



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Procedencia de sedimentos
de la playa Tecolutla, Golfo
de México, México**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Geóloga

P R E S E N T A

Bianca Arely Pérez Cuna

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Armstrong Altrin Sam John Selvamony



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la asistencia financiera proporcionada al Dr. John S. Armstrong Altrin S. del proyecto DGAPA-PAPIIT, número: IN107020 por la cual fue posible la recolección de muestras y el análisis de mineralogía.

Agradezco la asistencia financiera proporcionada al Dr. John S. Armstrong Altrin S. del proyecto CONACYT Ciencia Básica, número: A1-S-21287 por el apoyo para los análisis geoquímicos de las muestras de sedimentos del Golfo de México y por la beca otorgada.

Agradezco al proyecto institucional del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología (ICML) n° 616, por las facilidades de transporte para la recolección de muestras en las playas del Golfo de México.

Agradezco al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, lugar donde se pudo realizar mi trabajo de tesis.

Agradezco al M. en C. Eduardo Alfredo Morales de la Garza y a Ricardo Martínez Domínguez del Laboratorio de Sedimentología del ICML de la UNAM por facilitarme las muestras para los análisis.

Agradezco a la M. en C. Laura Elena Gómez Lizárraga por su apoyo en los estudios de SEM realizados en el Laboratorio del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

A mi compañera de laboratorio Dra. Mayla A. Ramos-Vázquez por sus comentarios y mejoras en este trabajo, así como su compañía y amistad durante mi trabajo de tesis.

A mis compañeras de laboratorio Rubí y Dani por su amistad y apoyo durante mi tesis.

A los miembros de mi jurado que está conformado por la Dra. Iza Canales García, Dra. María Adela Monreal Gómez, M. en C. Eduardo Alfredo Morales de la Garza, Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez, Dra. María Esther Diupotex Chong.

A todos mis maestros de la facultad de ingeniería por su ayuda en mi formación académica.

A mis compañeros de la facultad de ingeniería en especial a Gamita, Isa, Sam, por sus consejos y amistad.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme una educación de la más alta calidad.

DEDICATORIA

En memoria de mi excelente padre, Javier Ceciliano que amo y extraño gracias por ser siempre mi motor por apoyarme tanto, por tu amor y consejos.

A mi madre Carolina que amo, gracias por tus consejos por siempre estar presente, por apoyarme en todo.

A mis hermanas y mi hermano por ser siempre mi compañía y motor.

RESUMEN

El principal objetivo de la tesis fue el estudio y análisis de microtexturas en granos de cuarzo y circón para inferir su ambiente, las arenas fueron recolectadas en la playa Tecolutla, Estado de Veracruz en el Golfo de México.

Asimismo, se realizó el análisis granulométrico el cual indicó que las arenas de la playa Tecolutla son finas con una buena clasificación.

El estudio de microtexturas en granos de circón y cuarzo se llevó a cabo con ayuda del microscopio electrónico de barrido (SEM), el cual nos proporcionó 131 micrografías digitales, 59 de cuarzo y 72 de circones, de las cuales se concluyó que existen 84 de origen mecánico, 79 de origen químico y 92 de origen mecánico químico.

El tipo de transporte en algunos granos de circón y cuarzo bien redondeados es de tipo eólico, por lo que se infiere que provienen de las dunas litorales y se mezclaron con el ambiente de playa.

La playa Tecolutla muestra microtexturas en los circones y cuarzos que presentaron mayormente relieve medio como algunas marcas en forma de v que nos indican un entorno de deposición subacuático de alta energía. Los resultados nos proponen dos tipos de transporte, el primero de tipo fluvial, debido a que contamos con cicatriz de impacto y depresión alargada, fracturas concoidea. El segundo es un transporte eólico, debido a que hay granos redondeados a subredondeados, estructuras de origen mecánico como borde bulboso, crestas serpenteantes que son indicadores de este tipo de ambiente. De igual manera tiene una gran influencia el transporte de oleaje ya que una gran acumulación de sedimentos que tiene lugar en la playa son arrastrados por el oleaje y las corrientes. Al tener un mayor número de microtexturas de origen mecánico/químico, siendo la mayor predominancia partículas adherentes nos infiere un ambiente diagenético.

Índice general

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción:.....	1
1.2 Antecedentes.....	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivo General.....	2
1.5 Objetivos Específicos	2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	3
2.1 Sedimentación en el Golfo de México	3
2.2 Sedimentos	3
2.2.1 Composición del sedimento	3
2.3 Sedimentología.....	4
2.3.1 Procesos sedimentarios.....	5
2.4 Procesos específicos del intemperismo	5
2.4.1 Procesos físicos	5
2.4.2 Procesos biológicos	6
2.4.3 Procesos químicos	6
2.5 Ambientes de depósito	7
2.5.1 Ambiente sedimentario de manglar.....	7
2.6 Sedimentos de playa.....	8
2.6.1 Parámetros texturales de los sedimentos	8
2.7 Granulometría.....	9
2.8 Clasificación.....	11
2.8.1 Forma.....	11
2.8.2 Esfericidad y redondez	11
2.9 Procedencia de sedimentos arenosos.....	12
CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO	14
3.1 Geología y Evolución.....	14
3.2 Clima	15
3.3 Hidrología.....	15
3.4 Corriente y condiciones hidrometeorológicas en el Golfo de México	16

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	19
4.1 Recolección De Muestras	19
4.2 Granulometría.....	20
4.3 Parámetros estadísticos de tamaño de grano	21
4.4 Metodología para la obtención de parámetros estadísticos	23
4.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	28
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1 Análisis Granulométrico.....	30
5.1.2 Diagramas bivariantes	32
5.2 Micrografías digitales de cuarzo y circón por microscopia electrónica de barrido (SEM)	36
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	51
PERSPECTIVAS	52
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS	53

Índice de tablas

Tabla 1. Las diferentes modalidades que asumen los procesos de intemperismo	6
Tabla 2.- Catalogación de los ambientes de depósito (Modificada de Boggs, 2006).....	7
Tabla 3.- Escala de clases de tamaño y en unidades phi de Udden-Wentworth. Tomada y modificada de Boggs (2006).....	10
Tabla 4.- Coordenadas de la toma de muestra.....	19
Tabla 5.- La clasificación de las arenas con relación a la Media (Folk y Ward 1957)	21
Tabla 6.- Clasificación Folk & Ward para clasificación	22
Tabla 7.- Los límites establecidos por Folk & Ward (1957) para asimetría	22
Tabla 8.- Límites de la cúrtosis	23
Tabla 9.- Porcentaje retenido en tamices para MT1	24
Tabla 10.- Parámetros texturales para MT1	25
Tabla 11.- Porcentaje retenido en tamices para MT2.....	27
Tabla 12.- Obtención de valores.....	27
Tabla 13. Parámetros texturales para MT2.....	28
Tabla 14.- Parámetros estadísticos para las muestras de la Playa Tecolutla, Veracruz.	31

Tabla 15. Microtexturas encontradas en los granos de cuarzo y circón estudiados en la Playa Tecolutla, Veracruz.	48
Tabla 16. Principales microtexturas en circón y cuarzo.....	49

Índice de figuras

Figura 1. Serie de reacción de Bowen	5
Figura 2. Esquema de perfil de playa. A) Plataforma continental limita a la infraplaya hacia el mar. B) infraplaya es zona de la playa que se encuentra siempre cubierta por agua en condiciones normales. C) mesoplaya se ubica entre la infraplaya y la supraplaya. D) supraplaya es la zona de la playa que en condiciones normales se encuentra seca; el agua llega a esta zona solo en caso de mareas por tormentas o por olas extremadamente altas. E) dominio terrestre es la zona que delimita a la supraplaya, es el límite hacia tierra de playa. Tomada de Arturo Carranza-Edwards, et atl. (1991).	8
Figura 3. Formas de los clastos fundamentado en las proporciones de los diámetros: largo (a) intermedio (b) y corto (c) Zingg(1935). Tomado y modificado de Carreras-Soriani(2008).	11
Figura 4. Comparación visual para evaluar la redondez y la esfericidad. Tomada de Powers, (1953).	12
Figura 5. Comparación visual para valorar la redondez y esfericidad. Tomada de Krumbein y Sloss, (1969).	12
Figura 6. Paleografía de finales del Cenozoico, que muestra plegamientos y fallas. Tomada de Padilla Sánchez (2007).	15
Figura 7. Circulación en el Golfo de México. (Zona A) Presión alta, (Zona B) Presión baja. Tomado y modificado de Monreal et al. (2004).	17
Figura 8. Promedio de la circulación y salinidad superficial en el Golfo de México, primavera-verano, otoño-invierno (Zavala-Hidalgo et al., 2003) Modificada de Tapia-Fernández (2018).	17
Figura 9. Mapa de la geología y localización de la zona de estudio	20
Figura 10. Equipo RoTap Tyler RX-29 1	21
Figura 12. Obtención de valores phi para MT1	25
Figura 13. Phi vs porcentaje acumulado para MT2.....	26
Figura 14. Obtención de valores phi para MT2.....	26
Figura 15. SEM	29

Figura 16. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Friedman, 1967; Moila y Weiser, 1968).....	32
Figura 17. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Grado de asimetría vs Desviación estándar) (Friedman, 1967).....	33
Figura 18. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Grado de asimetría vs Curtosis) (Friedman, 1967).	34
Figura 19. Diagrama de procesos de energía (Hails y Hoyt, 1969; Moila y Weiser, 1968).	35
Figura 20. Diagrama de procesos de energía (Moia y Weiser, 1968).	35
Figura 21. Microtexturas que se encuentran en granos de cuarzo en la Playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo angular con relieve bajo con microtexturas: fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). B) partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed) y marcas de percusión (pm). C) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed), hoyos de disolución (sp) y fatiga por abrasión (af). D) partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y depresión alargada (ed). E) partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). F) Grano de cuarzo sub redondeado con bajo relieve, depresión alargada (ed), hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y bordes bulbosos (be). G) hoyos de disolución (sp), depresión alargada (ed) y partículas adheridas (ap). H) partículas adheridas (ap) y bordes bulbosos (be). I) Grano de cuarzo sub angular con relieve medio, partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y ranuras curvas (cg). J) fatiga por abrasión, crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). K) hoyos de disolución (sp), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). L) Cuarzo subredondeado repleto de precipitación de sílice y disolución.	37
Figura 22. Microtexturas en cuarzoes. A) Grano subredondeado con relieve medio, borde bulboso (be), fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap), y cicatriz de impacto (is), B) hoyos de disolución (sp), depresión por disolución(de), y partículas adheridas (ap), C) depresión por disolución (de) D) Grano subredondeado con relieve medio, hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y borde bulboso (be). E) hoyos de disolución (sp), depresión por disolución y glóbulos de sílice (sgl). F) Grano sub angular con relieve bajo, hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). G) hoyos de disolución (sp), crestas serpenteantes (mr) y partículas adheridas (ap). H) marcas de percusión (pm), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). I) Grano subangular con relieve bajo, borde bulboso (be), cicatriz de impacto (is), y partículas adheridas (ap). J) depresión por disolución (de), crecimiento de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y hoyos de disolución (sp). K) Grano angular con relieve bajo, hoyos de disolución (sp), y partículas adheridas (ap). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), glóbulos de sílice (sgl), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap).....	38

Figura 23. . Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo sub angular con relieve medio, partículas adheridas (ap), borde bulboso (be), y hoyos de disolución (sp). B) partículas adheridas (ap), hoyos de disolución (sp) y glóbulos de sílice (sgl). C) crecimiento excesivo de cristales (cro), hoyos de disolución (sp) y crestas serpenteantes (mr). D) Grano de cuarzo subredondeado con relieve bajo en donde se observa partículas adheridas (ap), y hoyos de disolución (sp). E) glóbulos de sílice (sgl), partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) y hoyos de disolución (sp). F) partículas adheridas (ap), crestas serpenteantes (mr) y marcas en forma de v (V-sh). G) Grano de cuarzo subangular con relieve medio, depresión por disolución (de), partículas adheridas (ap) y fatiga por abrasión (af) H) partículas adheridas (ap), y estrías paralelas (ps). I) Grano de cuarzo subredondeado con relieve alto, depresión por disolución (de) y partículas adheridas (ap). J) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cistales (cro). K) Grano de cuarzo subangular relieve medio, fatiga por abrasión (af), hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y depresión alargada (ed). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y hoyos de disolución (sp)..... 39

Figura 24. Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo subangular con relieve bajo, partículas adheridas, cicatriz de impacto (is) y fracturas concoidales (cf) B) partículas adheridas (ap), crestas serpenteantes (mr). C) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, borde bulboso (be), fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). D) partículas adheridas (ap), ranuras curvas (cg), crestas serpenteantes (mr), hoyos de disolución (sp), y marcas de percusión (pm). E) hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) que es crecimiento de halita y glóbulos de sílice. F) Grano de cuarzo subredondeado con relieve alto donde se observa borde bulboso (be) y partículas adheridas (ap). G) hoyos de disolución (sp). H) Grano de cuarzo subangular con relieve medio donde se aprecia fracturas concoidales (cf) y partículas adheridas (ap). I) cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). J) partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión alargada (ed), fracturas radiales (rd). K) Grano angulares con relieve bajo fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). L) partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) y hoyos de solución (sp)..... 40

