico): *Eclogae Geol. Helvetiae* 20, 84-87.
- Helland, P.E. and Diffendal Jr. R.F., 1993. Probable glacial climatic conditions in source areas during depositions of parts of the Ash Hollow Formation, Ogallala Group (Late Tertiary), of western Nebraska. *American Journal of Science*, 293, 744–757.
- Herron, M.M., 1988. Geochemical classifications of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 58, 820-82.
- Higgs, R., 1979. Quartz grain surface features of Mesozoic- Cenozoic sands from the Labrador and Western Greenland continental margins. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 49, 599-610.
- Hossain, H.M.Z., Roser, B.P., Kimura, J.-I., 2010. Petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary Sylhet succession, northeastern Bengal Basin, Bangladesh: Provenance and source area weathering. *Sedimentary Geology*, v. 228 (3-4), 171-183.
- Imlay, R.W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz-González, T., 1948, Stratigraphic relations of certain Jurassic formations en eastern Mexico: *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 32(9), 1750-1761
- Kasper-Zubillaga JJ, 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. *Journal of Sedimentary Research*. V 69 1002-1010.

## REFERENCIAS

---

- Kasper-Zubillaga, J.J., Dickinson, W.W., 2001. Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis: *Sedimentary Geology*, 143(1-2), 149-167.
- Kasper-Zubillaga, J.J. and Carranza-Edwards, A., 2005. Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* V.22, 383-390.
- Kasper-Zubillaga, J.J., 2005. Petrography of quartz grains in beach and dune sands of Northland, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, Vol. 48: 649-660.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Dickinson, W.W., Carranza-Edwards, A., Orozco, Y., 2005. Petrography of quartz grains in beach and dune sands of Northland, North Island, New Zealand: *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 48, 649-660.
- Kasper-Zubillaga, J.J., 2007. Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24, núm. 3, 423-438.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Zolezzi-Ruíz, H., Carranza-Edwards, A., Girón-García, P., Ortiz-Zamora, G. and Palma, M. 2007. Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico. *Earth Surf, Process. Landforms* 32, 489-508.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Acevedo-Vargas, B., Morton-Bermea, O.M., Ortiz-Zamora, G., 2008. Rare earth elements of the Altar desert dune and coastal sands, Northwestern Mexico. *Chem. Erde Geochem.* 68 (1), 45-59.
- 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*, Vol. 61. No 1. 1-12.
- Kellum, L. B., 1930. Similarity of surface geology in front range of Sierra Madre Oriental to subsurface in Mexican south fields. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. 14: 73.
- Krinsley, D.H. and Funnell, B.M., 1965, Environmental history of quartz sand grains from the Lower and Middle Pleistocene of Norfolk, England. *Quarter. Journal of Geological Society of London*, 121, 435-461.
- Krinsley, D.H. and Donahue, J., 1968. Environmental interpretations of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geological Society of America Bulletin*, v. 79, 743-748.

## REFERENCIAS

---

- Krinsley, D. H. and Margolis, S., 1969. A study of quartz sand grain surface textures with the scanning electron microscope. Transactions of the New York Academy of Sciences. Series II, v. 31, 457-477.
- Krinsley, D. H. and Doornkamp, J.C., 1973. Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge University Press, Cambridge, England, 91.
- Krinsley, D.H. and McCoy, F.W., 1977. Significance and origin of surface textures on broken sand grains in deep sea sediments. *Sedimentology*, 24, 857-862.
- Krinsley, D.H. and Smith, D.B., 1981. A selective SEM study of grains from the Permian Yellow sands of northeast England. *Proceeding of Geological Association of England*, v. 92, 189-196.
- Krinsley, D.H. and Trusty, P., 1985. Environmental interpretation of quartz grain surface textures. In: Zuffa, G.G. (ed.), *Clastic particle Van Nostrand Reinhold*, 242-247.
- Krinsley, D.H. and Marshall, J.R., 1987, Sand grain textural analysis: an assessment. In: Marshall, J.R. (ed.), *Clastic particles: Scanning Electron Microscopy and Shape Analysis of Sedimentary and Volcanic Clasts*. Van Nostrand-Reinhold, New York, p. 2-15.
- Le Pera, E. and Critelli, S., 1997. Soucerland controls on the composition of beach and fluvial sand of the northern Tyrrhenian coast of Calabria, Italy: Implications for actualistic petrofacies. *Sedimentary Geology*, v. 215 (1-4), 1-12.
- Le-Ribault, L., 1975. L'exoscopie. Methode et applications: *Compagnie Francaise des petroles*, Notes et Memoires, 12, 231.
- Linde, K., Mycielska-Dowgiallo, E., 1980. Some experimentally produced microtextures on grain surface of quartz sand: *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 62(3-4), 171-184.
- Lo'pez-Infanzo'n, M., 1991. Petrologic study of the volcanic rocks in the Chiconquiaco-Palma Sola area, central Veracruz, Mexico, M.Sc. thesis, Tulane Univ., New Orleans, La.
- Lozano-Santa Cruz, R., Verma, S.P., Girón, P., Velasco, F., Morán, D., Viera, F., Chávez, G., 1995, Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas: *Actas INAGEQ*, 1, 203-208
- Madhavaraju, J., Ramasamy, S., Mohan, S.P., Hussain, S.M., Gladwin Gnana Asir, N. and Stephen Pitchaimani, V., 2004. Petrography and surface textures on quartz grains of Nimar Sandstone, Bagh Beds, Madhya Pradesh - Implications for provenance and depositional environment. *Journal of the Geological Society of India*, 64, 747-762.
- Madhavaraju, J., Lee, Y.I., 2010. Influence of Deccan volcanism in the sedimentary rocks of Late Maastrichtian-Danian age of Cauvery basin Southeastern India: constraints from geochemistry. *Current Science*. 98 (4), 528-537.