Figura 25. Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) depresión por disolución (de) y partículas adheridas (ap). B) Grano de cuarzo subredondeado con relieve bajo, borde bulboso (be) hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). C) crestas serpenteantes (mr), marcas de percusión (pm) y marcas en forma de V (V-sh). D) Grano subredondeado con relieve alto, cicatriz de impacto (is) y hoyos de disolución (sp), se observa disolución en gran parte del grano. E) depresión por disolución (de) y hoyos de disolución (sp). F) Grano subredondeado con relieve medio que muestra bastantes hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). G) hoyos de disolución (sp), crecimiento excesivo de cristales (cro). H) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas. I) ranuras curvas (cg). J) Grano subredondeado con relieve bajo que muestra borde bulboso (be), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). K)

depresión por disolución (de), hoyos de disolución (sp) y crecimiento excesivo de cristales (cro). 41

Figura 26. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subangular con relieve bajo, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) depresión alargada (ed) y crecimiento excesivo de cristales (cro). C) crecimiento excesivo de cristales (cro). D) relieve alto, el grano está muy afectado por la disolución, depresión por disolución (de). E) Grano de circón con relieve medio, glóbulos de sílice (sgl) y crecimiento excesivo de cristales (cro). F) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cristales (cro). G) afectación al grano por disolución, crecimiento excesivo de minerales (cro) y la depresión por disolución (de). H) depresión por disolución. I) depresión por disolución (de) y el crecimiento excesivo de cristales (cro). J) Grano de circón subangular con relieve medio, crecimiento excesivo de cristales (cro). K) crecimiento excesivo de cristales (cro). L) Grano anguloso con relieve bajo, depresión alargada (ed) y crecimiento excesivo de cristales (cro). 42

Figura 27. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). B) depresión alargada (ed), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). C) crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas. D) Grano angular, fatiga por abrasión, partículas adheridas (ap), cicatriz de impacto (is) y estrías paralelas (ps). E) estrías paralelas (ps) y partículas adheridas (ap). F) estrías paralelas (ps) y partículas adheridas (ap). G) crestas serpenteantes (mr), partículas adheridas (ap) y fracturas concoidales (cf). H) pasos arqueados (as), y partículas adheridas (ap). I) Sección de grano de circón en donde se observa partículas adheridas. J) Grano de circón en donde se observa fracturas concoidales (cf), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). K) crecimiento excesivo de cristales (cro) y fracturas concoidales (cf). L) cráter (cr), fracturas lineales subparalelas (slf). 43

Figura 28. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subanguloso con relieve bajo, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) crecimiento excesivo de cristales (cro). C) crecimiento excesivo de cristales (cro). D) Grano subredondeado marcas de percusión (pm) y partículas adheridas (ap). E) crecimiento excesivo de minerales (cro), marcas en forma de v (V-sh) y partículas adheridas (ap). F) Grano subredondeado con relieve bajo estrías paralelas (ps), partículas adheridas (ap), ranuras curvas (cg) y superficie fresca. G) crecimiento excesivo de minerales (cro) y partículas adheridas (ap). H) ranuras curvas (cg). I) Grano de circón con relieve bajo, angular que muestra cicatriz de impacto (is), fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). J) cicatriz de impacto (is), ranuras curvas (cg) y pasos rectos (ss). K) Grano subanguloso con relieve medio, fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap) y crecimiento excesivo de cristales (cro). L) crestas serpenteantes (mr) y partículas adheridas (ap). 44

Figura 29. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano anguloso con relieve bajo partículas adheridas (ap). B) crecimiento excesivo de cristales (cro) y pasos arqueados (as). C) Grano angulosos con relieve bajo partículas adheridas (ap). D) pasos

arqueados (as) y partículas adheridas (ap). E) cicatriz de impacto (is). F) Grano subanguloso crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y cicatriz de impacto (is). G) crecimiento excesivo de cristales (cro). H) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). I) Grano anguloso con relieve bajo que muestra cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). J) fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). K) Grano con relieve, fracturas concoidales (cf) y hoyos de solución (sp). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y fracturas concoidales(cf). 45

Figura 30. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subanguloso con relieve bajo, partículas adheridas (ap), B) crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión alargada (de) y pasos arqueados (as). C) depresión alargada (ed). D) depresión alargada (ed), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). E) Grano subanguloso con relieve medio que muestra cicatriz de impacto (is). F) cicatriz de impacto (is), crecimiento excesivo de cristales (cro) y crestas serpenteantes (mr). G) fatiga por abrasión (af), y partículas adheridas (ap). H) Grano anguloso con relieve medio donde se muestra depresión alargada (de) y partículas adheridas (ap). I) depresión alargada (de). J) Grano anguloso con relieve medio donde se aprecia fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). K) ranuras curvas (cg) y partículas adheridas (ap). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y fatiga por abrasión (af). 46

Figura 31. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano anguloso con relieve medio, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cristales (cro). C) Grano con relieve medio, fatiga por abrasión (af). D) crecimiento excesivo de cristales (cro) y fatiga por abrasión (af). E) Grano redondeado con relieve bajo partículas adheridas (ap). F) partículas de percusión (pm) y crecimiento excesivo de cristales (cro). G) Grano anguloso superficie fresca y partículas adheridas (ap) H) marcas en forma de V (V-sh). I) fatiga por abrasión (af), crecimiento excesivo de cristales (cro), pasos arqueados (as) y crestas serpenteantes (mr). J) crecimiento excesivo de cristales (cro) y depresión por disolución (de). K) fatiga por abrasión (af), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). L) depresión por disolución (de), crecimiento excesivo de cristal (cro) y partículas adheridas (ap)..... 47

Figura 32. Gráfica representativa del porcentaje de cada microtexturas..... 50

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción:

El sedimento es un depósito de material no consolidado en la superficie terrestre transportado por los vectores de la sedimentogénesis (agua-aire) en condiciones normales de la superficie terrestre, su procedencia está en función de las condiciones físicas, químicas que se presentan durante su transporte (Krumbein y Sloss, 1969).

Las partículas sedimentarias pueden depositarse en sistemas de transición como las zonas costeras, en los océanos y su transporte a partir de sistemas fluviales. Las fuentes de generación del sedimento son: (a) rocas pre-existentes (origen litogénico), (b) materia orgánica (origen biógeno), (c) compuestos disueltos en el agua (origen hidrógeno), y (d) material proveniente del espacio exterior (origen cosmogénico). La formación de estos sedimentos se puede comprender al estudiar el piso oceánico ya que influye en las texturas y composición de dichos sedimentos.

El estudio de las características texturales, como la forma y tamaño de los granos, así como el estudio de microtexturas en circones y cuarzos nos brinda información sobre el ciclo sedimentario, como la roca fuente, el tipo de ambiente de depósito.

En el presente escrito, tiene como finalidad la procedencia y el transporte de los sedimentos de una playa del Golfo de México por medio del estudio granulométrico y de microtexturas en granos de circon y cuarzo. Estos estudios son escasos, pero son útiles para entender el proceso de transporte de sedimentos.

1.2 Antecedentes

Existen diversos trabajos que buscan conocer la procedencia de sedimentos a partir de diversos análisis, a continuación, se mencionarán los más relevantes

En el caso del Golfo de México Kasper-Zubillaga et al. (1999) analizaron geoquímicamente y petrográficamente los sedimentos en tres entornos diferentes: eólico, fluvial y de playa, todos pertenecientes a la misma cuenca (costa occidental del Golfo de México) con la finalidad de observar las diferencias y determinar el ambiente tectónico de la roca fuente.

Zhong et al. (2017) mediante la técnica LA-ICP-MS estudiaron las características morfológicas y las edades en circones de sedimento del Mar del Sur de China, delimitaron que había una correlación entre estas, teniendo procedencia del Fanerozoico y Proterozoico, con esto concluyeron que los sedimentos provenían de la Región Sur de China.

Carranza-Edwards et al. (2001). Estudiaron químicamente y petrológicamente muestras de arenas que presentaban coloración oscura en playas ubicadas en el litoral occidental de México con el propósito de señalar la relación entre las variaciones de tierras raras y la concentración de minerales pesados.

Armstrong-Altrin et al. (2015) hicieron estudios geoquímicos y composicionales en arenas de la playa Chachalacas en Veracruz, para delimitar la procedencia de los sedimentos, así como su entorno tectónico.

Armstrong-Altrin et al. (2020) analizó la procedencia de granos de circón por medio de datación radiométrica y microtexturas de la playa Chachalacas que se ubica en el Golfo de México. Como resultado se determinaron posibles terrenos fuente de los que destacan: provincia del Valle de Huizachal y la Mesa Central.

Ramos-Vázquez et al. (2021) analizaron las microtexturas de la superficie de los granos de cuarzo y circón en la Barra del Playas Tordo y Tesoro, que se localizan en el noroeste del Golfo de México, para su posterior clasificación en mecánicas, químicas y mecánicas/ origen químico. Se obtuvo que los sedimentos están influenciados por el viento, el ambiente fluvial y marino subacuático, así como una influencia de fuentes cercanas y distantes hacia la costa.

Armstrong-Altrin et al. (2022) documentaron las microtexturas de granos de cuarzo en las Playas de Boca del Cielo y Chochuital que se ubica en el Pacífico mexicano, con ayuda de las imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) para identificar los tipos de microtexturas presentes y poder determinar su paleoambiente.

1.3 Justificación

La realización del análisis granulométrico de la arena de la playa Tecolutla, localizada en el estado de Veracruz proporcionará información sobre la dinámica que presentan los sedimentos. Para poder inferir el ambiente deposicional se puede examinar la superficie de cuarzos y circones. Actualmente se empiezan a conocer a detalle estudios sobre las microtexturas en granos de circón y cuarzo para inferir su ambiente deposicional, por lo tanto, este trabajo aporta información referente en la costa del Golfo de México a través de microtexturas en granos de circón y cuarzo.

1.4 Objetivo General

Analizar los sedimentos de la playa Tecolutla, en el estado de Veracruz a través de estudios granulométricos y análisis de microtexturas en granos de minerales para determinar su procedencia mediante su transporte y su zona de depósito.

1.5 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis granulométrico para obtener los parámetros texturales ($Mz\Phi$, $\sigma 1 \Phi$, $S\kappa 1$, K_G) para inferir las condiciones de transporte
- Identificar los tipos de microtexturas en la superficie de los granos de cuarzo y circón para determinar el tipo de transporte desde la roca fuente a la zona de depósito.
- Caracterizar la predominancia de microtexturas de acuerdo a su origen en circones y cuarzos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Sedimentación en el Golfo de México

El Golfo de México es una cuenca oceánica de 1.5 millones de km² dos terceras partes de la sedimentación se lleva a cabo en el talud y en la llanura abisal (Galloway et al., 2009). El horizonte superior que cubre el fondo marino (5-50 cm) de esta cuenca, es mayoritariamente un lodo de globigerinas rico en carbonato de calcio, que se encuentra con una alternancia de capas de arcilla y limo empobrecidas en carbonato de calcio (Trask et al., 1947). Balsam y Beeson (2003) documentaron que hay un incremento que va de noroeste a sureste, de carbonato de calcio en los sedimentos, proceso que se lleva a cabo por el aporte de material terrígeno de los ríos Grande y Misisipi. En las zonas someras del talud su aporte de sedimentación carbonatada es debido principalmente a macro-invertebrados, conforme incrementa la profundidad se debe a la micro biota pelágica; especialmente los foraminíferos planctónicos y coccolitoforidos.

2.2 Sedimentos

Se define como sedimento al producto no consolidado, que es producto de la erosión de rocas expuestas en la superficie, y que es transportado por un medio de transporte para su posterior depositación en una cuenca sedimentaria. Los sedimentos se dividen en clásticos y no clásticos. Los sedimentos clásticos son producto de fragmentos de roca, minerales u organismos que se creó a partir de la alteración química y física de rocas preexistente que están en la superficie continental. Los sedimentos no clásticos se forman por dos procesos: por medio de reacciones inorgánicas en el agua, o por reacciones bioquímicas de la actividad de plantas y animales.

2.2.1 Composición del sedimento

El sedimento se integra de diversos minerales que pueden dar información sobre su depósito y los cambios que ha sufrido. Uno de los minerales es el circón ($ZrSiO_4$) que se encuentra principalmente en rocas ígneas sedimentarias y metamórficas. Presenta una resistencia al intemperismo y disolución (Morton y Hallsworth, 1999); por lo que se le considera un mineral refractario que le permite existir durante diversos ciclos sedimentarios debido a su estabilidad química. Su alta resistividad al intemperismo nos proporciona información química de las rocas que dieron origen a los sedimentos clásticos y con ello trazar el proceso que han sufrido los sedimentos desde la roca fuente hasta su depósito (Hoskin y Schaltegger, 2003; Morton y Hallsworth, 1999). Otro mineral que es importante es el cuarzo este es un compuesto químico que está formado por una parte de silicio y dos partes de oxígeno esto forma al dióxido de silicio (SiO_2). Es el mineral más abundante de la corteza de la tierra. Se forma en todas las temperaturas y está presente en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias y tiene una resistencia alta a la intemperie tanto mecánica como química (Calvo, 2016).

De acuerdo a Mejía-Ledezma et al. (2020), las características superficiales llamadas microtexturas, que se observan sobre la superficie de cuarzos y algunos minerales pesados, se originaron en distintos ambientes sedimentarios como: fluvial, eólico, marino, glacial y lacustre, que sirve para inferir su procedencia y transporte. Los estudios de microtexturas más utilizados son en cuarzos, debido a que es un mineral que se encuentra en cualquier ambiente sedimentario y por su resistencia al

intemperismo químico y físico, ya que puede prevalecer su estructura varios ciclos de intemperismo (Le Ribault, 1977; Mejía-Ledezma et al., 2020; Vos et al., 2014).

La forma de los granos de arena en el caso de sedimentos costeros puede darnos información sobre las microtexturas que presentan (Vangla et al., 2018). Las microtexturas en la superficie varían de tamaño y forma (Mahaney, 2002). El microscopio electrónico de barrido (SEM) es una herramienta útil para poder interpretar los ambientes sedimentarios y mecanismos de transporte a los que han sido sometidos los sedimentos a través de las microtexturas, además nos brinda información para inferir el paleoambiente de los depósitos fluviales o eólicos (Krinsley y Doornkamp, 1973; Le Ribault, 1977; Li et al., 2020; Mahaney et al., 2001).

Existen trabajos que se han enfocado en el estudio de cuarzos y circones donde se observa su forma y microtexturas (Margolis y Krinsley 1974; Costa et al., 2012; Vos et al., 2014; Ramos-Vázquez y Armstrong-Altrin, 2021) con el objetivo de plantear su fuente y el tipo de transporte predominante en el depósito de los sedimentos en la zona costera.

Dentro del estudio de las microtexturas, éstas se pueden clasificar a partir de su origen en mecánico, químico y mecánico/químico. Para las microtexturas mecánicas tenemos marcas de percusión (pm), crestas serpenteantes (mr), ranuras curvas (cg), fatiga por abrasión (af), estrías paralelas (ps), fracturas concoideas (cf) marcas en forma de v (V-sh), cicatriz de impacto (is), borde bulboso (be), pasos arqueados (as), pasos rectos (ss), fracturas de líneas subparalelas (slf), fracturas radiales (rd). Por otro lado las microtexturas de origen químico se dividen en: hoyos de solución (sp), glóbulos de sílice (sgl), crecimiento excesivo de minerales (cro). Finalmente, la aparición de microtexturas de origen mecánico-químico las cuales son: partículas adherentes (ap), depresión alargada (ed), y tipo de relieve. (Krinsley y Donahue, 1968; Rahman y Ahmed, 1996; Madhavaraju et al., 2006; 2021)

Este trabajo tiene como finalidad el estudio de las microtexturas de granos de cuarzo y circón en la playa Tecolutla para poder conocer el transporte que han sufrido los sedimentos desde la roca fuente hasta la zona de depósito. A través de los parámetros granulométricos del sedimento para caracterizar el tamaño de grano que predomina, su clasificación y cúrtosis. Los resultados de investigación son relevante y de gran importancia ya que su finalidad es conocer los diferentes medios de transporte que pudieran estar suministrando en esta zona de la costa del Golfo de México.

2.3 Sedimentología

“La Sedimentología se puede definir como el estudio del transporte y la deposición de sedimentos” (Leeder, 1999). Su estudio se centra en la investigación de las estructuras internas, composición y procesos hidrodinámicos de formación de sedimentos. Con ayuda de ciencias afines como: estratigrafía, petrología sedimentaria, mineralogía y oceanografía. Asimismo, los procesos de generación, erosión, transporte y de materiales geológicos que se depositan en ambientes continentales y marinos, para su posterior formación de rocas sedimentarias. Su estudio se sitúa desde mediados del siglo XX, a raíz del estudio de procesos sedimentarios, caracterizando cada uno de ellos y sus variaciones respecto a los parámetros fundamentales como: salinidad del agua y velocidad de las corrientes.

2.3.1 Procesos sedimentarios

La sedimentación sucede con ayuda de procesos físicos, químicos y biológicos. El intemperismo o meteorización, es el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que modifican las rocas que se encuentran sobre la corteza terrestre. Los procesos de intemperismo originan la formación de minerales estables por medio de minerales inestables que constituyen las rocas. Para comprender el proceso de intemperismo se utiliza el modelo de la serie de reacción continua y discontinua de Bowen (1928). Que nos explica de forma conceptual y termodinámicamente, la formación de los minerales durante el enfriamiento del magma a partir de los minerales formadores de rocas (Fig. 1).

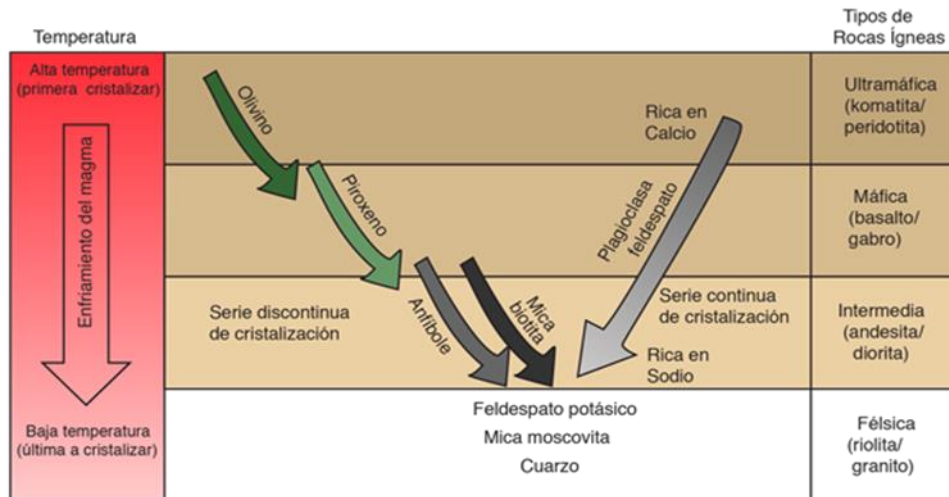


Figura 1. Serie de reacción de Bowen

2.4 Procesos específicos del intemperismo

Existen diferentes tipos de alteración, que son los agentes meteóricos activos y procesos relacionados de los cuales resultan tres tipos de intemperismo: físico, químico y biológico.

2.4.1 Procesos físicos

En los sedimentos clásticos los procesos que más influyen son los físicos como la erosión, transporte y sedimentación. Existen en la naturaleza, cuatro procesos físicos importantes que provocan la fragmentación de la roca como son la fragmentación por helada, expansión térmica, actividad biológica y expansión provocada por la descompresión. A pesar de no ser considerados como parte de la meteorización física los agentes erosivos, como el viento, el hielo de glaciar y las aguas corrientes, son importantes. Ya que los agentes dinámicos retiran los restos rocosos, desintegran estos materiales. (Tarbuck y Lutgens, 200).

2.4.2 Procesos biológicos

Los procesos biológicos son producto de la actividad fisiológica de animales y plantas que se encuentran en todo el planeta. Por medio de estos organismos se produce sedimentos y con ello la consolidación en los medios. Algunos medios tienen como única fuente de sedimentos la acumulación de esqueletos de organismos unicelulares como algunos lagos y zonas marinas profunda.

2.4.3 Procesos químicos

El intemperismo químico tiene cinco factores que son: el intemperismo mecánico, la profundidad de los materiales, la composición mineralógica original, y las variaciones de la temperatura y de la humedad. (Escobar, 2003).

- El intemperismo mecánico. Es el más relevante de intemperismo químico, debido a que el proceso tiene una mayor área de exposición de los materiales.
- La profundidad. Los materiales que están en superficie están más expuestos a variaciones de temperatura y humedad, así como al aire y la materia orgánica. Debido a que en la superficie existen organismos vivos que conllevan a la alteración de la roca.
- La composición del mineral original. Se refiere a la génesis y tipo de roca como su textura. Por ejemplo, entre los metales el hierro se oxida más rápido, y el cuarzo según Bowen resiste más que los otros de la serie.
- La temperatura y la humedad. Son dos factores climáticos que influyen en la velocidad de las reacciones químicas. Las rocas se degradan por ciclos de humedecimiento y secado, la intensidad en ambos factores es lo fundamental.

Tabla 1. Las diferentes modalidades que asumen los procesos de intemperismo

Intemperismo	Procesos
Físico	Cambio de temperatura, gelifración, congelamiento, contracción, expansión, fractura.
Químico	Hidratación, hidrólisis, oxidación, carbonatación, disolución, silicificación, evaporación.
Biológico	Acción de microorganismos, organismos de plantas, procesos bioquímicos.

2.5 Ambientes de depósito

Un ambiente de depósito es unidad geomorfológica; que es una depresión con una forma y tamaño determinado donde se almacenan capas de sedimentos en distintos ambientes de depósito, cada una de ellas tiene características físicas químicas y biológicas distintas lo que es útil para identificar cada capa de sedimento. Los ambientes de depósito se clasifican en: marinos, continentales y transicionales (Tabla 2).

Tabla 2.- Catalogación de los ambientes de depósito (Modificada de Boggs, 2006)

Deposito primario	Ambiente mayor	Sub-ambiente
Continental	*Fluvial *Eólico Lacustre Glacial	*Abanico aluvial *Corriente trenzada *Corriente meándrica
Transicional	*Deltaico *Playa/isla de barrera *Estuario/laguna Llanura de marea	*Planicie deltaica *Frente deltaico *Pro delta
Marino	Nerítico Batial	Plataforma continental **Arrecife orgánico Talud continental Mar profundo
<p>**Depósito dominante **Depósito predominantemente carbonatado Los ambientes no marcados con asterisco pueden ser lugares de depósito siliciclásticos, carbonatado, evaporítico o mixto dependiendo de las condiciones geológicas.</p>		

2.5.1 Ambiente sedimentario de manglar

Este puede suceder como parte de un delta, un estuario o solamente en el borde costero, creando un ambiente sedimentario muy peculiar. El factor biológico es muy importante, ya que las especies de mangle debido a su forma de crecimiento contribuyen a retener y fijar los sedimentos. El manglar le va ganando espacio al mar, debido a la secuencia ecológica de sus especies.

El manglar es la vegetación dominante en los estuarios, deltas de ríos, lagunas costeras y bahías de los trópicos y subtropicos del mundo (Chapman, 1974; Wiley, 1985; Tomlinson, 1986).

Al norte de Veracruz se localiza el Sitio Ramsar 1602 que corresponde a manglares y humedales de Tuxpan que incluye el Estero de Jácome que tiene aproximadamente 300 hectáreas de manglar en buen estado. Estos manglares reciben aporte del Río Tuxpan que les aporta agua dulce pero por su

cercanía que tiene la boca del río con el mar, también recibe aporte del agua del mar del Golfo de México. De igual manera estos manglares están conectados con humedales de agua dulce tulares, ciperales, espartales y popales.

Manglar del estero de Tecolutla

El estero se localiza junto a la playa, en la denominada Barra de Tecolutla, con la unión de las aguas del Río Tecolutla con el mar.

Estos manglares pertenecen a los humedales que van desde Casitas hasta Tecolutla, que cubren alrededor de 54 kilómetros de costa.

2.6 Sedimentos de playa

Las playas son acumulaciones de arena y grava, que se encuentran en la costa de mares, lagos deltas e islas. Para su conservación se necesita un aporte constante de sedimentos que suele provenir de ríos, a veces también proviene de la erosión de los acantilados y otras acumulaciones arenosas (Dabrio, 2010). Por la erosión las playas pueden perder material que es transportado a otras partes de las franjas litorales. Los depósitos que se forman en las playas son de arenas bien clasificadas con madurez mineralógica, que sufren procesos de erosión constantes ocasionados por el viento o por las olas. El ambiente de playa es el único que tiene acumulaciones de arenas bien clasificadas con granos bien redondeados debido a los movimientos prologados de las corrientes (Williams et al., 1983) (Fig. 2).

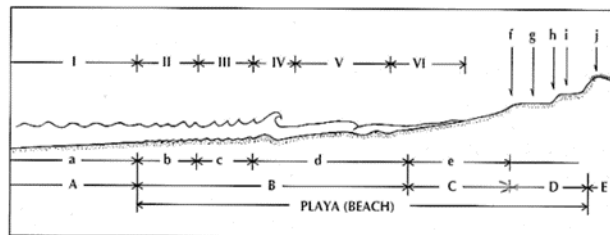


Figura 2. Esquema de perfil de playa. A) Plataforma continental limita a la infraplaya hacia el mar. B) infraplaya es zona de la playa que se encuentra siempre cubierta por agua en condiciones normales. C) mesoplaya se ubica entre la infraplaya y la supraplaya. D) supraplaya es la zona de la playa que en condiciones normales se encuentra seca; el agua llega a esta zona solo en caso de mareas por tormentas o por olas extremadamente altas. E) dominio terrestre es la zona que delimita a la supraplaya, es el límite hacia tierra de playa. Tomada de Arturo Carranza-Edwards, et atl. (1991).

2.6.1 Parámetros texturales de los sedimentos

La textura de los sedimentos son las características sedimentológicas como el tamaño de grano, su forma, su clasificación, porosidad, redondez y permeabilidad de los sedimentos.