## REFERENCIAS

---

- Mahaney, W.C., 1995. Pleistocene and Holocene glacier thickness and/or transport histories inferred from microtextures on quartz particles. *Boreas*, 24, 293-304.
- Mahaney, W. C., Claridge, G., Campbell, I., 1996. Microtextures on quartz grains in tills from Antarctica: Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology, 121, 89-103.
- Mahaney, W.C., 1998. Scanning electron microscopy of Pleistocene sands from Yamal and Taz Peninsulas, OB river estuary, northeastern Siberia. *Quaternary International*, 45 y 46, 49-58.
- Mahaney, W. C. & Kalm, V., 2000. Comparative SEM study of oriented till blocks, glacial grains and Devonian sands in Estonia and Latvia. *Boreas* 29 , 35-51
- Mallick, D.I.J & Yap, F.L. 1986. Reconnaissance map of the plutonic rocks of north-east Malaysia. Skala 1:50000.
- Mange, María A. y Maurer, Heinz F. W., 1992. Heavy Minerals in color. First Edition. 1-147
- Manker, J.P., Ponder, R.F., 1978. Quartz grain surface features from fluvial environments of north-eastern Georgia: *Journal of Sedimentary Petrology*, 2, 243-256.
- Marchesini, L.; Amorosi, A.; Cibin, U.; Zuffa, G.G.; Spadafora, E. & Preti, D., 2000. Sand composition and sedimentary evolution of a late Quaternary depositional sequence, Northwestern Adriatic coast, Italy. *Journal Sedimentary Research*, 70 (4), 829-838.
- Margolis, S., Kennett, J.P., 1971. Cenozoic paleoglacial history of Antarctica recorded in Subantarctic deep-sea cores: *American Journal of Science*, 271, 1-36.
- Margolis, S. and Krinsley, D. H., 1974. Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. *American Journal of Science*, 274, 449-464.
- Marsaglia, K.M., 1993. Basaltic island sand provenance. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments: Boulder, Colorado. Special Paper - Geological Society of America*, 284, 41-65.
- Mazullo, J., Ehrlich, R., 1983. Grain shape variation in the St. Peter Sandstone: a record of eolian and fluvial sedimentation of an Early Paleozoic cratonic sheet sand: *Journal of Sedimentary Petrology*, 53, 105-119.
- Mazullo, J., Sims, D., Cunningham, D., 1986. The effects of eolian sorting and abrasión upon the shapes of fine quartz sand grains: *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 45-56.
- McLennan, S. M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes, in Lipin, B. R., and McKay, G. A., eds., *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements: Reviews in Mineralogy*, v. 21, 169-200
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K. y Hason, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes*