2.7 Granulometría

Para obtener el tamaño de partícula de una población de sedimentos se utiliza un conjunto de métodos que reciben el nombre de análisis granulométrico, siendo su distribución de tamaños la representación numérica o gráfica de estos análisis. Para los granos del tamaño de la arena se puede emplear la técnica de tamices, pero para los granos más chicos como limos y arcilla, se puede estudiar por medio de la pipeta o hidrómetro. El tamaño de los granos nos indica la meteorización y erosión, como el transporte (Boggs, 2006; Cheel, 2005). Por esto es necesario utilizar técnicas para medir el tamaño de granos y reflejarlo en una escala, para representarlo de manera estadística y así poder estudiar la genética de los granos como su ambiente y transporte. Hay diferentes escalas logarítmicas para medir los tamaños de los sedimentos. La escala Udden- Wentworth es la más utilizada (Tabla 3). Es una escala geométrica que tiene un rango de $<1/256$ mm hasta >256 mm, y se divide en cuatro clases: arcilla, limo, arena y grava, mientras las arenas se clasifican en muy finas, finas, medias, gruesas y muy gruesas.

Tabla 3.- Escala de clases de tamaño y en unidades phi de Udden-Wentworth. Tomada y modificada de Boggs (2006).

		No. De tamiz Estándar E. U	Milímetros		Unidades phi (ϕ)	Clase de tamaño de Wentworth	
Arena		12	1.68		-0.75	Arena muy gruesa	
		14	1.41		-0.5		
		16	1.19		-0.25		
		18	1	1	0.0		
		20	0.84		0.25	Arena gruesa	
		25	0.71		0.5		
		30	0.59		0.75		
		35	0.50	1/2	1	Arena media	
		40	0.42		1.25		
		45	0.35		1.5		
		50	0.30		1.75		
		60	0.25	1/4	2	Arena fina	
		70	0.210		2.25		
		80	0.177		2.5		
		100	0.149		2.75		
		120	0.125	1/8	3	Arena muy fina	
		140	0.105		3.25		
		170	0.088		3.5		
		200	0.074		3.75		
		Lodo	Limo	230	0.0625	1/16	4
270	0.053				4.25		
325	0.044				4.5		
	0.037				4.75		
	0.031			1/32	5	Limo medio	
	0.0156			1/64	6	Limo fino	
	0.0078			1/125	7	Limo muy fino	
Arcilla				0.0039	1/256	8	Arcilla
				0.0020		9	
				0.00098		10	
				0.00049		11	
				0.00024		12	
				0.00012		13	
				0.00006		14	

2.8 Clasificación

Se le llama clasificación de los sedimentos a la medida de uniformidad del tamaño de los granos sobre el tamaño medio, esta variable nos puede ser útil para calcular el tiempo y nivel de energía que sufrió el sedimento en el transporte, ya que un periodo más largo de transporte y alta energía nos da una mejor clasificación, y por otro lado si el transporte es corto y la depositación rápida nos da una clasificación pobre.

2.8.1 Forma

La forma de grano del sedimento está delimitada por la roca fuente. La forma del clasto nos proporciona su configuración general y está delimitada por la relación que existe entre la medida de los 3 ejes principales (corto, largo, intermedio). Según Zingg (1935) clasifico los granos de cuatro maneras: discoidal u oblada, ecuante, tabular y cilíndrica o prolada (Fig.3).

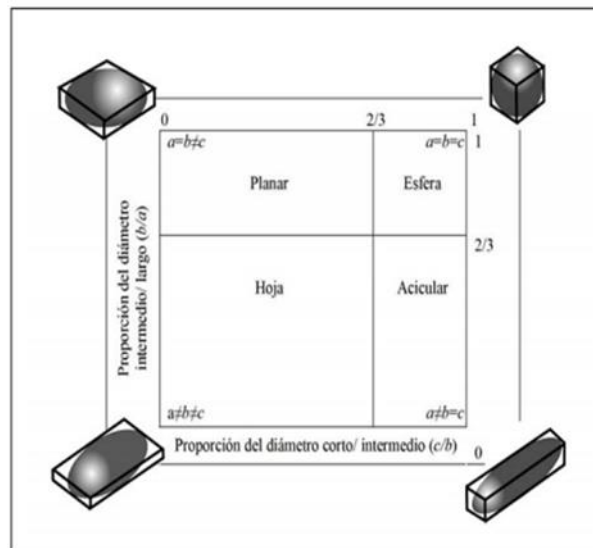


Figura 3. Formas de los clastos fundamentado en las proporciones de los diámetros: largo (a) intermedio (b) y corto (c) Zingg(1935). Tomado y modificado de Carreras-Soriani(2008).

2.8.2 Esfericidad y redondez

La esfericidad es una medida que nos indica la proximidad del grano a una forma esférica, esto sucede cuando los tres ejes principales tienen relativamente la misma longitud, su esfericidad será alta, en cambio si las longitudes de los ejes varían demasiado su esfericidad será baja. La redondez es la angulosidad y esquina de las partículas, suele ser deteriorada por la abrasión mecánica (Davis, 1983). La redondez nos proporciona información como el grado de retrabajo o transporte que sufrió el grano (Fig. 4 y 5).

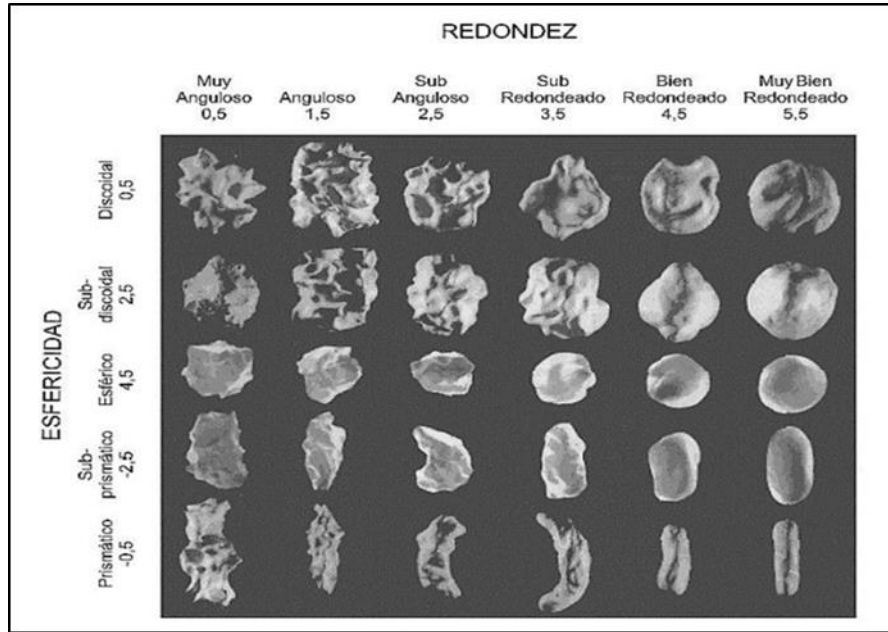


Figura 4. Comparación visual para evaluar la redondez y la esfericidad. Tomada de Powers, (1953).

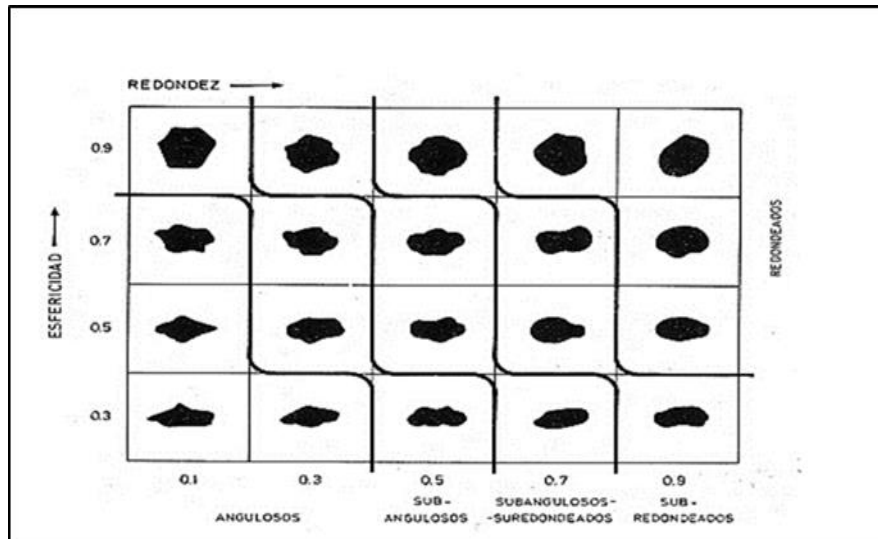


Figura 5. Comparación visual para valorar la redondez y esfericidad. Tomada de Krumbein y Sloss, (1969).

2.9 Procedencia de sedimentos arenosos

Los sedimentos clásticos se originan por la meteorización química y física de rocas preexistentes y nos proporcionan información como procedencia, intensidad de los procesos de meteorización e historia del transporte.

La composición del área fuente es la principal variable para definir las características texturales y composicionales de los sedimentos arenosos, sin embargo, hay otros factores que también pueden

ayudar a determinar las características como lo son el transporte, la meteorización y el ambiente tectónico del área fuente (Cheel, 2005).

La información que nos brinda el estudiar los sedimentos clásticos depende de que se estudie por ejemplo la composición mineralógica nos proporciona información del área fuente, en cambio el análisis de su textura de los clastos (tamaño, forma, selección) nos brinda información sobre el transporte. Según Arribas-Mocoroa (2010) indica que la totalidad de variables que intervienen en la génesis de los sedimentos nos proporciona información sobre la procedencia, al mismo tiempo que define el paleoambiente en el que se originó el depósito. De acuerdo a (Pettijohn et al., 1987). El estudiar la procedencia de minerales detríticos nos puede ayudar a comprender la naturaleza de la roca fuente, ya que son característicos de una roca en particular. Aunque en la composición mineralógica de los sedimentos clásticos influye la meteorización química, física y la rapidez de erosión (Williams et al., 1983).

CAPÍTULO 3: ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se realizó en la playa Tecolutla ubicada en Veracruz, Golfo de México, por lo que se describirá la geología de la región, su clima, hidrografía y fisiografía. El Golfo de México es una región oceánica que tiene una complejidad singular y se ubica entre las coordenadas geográficas 90° a 99° de longitud al oeste de Greenwich y de 16° a 31° latitud norte, limitado por los estados de Veracruz, Campeche, Tabasco, Tamaulipas.

3.1 Geología y Evolución

Su historia geológica empieza hace 230 millones de años con la disgregación de Pangea que dio como resultado la apertura del Golfo de México hubo una depositación de sedimentos. Desde la apertura del Golfo de México este ha sufrido cambios litológicos que se piensa que ha sido debido a procesos geológicos ya que primero se sedimentaron un depósito de lechos rojos continentales que van del Triásico superior al Calloviano que dio como producto el ensanchamiento de los grabenes, después depósitos de sal y encima sedimentos clásticos.

Su nombre oficial es Estado Libre y Soberano de Veracruz de Ignacio de la Llave cuenta con 212 municipios y con un área de 72,420 km² una población de esta delimitado por 7 estados de la República Mexicana al norte con el de Tamaulipas, al oeste San Luís Potosí, Hidalgo, Puebla, al Sur Oaxaca, al Sureste Chiapas y Tabasco, tiene una longitud de 745 kilómetros.

Las rocas más antiguas del estado de Veracruz son producto del choque de masas continentales que dio como resultado la unión de todos los continentes en un solo supercontinente llamado Pangea, este evento surgió en la Era Paleozoica. Durante el Triásico comienza a imperar un ambiente de distensión provocado por la apertura del Golfo de México, como consecuencia del inicio de la separación de Pangea (Sedlock, et al., 1993). Este ambiente origina la divergencia de las placas africana y sudamericana que conlleva a la creación de un rift continental dando como resultado el origen del océano Atlántico.

El inicio del Golfo de México genero cambios en la morfología del área circundante como algunas depresiones que fueron llenadas de sedimentos evaporíticos trasladados de los pilares (altos topográficos) por la transgresión de ese entonces el mar Tetis, convirtiéndolo en ambiente marino.

De acuerdo al mapa geológico de Padilla-Sánchez y Aceves-Quesada (1990), se realizó la lista de la unidad litoestratigráfica de la región de estudio. (Fig.6)

- 1) Aluviones y suelos cuaternarios
- 2) Rocas volcánicas cenozoicas de composición máfica e intermedia
- 3) Rocas sedimentarias clásticas y calcáreas mesozoicas y cenozoicas
- 4) Rocas metamórficas que abarcan los esquistos y los gneiss de edad Paleozoica y Precámbrica.

El área de estudio comprende unidades que son volcánicas y son parte de la extensión del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM). La unidad litoestratigráfica corresponde con: 1) andesitas del Mioceno-Plioceno de composición calco-alcalina (Cantagel y Robin,1979; Negendank et al., 1985) que se

localizan en la zona central y se extiende hasta la costa y 2) basaltos del Plioceno de composición alcalina (Negendank et al., 1985) que se ubica en la región central de la costa.

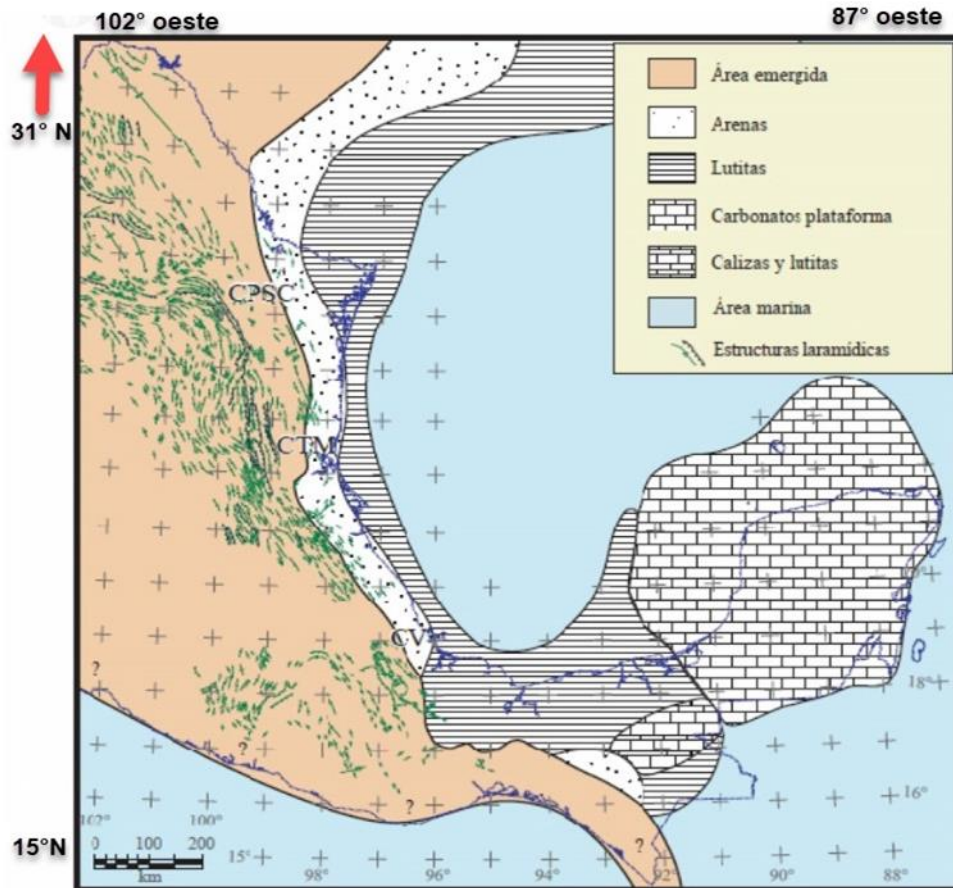


Figura 6. Paleografía de finales del Cenozoico, que muestra plegamientos y fallas. Tomada de Padilla Sánchez (2007).

3.2 Clima

El estado de Veracruz cuenta con un clima tropical y tiene una temperatura media anual de 25.3 °C; con lluvias abundantes en verano y principios de otoño. Su precipitación media anual es de 1,669.2 mm. Debido a su ubicación geográfica se le confieren características tropicales, aunque estas se ven modificadas por la influencia de las serranías, sobre todo en el centro-oeste, como consecuencia de lo anterior, los climas se distribuyen paralelos a la costa, en dirección noroeste-sureste, de la siguiente forma: cálidos, semi-cálidos, templados, semi-fríos, fríos y semi-secos.

3.3 Hidrología

El estado dispone de una gran riqueza hidrológica, ya que el 35% de las aguas superficiales mexicanas cruzan este estado, cuenta con más de 40 ríos integrados en 10 cuencas, los que destacan son: río Panuco, Nautla, Tuxpan, Jamapa, Coatzacoalcos y Tecolutla. El río que alimenta la playa que se

estudia es Tecolutla. Se forma entre los estados de Veracruz y Puebla, tiene una extensión de 7 950.05 km², la cuenca tiene una Latitud 20°28'48"-19°27'36" N, Longitud 98°14'24"-96°57'00" O. A sus alrededores se localizan las sierras de Huachinango al este y Zacapoaxtla al sur, con suelos pobres y pendientes pronunciadas tipo Regosol, Luvisol, Feozem, Vertisol y Cambisol (Ambroggi,2000). La cuenca tiene un clima templado húmedo, cálido húmedo y subhúmedo, las lluvias son abundantes todo el año pero más en verano. Tiene una precipitación anual de 1200 hasta más de 4 000mm (Debels et al., 2005; IE, 2000).

3.4 Corriente y condiciones hidrometeorológicas en el Golfo de México

La circulación en el Golfo de México es generada por la energía mecánica resultante de la acción de los vientos, el flujo de agua a través del Canal de Yucatán, la descarga de agua proveniente de ríos, como el intercambio de calor océano-atmósfera. El agua que entra al Golfo de México es por medio del estrecho de Yucatán, que circula por la corriente del Lazo y sale por el estrecho de la Florida, y se une a la corriente del Golfo. Algunas veces esta corriente rompe lejos de la formación lo que ocasiona remolinos, que interfieren en los patrones de la corriente regional.

El tipo de drenaje del Golfo de México es extenso y tiene 20 cuencas hidrográficas (más de 150 ríos) que cubren más de 3.8 millones de km² en Estados Unidos (Moody,1967). La afluencia anual de agua dulce al Golfo es de aproximadamente 10.6x10¹¹ m³. El 85% de este flujo proviene de los Estados Unidos ya que un 64% es originado por el río Mississippi. Las entradas extras de agua dulce provienen de los sistemas fluviales del Golfo de México occidental y en menor proporción de la península de Yucatán y Cuba.

Durante la primavera y verano, en la costa oriental de la península de Yucatán aumenta la intensidad de la corriente lo que conlleva a que la fricción con el talud continental ocasiona una surgencia topográfica, esto genera un ascenso de agua hacia la capa eufótica, llevando consigo nutrientes que incrementan la productividad biológica en dicha zona. Cuando la corriente de Yucatán entra al Golfo se produce una circulación en forma de Lazo que la conecta a la corriente de Florida. La corriente de Lazo engloba agua cálida y de alta salinidad, en su periferia se forman núcleos de agua fría que ocasionan grandes cambios en la temperatura superficial y frentes térmicos. La costa se puede clasificar como transgresiva y con un oleaje predominantemente fuerte (Boyd et al., 1992).

El Golfo de México presenta giros con diferentes escalas, ciclónicos y anticiclónicos que están en función de la dirección de rotación y si tienen núcleos de baja o alta presión, sobre la plataforma continental de Florida, de Texas-Louisiana y la bahía de Campeche se presentan giros ciclónicos que originan un ascenso de agua, mientras que los anticiclónicos presentan un hundimiento de agua de alta temperatura (Monreal et al., 2004). Tiene una marea generalmente débil, con un promedio menos de 0.60 m en la mayoría de lugares (Geyer et al., 2013).

En el Golfo de México tiene una gran influencia los vientos sobre la plataforma continental; la dirección de los vientos y la forma cóncava del Golfo de México por que ocasionan que existan regiones en donde las corrientes estacionales van en sentido de las manecillas del reloj, mientras que otras van en dirección contraria (Zavala-Hidalgo et al., 2003) (Fig.7). Esto provoca que durante otoño e invierno las corrientes que van a lo largo de las costas de Tamaulipas y Veracruz tengan dirección hacia el sur, en sentido contrario a las agujas del reloj, en cambio, en los estados de Tabasco, Campeche y Yucatán van mayoritariamente en sentido de las agujas del reloj, esto conlleva a que las

corrientes confluyan en el extremo sur del Golfo de México lo que provoca flujos perpendiculares a la costa de la zona de plataforma al interior del Golfo, son de importancia ya que van acompañados de altos contenidos de materia orgánica y aguas de baja salinidad (Fig.8)

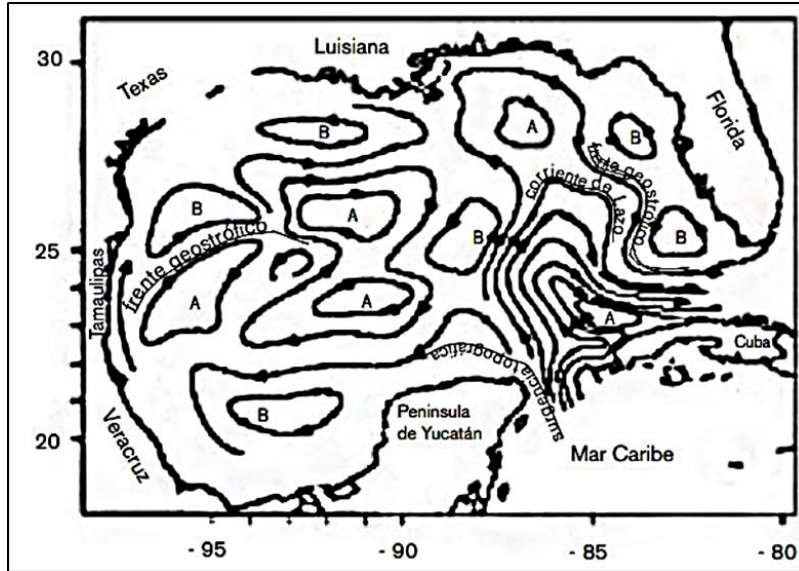


Figura 6. Circulación en el Golfo de México. (Zona A) Presión alta, (Zona B) Presión baja. Tomado y modificado de Monreal et al. (2004).

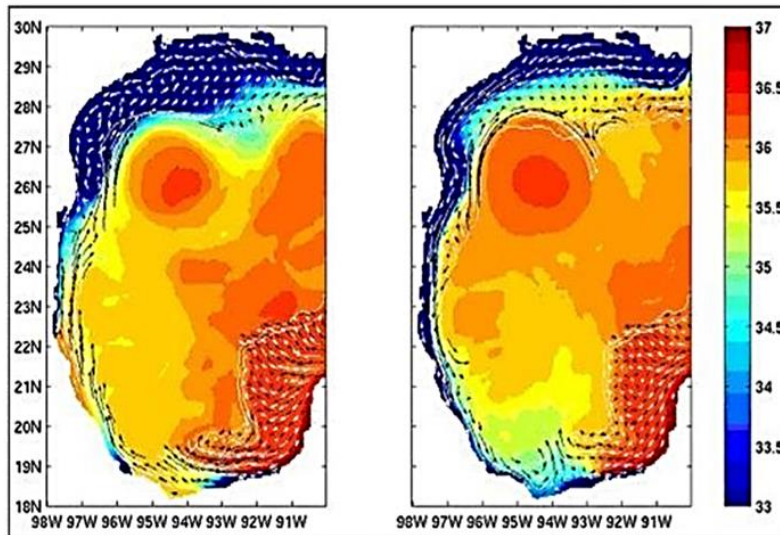


Figura 7. Promedio de la circulación y salinidad superficial en el Golfo de México, primavera-verano, otoño-invierno (Zavala-Hidalgo et al., 2003) Modificada de Tapia-Fernández (2018).

En la parte central del estado de Veracruz (Laguna Verde) se localiza la confluencia de la Sierra Madre Oriental y la Faja volcánica Transmexicana que se observa una forma de gancho con orientación noreste a sureste provocando que el viento se curve del norte al noroeste, combinándose con el viento propio de alta presión sobre el mar, a lo que se le asigna el nombre de “represamiento

del flujo” ya que se acumula en dicha zona. Se añade la intensidad del viento que viene del continente intensificando el viento que en suele oscilar entre los 100-120 km/h (Zavala-Hidalgo y Fernández Eguiarte, 2004).

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo los estudios de análisis granulométricos para obtener los parámetros texturales, así como el estudio de microtexturas en granos de cuarzo y circón por medio del microscopio electrónico de barrido (SEM).

4.1 Recolección De Muestras

En la playa, Tecolutla se recolectaron 20 muestras de sedimento (arena) Tabla 4. El muestreo fue en la zona de mesoplaya con un intervalo aproximadamente de 70 metros entre cada muestra, se recolectó aproximadamente 1 Kg de arena en bolsas de polietileno previamente etiquetadas con el nombre de la playa, fecha y número de muestra (Fig. 9).