- controlling the composition of clastic sediments. Special Paper - Geological Society of America, v. 284. 21-40.
- Miola, R. J., Weiser, D. L., 1968. Textural parameters: an evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology*. 38. 57-69.
- Moral-Cardona, J. P., Sánchez Bello, S., Domínguez Bella, J. M., Gutierrez Mas, F., Lopez Aguayo, F. y Antonio Caballero, M., 1977. Texturas superficiales en los granos de cuarzo de las arenas del Plioceno Superior de la zona Jerez-Lebrija (SW de España). *Geogaceta* 21, 163-166.
- Moral-Cardona, J.P., Sanchez Bellon, A., Lopez-Aguayo, F. and Caballero, M.A., 1996. The analysis of quartz grain surface features as a complementary method for studying their provenance: the Guadalete River Basin (Cadiz, SW Spain). *Sedimentary Geology*, 106, 155–164.
- Moral-Cardona, J.P., Gutierrez Mas, J.M., Sanchez Bellon, A., Lopez-Aguayo, F. and Caballero, M.A., 1997. Provenance of multicycle quartz arenites of Pliocene age at Arcos, Southwestern Spain. *Sedimentary Geology*, 112, 251-261.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 757–775.
- Nesbitt, H.W., Markovics, G. and Price, R.C., 1980. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 44, 1659-1666.
- Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1984, Prediction of some weathering trend of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, 1523–1534.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. *Journal of Geology*. 97, 129–147.
- Nesbitt, H.W., and Young, G.M., 1996, Petrogenesis of sediments in the absence of chemical weathering: effects of abrasion and sorting on bulk composition and mineralogy: *Sedimentology*, v. 43, 341–358.
- Newsome, D. and Ladd, P., 1999. The use of quartz grain microtextures in the study of the origin of sand terrains in Western Australia *Catena*. 35, 1–17.
- Orozco-Esquivel, T., Petrone, C.M., Ferrari, L., Tagami, T., Manetti, P., 2007. Geochemical and isotopic variability in lavas from the eastern Trans-Mexican volcanic belt: slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Lithos* 93, 149–174.
- Orr, E. D., and Folk, R. L., 1983. New scents on the chattermark trail: weathering enhances obscure microfeatures: *Journal Of Sedimentary Petrology*, v. 53, 121-129.

## REFERENCIAS

---

- Ortega-Gutiérrez, Fernando; Mitre-Salazar, L.M.; Roldán.Quintana, Jaime; Aranda-Gómez, J.J.; Morán-Zenteno, D.J.; Alaniz-Álvarez, S.A.; y Nieto-Samaniego, A.F., 1992. Carta Geológica de la República Mexicana, 5ª ed.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Parastatal, Consejo de Recursos Minerales, Mapa de escala 1:2'000,000, con texto explicativo de 74.
- Peterknecht, K.M. y Tietz, G. F., 2011. Chattermark trails: Surface features on detrital quartz grains indicative of a tropical climate. *Journal of Sedimentary Research*, v. 81, 153-158.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1972. *Sand and Sandstones*. New York, Springer-Verlag, 618 .
- Pettijohn, F.J. 1975. *Sedimentary Rocks*. Harper & Row, London, 718.
- Potter, P.E., 1978. Petrology and chemistry of big river sands. *Journal of Geology* 86, 423-449.
- Potter, P.E., 1994. Modern sands of South America: composition, provenance and global significance. *Geologische Rundschau*. 83, 212-232.
- Rodríguez, S. R., Gómez-López, D., Ruiz-Hernández, E., Murrieta-Hernández, J. L., y Mora-González, I., 2005. Mapa de peligros geológicos de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Capítulo incluido en el libro electrónico "El Bosque urbano de Xalapa, Veracruz", ISBN 968-834-662-4.
- Rollingson, H., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Pearson, 352.
- Roser, B.P. and Korsch, R.J., 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, v. 67, 119-139.
- Schaaf, P. and Carrasco-Nuñez, G., 2010. Geochemical and isotopic profile of Pico de Orizaba (Citlaltépetl) volcano, Mexico: Insights for magma generation processes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 197. 108-122
- "Self, R.P., 1975. Petrologic changes in fluvial sediments in the Rio Nautla drainage Basin, Veracruz, Mexico. *Journal Sedimentary Petrology* 45 (1), 140-149."
- Self, R.P., 1977. Longshore variation in beach sands Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal Sedimentary Petrology* 47 (4), 1437-1443.
- Tamayo, J. L., 1962. *Geografía general de México: Tomo II, geografía física*, 2nd ed., Institución de México Investigaciones Económicas, México, 634 .



## REFERENCIAS

---

- Taylor, S.R. and McLennan, S. M., 1985. *The continental Crust: its composition and evolution*. London, Blackwell Scientific Publications, 312.
- Turner, J.C., 1970. *Matemática Moderna Aplicada. Probabilidades, Estadística e Investigación*. Operativa Alianza Editorial, España. 550.
- Verma, S.P., 2001b. Geochemical evidence for a Lithospheric source for magmas from Acochulco Caldera, Eastern Mexican Volcanic Belt. *Int. Geol. Rev.* 43 (1), 31–51.
- Verma, S.P., 2004. Solely extension-related origin of the eastern to west-central Mexican Volcanic Belt (Mexico) from partial melting inversion model. *Current Sciences*. 86 (5), 713–719.
- Zimmermann, U. and Spalletti, L.S., 2009. Provenance of the lower Paleozoic Belcarce Formation (Tandilia System, Buenos Aires Province, Argentina): Implications for paleogeographic reconstructions of SW Gondwana. *Sediment. Geol.*, v. 219, 7-23.