Tabla 4.- Coordenadas de la toma de muestra

MUESTRA	LATITUD	LONGITUD	MUESTRA	LATITUD	LONGITUD
MT1	20°28'52.76'' N	97°0'30.29'' W	MT11	20°28'43.15'' N	97°0'16.39'' W
MT2	20°28'51.79'' N	97°0'28.83'' W	MT12	20°28'42.24'' N	97°0'14.98'' W
MT3	20°28'50.94'' N	97°0'27.43'' W	MT13	20°28'41.34'' N	97°0'13.56'' W
MT4	20°28'49.83'' N	97°0'26.21'' W	MT14	20°28'40.14'' N	97°0'11.99'' W
MT5	20°28'48.86'' N	97°0'24.85'' W	MT15	20°28'39.54'' N	97°0'10.50'' W
MT6	20°28'48.22'' N	97°0'23.34'' W	MT16	20°28'37.45'' N	97°0'5.33'' W
MT7	20°28'46.97'' N	97°0'21.99'' W	MT17	20°28'37.60'' N	97°0'7.62'' W
MT8	20°28'46.01'' N	97°0'20.59'' W	MT18	20°28'36.80'' N	97°0'6.20'' W
MT9	20°28'45.05'' N	97°0'19.27'' W	MT19	20°28'35.96'' N	97°0'4.92'' W
MT10	20°28'44.05'' N	97°0'17.74'' W	MT20	20°28'35.06'' N	97°0'3.49'' W

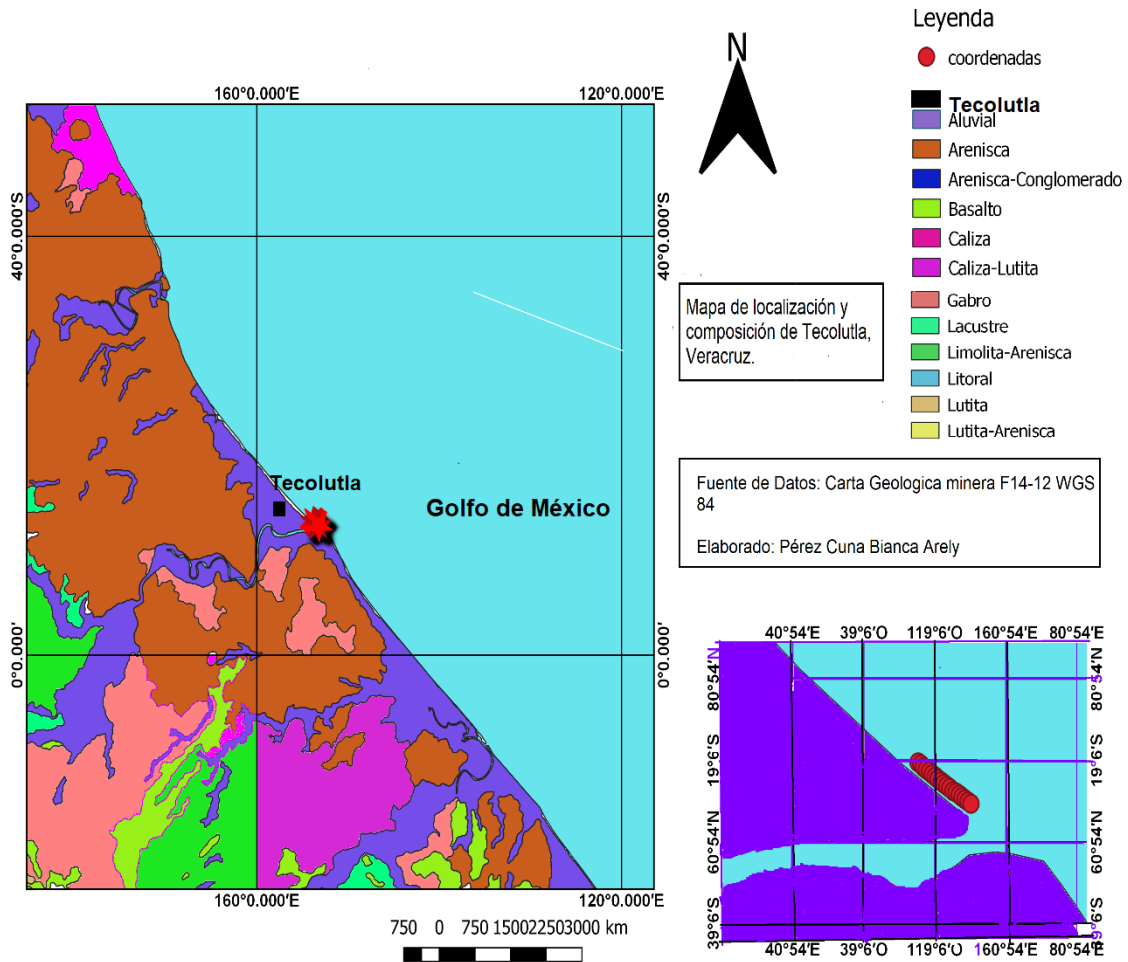


Figura 8. Mapa de la geología y localización de la zona de estudio

4.2 Granulometría

Se realizó el estudio granulométrico de las 20 muestras tomadas en la zona de mesoplaya de la playa Tecolutla en el Laboratorio de Sedimentología que se localiza en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Para poder hacer uso de las muestras, se procedió a secar la arena con ayuda de un horno de secado. Se comenzó pesando 35 gramos de peso seco con la ayuda de una balanza analítica Torrey grs- 500 de cada muestra.

Para el proceso de tamizar se utilizó un equipo RoTap Tyler RX-29 , en donde se acomodaron en columna los tamices con los valores phi -0.75, -0.50, -0.25, 0, 0.25, 1.00, 2.00, 2.50, 2.75, 3.00, 3.25, 3.50, 3.75. De la Asociación Americana de Pruebas y Materiales (Fig.10).En donde se vació los gramos pesados de la primera muestra y se llevó a cabo el tamizado por 12 minutos.

Después se procedió a pesar la arena retenida de cada una de las mallas y a registrar el peso.

Una vez tamizadas todas las muestras de arena, se pudo obtener el porcentaje de cada muestra. Con los porcentajes, se realizaron las gráficas de porcentaje de peso acumulado contra el tamaño de grano (ϕ) según la escala de Udden-Wentworth, para así obtener los parámetros texturales: tamaño de grano, desviación estándar, asimetría y cúrtosis (Friedman, 1967; Folk y Ward, 1957).



Figura 9. Equipo RoTap Tyler RX-29 1

4.3 Parámetros estadísticos de tamaño de grano

Media ₁₆

La media es la representación del tamaño de grano medio en la repartición total de los sedimentos, la media permite explicar la naturaleza de los sedimentos, como también sus condiciones de depósito. Se ve afectada durante el transporte por los parámetros como la velocidad del agente de transporte, forma, gravedad específica, resistencia de los sedimentos, durabilidad y composición. La energía en el medio va influir en el tamaño de grano, debido que, a mayor cantidad de energía, mayor será el tamaño de grano, este parámetro se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

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

Tabla 5.- La clasificación de las arenas con relación a la Media (Folk y Ward 1957)

Mz ϕ	Clasificación
-1 a 0	Arena muy gruesa
0 a 1.0	Arena gruesa
1.1 a 2.0	Arena media
2.01 a 3.0	Arena fina
3.01 a 4.0	Arena muy fina

Desviación estándar

Nos permite obtener el grado de homogeneidad de los granos del sedimento. Los sedimentos estarán mejor seleccionados cuando la desviación sea pequeña, es decir a menor dispersión mejor clasificación de granos. Hay 2 factores que juegan un papel importante en la clasificación de los sedimentos que son la turbulencia y la velocidad del transporte, se obtiene mediante la siguiente formula:

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

Conforme a los valores obtenidos de la ecuación antes mencionada, según Folk & Ward (1957) se establece la siguiente clasificación.

Tabla 6.- Clasificación Folk & Ward para clasificación

Φ	Clasificación
<0.35	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50	Bien clasificado
0.50 a 0.71	Moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.0	Moderadamente clasificado
1 a 2	Mal clasificado
2 a 4	Muy mal clasificado

Grado de asimetría

Es útil para medir la distribución de las partículas. Nos muestra una curva de frecuencias en la que si las curvas con asimetría son positivas nos indica que hay un exceso de material fino, en cambio si la curva tiene asimetría negativa nos indica un exceso de material grueso. Es un indicador de tamaño en distinción de ambientes (Friedman, 1961).

Tabla 7.- Los límites establecidos por Folk & Ward (1957) para asimetría

S_{K_1}	Clasificación
+1.0 a +0.3	Muy asimétrico hacia las partículas finas
+0.3 a +0.1	Asimétrico hacia las partículas finas
+0.1 a -0.1	Casi simétrico
-0.1 a -0.3	Asimétrico hacia las partículas gruesas
-0.3 a -1.0	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas

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

Cúrtosis

Nos indica que tan normal es la distribución en la curva con respecto a la relación de los extremos de la curva y la clasificación de la parte central. Si la curva del centro tiene mejor clasificación que la de los extremos, la curva podría ser excesivamente puntiaguda, a la cual se le adjudica el nombre de leptocúrtica. En cambio, si los extremos cuentan con una mejor clasificación que la porción central, esta nos dará una zona horizontal máxima, y lleva el nombre de platicúrtica. De igual modo cuando la curva es similar a la normal recibe el nombre de mesocúrtica. Para determinar la cúrtosis es por medio de la siguiente formula:

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

Los siguientes términos describen los límites de la cúrtosis:

Tabla 8.- Límites de la cúrtosis

K_G	Clasificación
<0.67	Muy platicúrtica
0.67 a 0.90	Platicúrtica
0.90 a 1.11	Mesocúrtica
1.11 a 1.50	Leptocúrtica
1.50 a 3	Muy leptocúrtica

4.4 Metodología para la obtención de parámetros estadísticos

Se muestra a continuación algunas gráficas de distribución, así como la obtención de los percentiles para obtener los parámetros granulométricos: media, mediana, desviación estándar y cúrtosis. En primer lugar, con los datos obtenidos del tamizado que se muestran en la Tabla 9 se va graficar phi contra porcentaje acumulado.

Tabla 9.- Porcentaje retenido en tamices para MT1

Phi ϕ	Porcentaje acumulado
-0.75	0
-0.5	0
-0.25	0
0	0.05
0.25	0.1
1	0.78
2	12
2.5	46.18
2.75	80.11
3	95.84
3.25	99.26
3.5	99.88
3.75	99.88

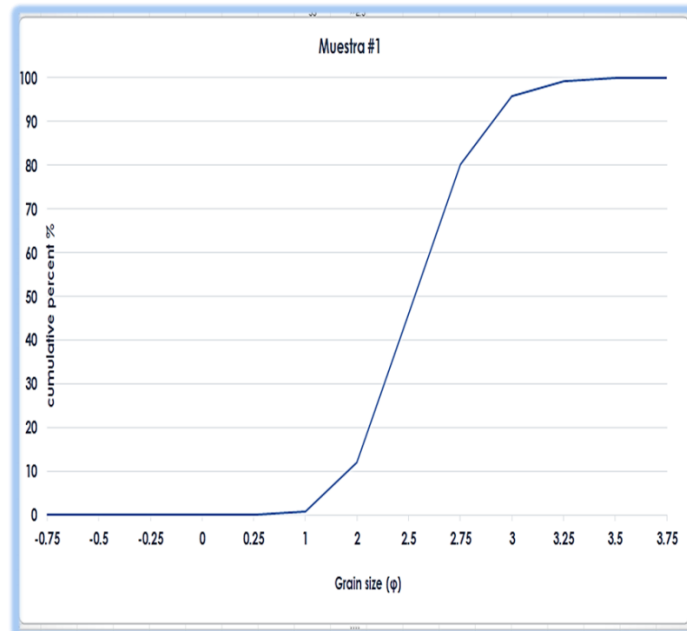


Figura 10. Phi vs porcentaje acumulado para MT1

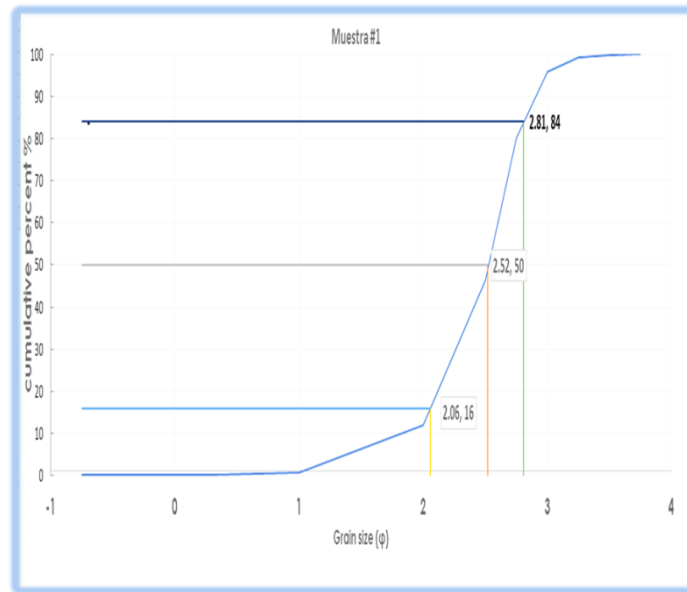


Figura 11. Obtención de valores phi para MT1

Tabla 10.- Parámetros texturales para MT1

Parámetro	Fórmula	Resultado
Media	$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	2.46
Desviación Estándar	$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$	0.47
Asimetría	$Ski = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	-0.41
Curtosis	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$	1.94

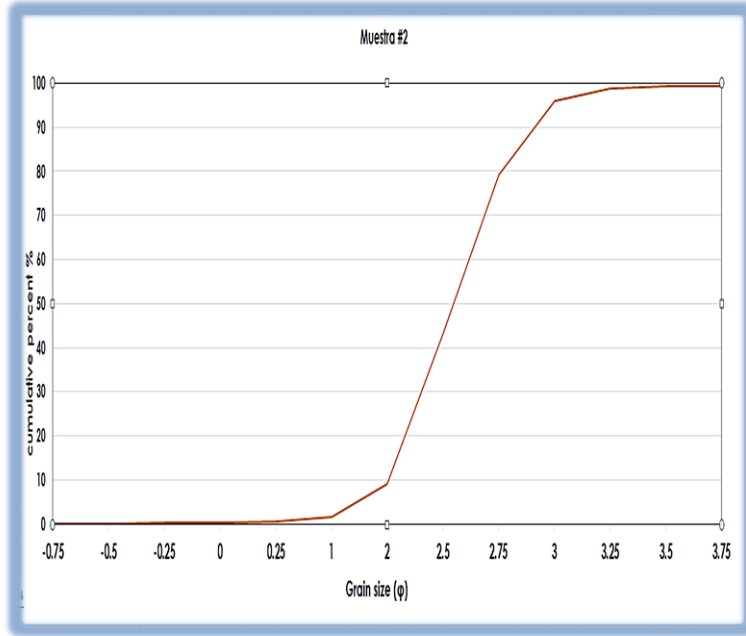


Figura 12. Phi vs porcentaje acumulado para MT2

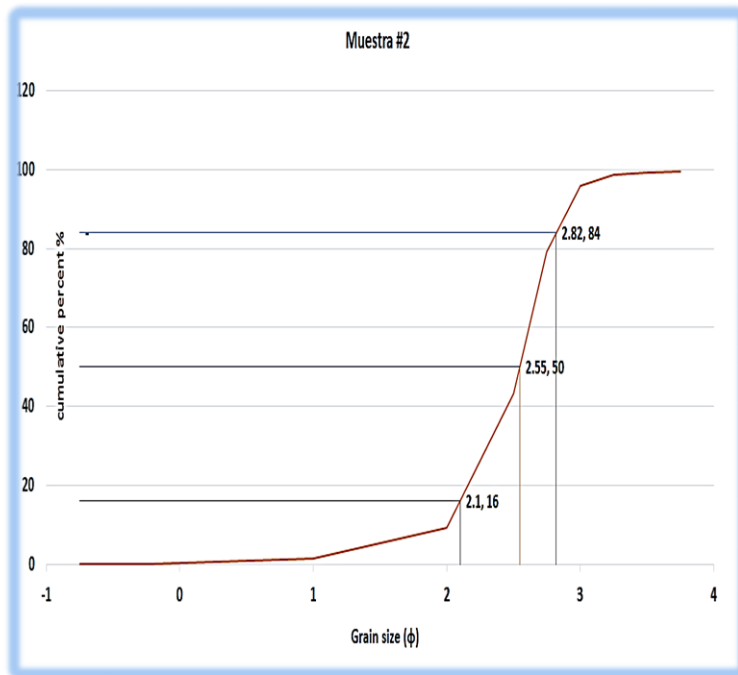


Figura 13. Obtención de valores phi para MT2

Tabla 11.- Porcentaje retenido en tamices para MT2.

Phi ϕ	Porcentaje acumulado
-0.75	0
-0.5	0
-0.25	0.22
0	0.38
0.25	0.57
1	1.62
2	9.2
2.5	43.15
2.75	79.25
3	95.91
3.25	98.71
3.5	99.29
3.75	99.37

Tabla 12.- Obtención de valores.

Phi ϕ
$\phi_{16} = 2.1$
$\phi_{50} = 2.55$
$\phi_{84} = 2.82$
$\phi_{95} = 2.99$
$\phi_5 = 1.44$
$\phi_{75} = 2.72$
$\phi_{25} = 2.23$

Tabla 13. Parámetros texturales para MT2

Parámetro	Fórmula	Resultado
Media	$M_z = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3}$	2.49
Desviación Estándar	$\sigma 1 = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6.6}$	0.41
Asimetría	$Ski = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)}$	-0.34
Curtosis	$K_G = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44(\phi 75 - \phi 25)}$	1.29

4.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se introduce un sistema de barrido dentro del diseño de un TEM, lo que genero un nuevo tipo de microscopio: el microscopio electrónico de barrido-transmisión (STEM, por sus siglas en inglés) creado por (Manfred von Ardenne,1938)

El microscopio electrónico es un sistema óptico. La resolución con la que cuenta un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) es de aproximadamente 3nm, que es una resolución mayor que la del microscopio óptico. Las imágenes que se obtienen son escala de blanco y negro, esto debido a que se realizan a partir de un espectro de luz no visible. La función del SEM es que su haz de electrones atraviesa la columna por medio del sistema óptico de lentes electromagnéticas a donde se encuentra la muestra y el haz va barriendo la muestra.

Se llevó a cabo la separación de cuarzos y circones de 3 muestras elegidas de la Playa Tecolutla, la muestra MT1, MT2 y MT3 para encontrar cuarzos, y las muestras MT3, MT11, MT15 para circones esto fue mediante los resultados de granulometría que mostraron una mayor cantidad de material fino.

Se tomó un poco de muestra de arena y se colocó en un caja de Petri que se observó por medio de un microscopio estereoscópico y con la ayuda de un palillo se obtuvieron 10 cuarzos que se pegaron en un portamuestras de microscopio electrónico de barrido (SEM) (Fig.15). Para separar circones se puso un poco de arena en una capsula de porcelana y por medio de movimientos circulares usando el principio de fuente centrifuga se hizo la separación de los minerales ligeros y los pesados, ya que usamos esta técnica para deshacernos de los ligeros que quedaban arriba y alrededor pasándolos a otra capsula de porcelana cuidando que se quedaran los pesados en el fondo de la capsula, con ayuda de agua en una caja Petri se observaron a través del microscopio y se separaron de igual manera para montarlos en un portamuestras de SEM.

Los seis porta muestras fueron llevados al laboratorio de SEM que se encuentra en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, para ser analizados cada grano y obtener 10 micrografías digitales de circones detríticos y 10 de cuarzo. Hay 2 condiciones para poder analizar la muestra en el SEM. Una es que debe estar seca la muestra y la otra es que debe ser conductoras para ello son recubiertas con oro por medio de equipo ionizador marca Jeol modelo JFC- 1100. Para posteriormente ser examinadas en el microscopio electrónico de barrido de marca Jeol modelo JSM-6360LV.

Se tomaron aproximadamente 2 imágenes por muestra para mostrar la forma general de los circones, así como algunos acercamientos para observar las microtexturas.

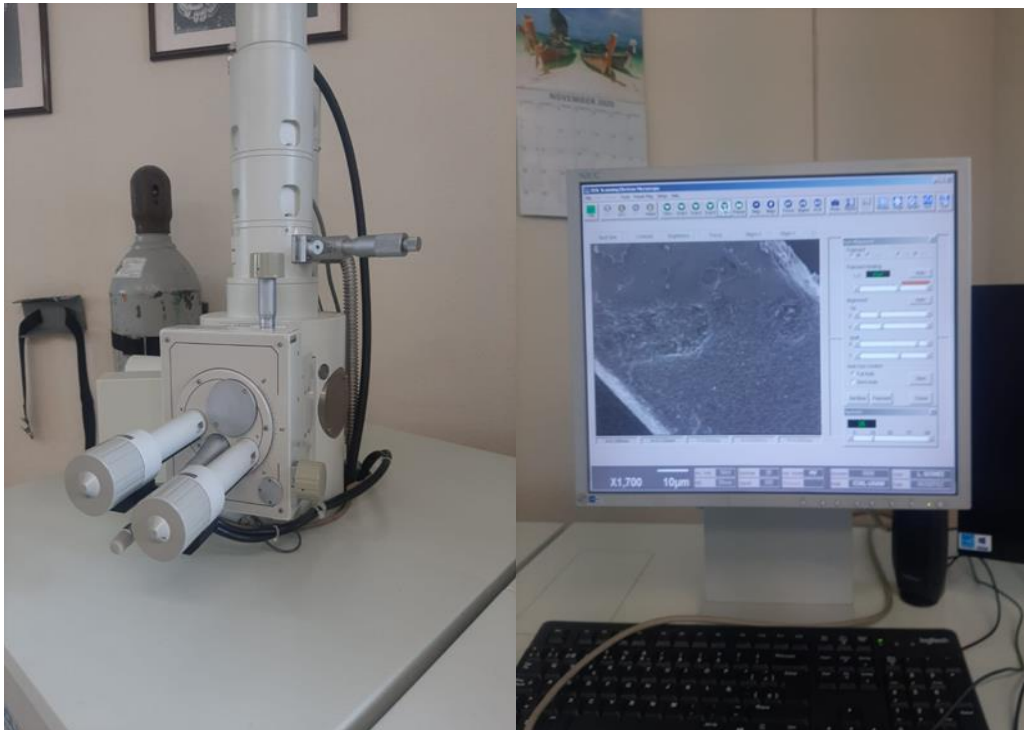


Figura 14. SEM

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis Granulométrico

El resultado que obtuve de los parámetros granulométricos de acuerdo a la clasificación de Folk y Ward (1957), fue que las 20 muestras son arena fina ya que la Mz presento un intervalo de 2.4 a 2.5 (indicador de arena fina).

El resultado de la desviación estándar para las 20 muestras fue: bien clasificado con un rango de 0.4 a 0.5. Friedman (1967) observó que un entorno de playa se caracteriza por arenas bien clasificadas debido a que la arena está sujeta a dos fuerzas que va en direcciones contrarias lo que provoca que las olas entrantes y salientes eliminen los granos finos y se vayan hacia mar adentro y las partículas de grano grueso son suspendidas por saltación, por lo anterior se da un mejor retrabajo de los sedimentos. También se menciona una mayor contribución en la sedimentación por medio de las olas en comparación con el viento.

Todas las muestras presentaron valores de asimetría negativos, de las cuales 13 tienen valores que van de -0.413 a -0.303, esto clasifica a los sedimentos como muy asimétricos hacia las partículas gruesas, mientras que las muestras restantes dieron valores entre -0.299 y -0.265 esto nos indica que es asimétrico hacia los gruesos. Friedman (1961) menciona que la mineralogía no afecta el signo de la asimetría, como ya se había mencionado anteriormente. Las arenas de grano fino se han ido hacia aguas profundas, al realizar el análisis de distribución de tamaño de grano, que es la gráfica de abundancia contra el tamaño de grano, en la escala phi se calcula el sesgo en la curva de distribución y para todas las arenas de playa la asimetría es negativa.

Finalmente, los valores obtenidos en cúrtosis van de 1.263 a 1.473 lo que nos indica de acuerdo a los límites de cúrtosis es leptocúrtica para 19 muestras, solo una es muy leptocúrtica ya que su valor de cúrtosis es de 1.946. Los límites obtenidos nos indican que son valores altos de cúrtosis esto quiere decir que en la gráfica se nota una mejor selección en el centro de la curva de distribución que en las colas, lo que nos verifica la asimetría negativa.

Tabla 14.- Parámetros estadísticos para las muestras de la Playa Tecolutla, Veracruz.

Muestra	Mz	$\sigma\phi$	Sk1	K _G	Mz	Clasificación $\sigma(\phi)_1$	Clasificación S _{k1}	Clasificación K _{G1}
MT-1	2.46	0.47	-0.41	1.94	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Muy leptocúrtica
MT-2	2.49	0.41	-0.34	1.29	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-3	2.49	0.41	-0.34	1.33	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-4	2.52	0.40	-0.27	1.26	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-5	2.46	0.43	-0.29	1.27	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-6	2.41	0.47	-0.34	1.40	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-7	2.41	0.45	-0.32	1.35	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-8	2.50	0.43	-0.31	1.36	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-9	2.49	0.42	-0.35	1.40	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-10	2.40	0.44	-0.27	1.33	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-11	2.48	0.45	-0.27	1.34	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-12	2.48	0.46	-0.35	1.36	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-13	2.35	0.50	-0.34	1.29	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-14	2.45	0.48	-0.38	1.40	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-15	2.49	0.47	-0.34	1.47	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-16	2.49	0.42	-0.26	1.22	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-17	2.42	0.46	-0.29	1.28	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica
MT-18	2.35	0.50	-0.31	1.29	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-19	2.44	0.47	-0.30	1.25	Arena fina	Bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtica
MT-20	2.49	0.47	-0.29	1.35	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia los gruesos	Leptocúrtica

Folk and Word (1957). 1

5.1.2 Diagramas bivariantes

Los diagramas bivariantes son utilizados para inferir sobre el ambiente de depósito de los sedimentos, ya que proporciona la relación que existe entre el ambiente de deposición y los diferentes parámetros que se enfocan en la distribución del tamaño de las arenas. Las diferencias que se pueden observar en los procesos como transporte y depósito de los sedimentos se muestran en los parámetros estadísticos (Friedman, 1967), así que se han planteado diferentes modelos de diagramas que ayudan a establecer los procesos de energía que actúan en los sedimentos.

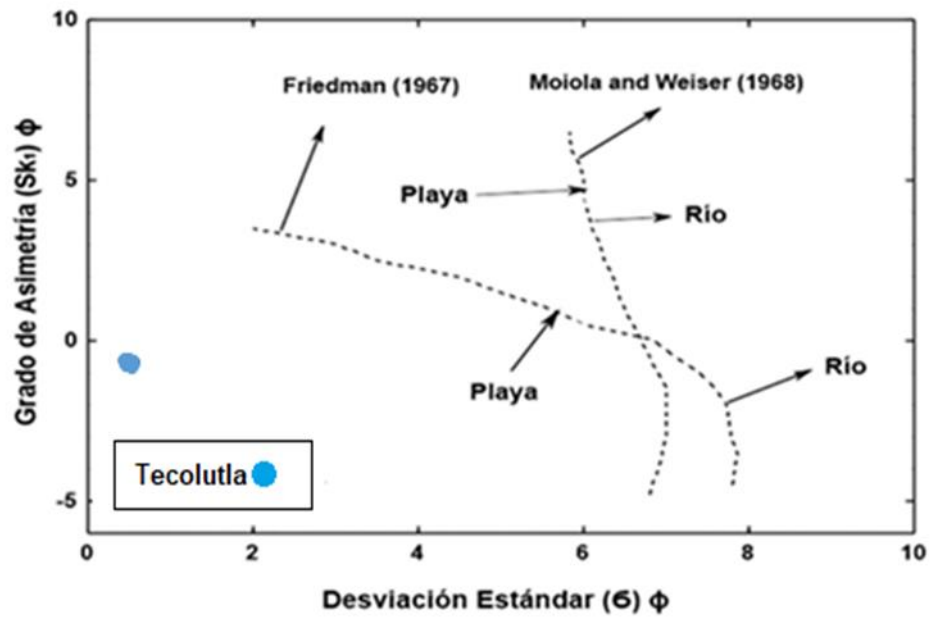


Figura 15. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Friedman, 1967; Moiola y Weiser, 1968).

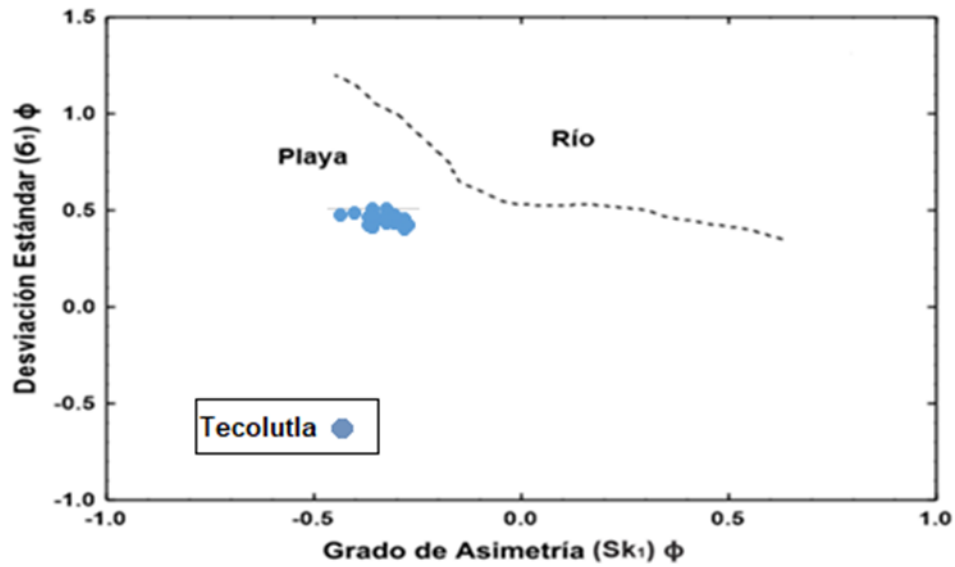


Figura 16. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Grado de asimetría vs Desviación estándar) (Friedman, 1967).

Algunos diagramas para diferenciar entre ambientes de depósito de río y de playa son los propuestos por Friedman (1967), Moila y Weiser (1968) que están enfocados en la desviación estándar y el grado de asimetría, que determinan los procesos de energía que actuaron sobre los sedimentos.

Con los parámetros obtenidos de la playa Tecolutla se graficó, (Fig. 16 y Fig.17). Se puede observar que los sedimentos se clasifican en un ambiente de playa para el caso de ambas propuestas, el cual coincide con el diagrama de Stewart (1958).

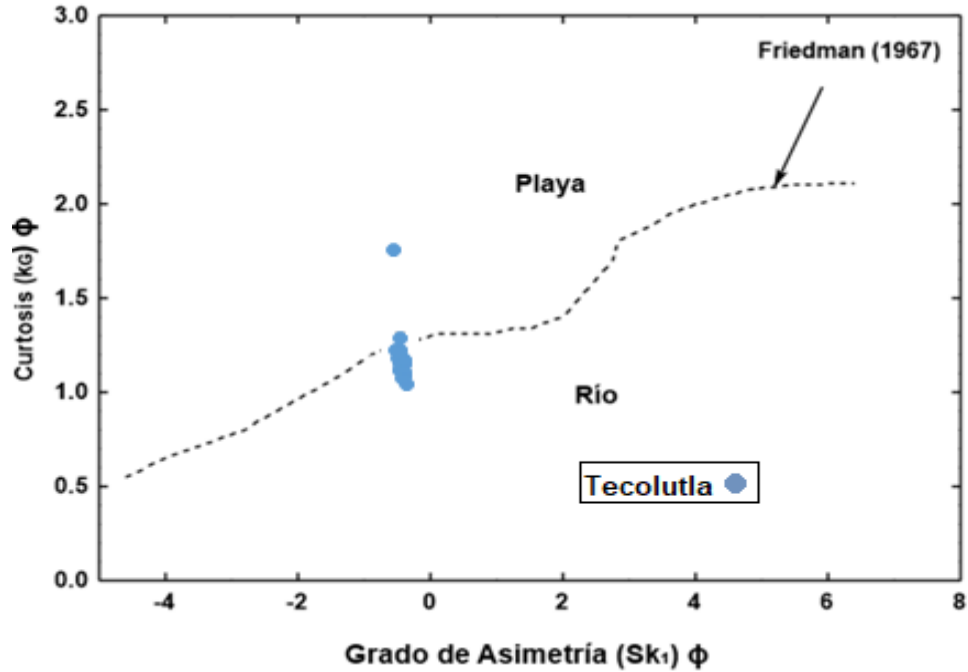


Figura 17. Diagrama de procesos de energía en ambientes (Grado de asimetría vs Curtosis) (Friedman, 1967).

Otro diagrama propuesto por Friedman (1967) basado en el grado de asimetría y curtosis, el cual se observa en la (Fig.18). De acuerdo a Moila y Weiser (1968), estos parámetros no son tan fiables para hacer la distinción entre procesos de río y playa, ya que como se puede observar en los resultados obtenidos para el área de estudio, ya que la mayor parte de muestras caen en el ambiente de río, mientras los diagramas anteriores que grafican la desviación estándar contra el grado de asimetría que caen en el campo de playa.

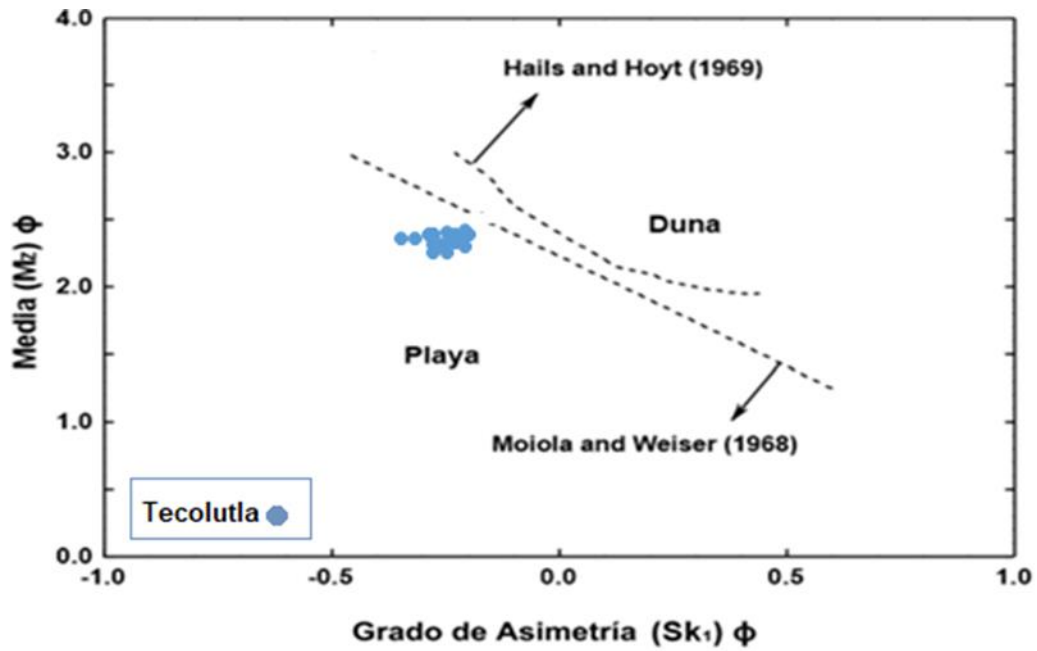


Figura 18. Diagrama de procesos de energía (Hails y Hoyt, 1969; Moila y Weiser, 1968).

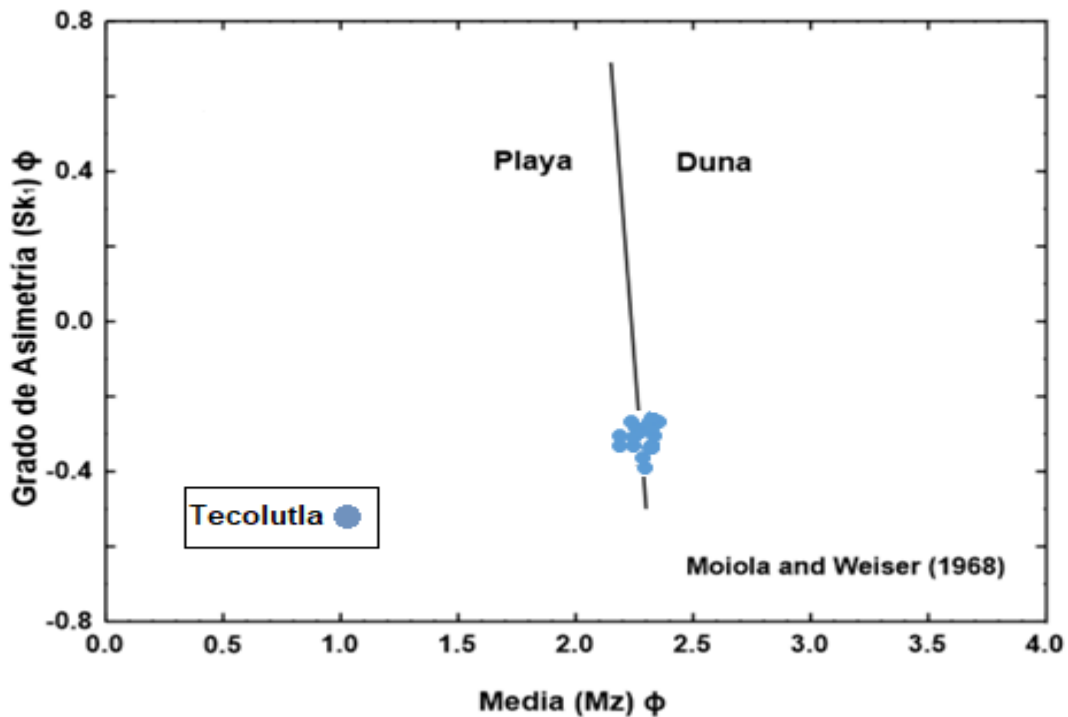


Figura 19. Diagrama de procesos de energía (Moia y Weiser, 1968).

En los diagramas anteriores, (Fig.19 y Fig.20) los parámetros arrojaron como resultado que el área de estudio se encuentra en proceso de playa, aunque en el último diagrama algunas muestras coinciden con el campo de dunas, esto se puede explicar debido a que Tecolutla cuenta con grandes

extensiones de dunas que pertenecen al sistema Tecolutla-Vega de Alatorre, que se extiende a lo largo de la línea de costa entre los municipios de Tecolutla, Nautla y Vega de Alatorre, esto quiere decir que existe una interacción del viento con las dunas.

5.2 Micrografías digitales de cuarzo y circón por microscopía electrónica de barrido (SEM)

Se eligieron 10 granos de cuarzo de cada una de las muestras MT1, MT2 y MT3 mientras que para los circones fueron las muestras MT3, MT11 y MT15, todos los granos fueron examinados con el microscopio electrónico de barrido (SEM), con la finalidad de estudiar la morfología en general y las microtexturas de cada grano. Se muestran a continuación 131 micrografías digitales, 59 de cuarzo y 72 de circones, 12 imágenes para cada muestra solo una con 11 imágenes. En donde se muestran las microtexturas de cada grano para poder inferir su ambiente, de igual manera en la Tabla 15 se describen todas las microtexturas encontradas en los granos analizados.

De la figura 21 a la 25 son micrografías digitales de cuarzo en donde se puede apreciar algunos tipos de microtexturas entre las de origen químico observamos: fatiga por abrasión (af), marcas de percusión (pm), ranuras curvas (cg), borde bulboso (be), cicatriz de impacto (is), crestas serpenteantes (mr), marcas de percusión (pm), marcas en forma de v (V-sh), fracturas concoidales (cf), fracturas radiales (rd). Las microtexturas de origen químico que se presenta son: hoyos de disolución (sp), crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión por disolución (de), glóbulos de sílice (sgl), por ultimo tenemos las microtexturas de origen mecánico/químico: partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed), , bajo relieve, medio relieve, alto relieve.

Las micrografías digitales de la 26 a la 31 son de circón en donde se identificó microtexturas de origen químico: marcas de percusión (pm), crestas serpenteantes (mr), ranuras curvas (cg), fatiga por abrasión (af), estrías paralelas (ps), fracturas concoidales (cf), marcas en forma de v (V-sh), cicatriz de impacto (is), borde bulboso (be), superficie fresca , pasos arqueados (as), pasos rectos (ss), líneas fracturas subparalelas, fracturas radiales (rd), cráter (cr). De origen químico: hoyos de solución (sp), depresión por disolución (de), glóbulos de sílice (sgl), crecimiento excesivo de cristales (cro). Por ultimo nos encontramos con las microtexturas de origen mecánico/ químico: partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed), bajo relieve, medio relieve, alto relieve.

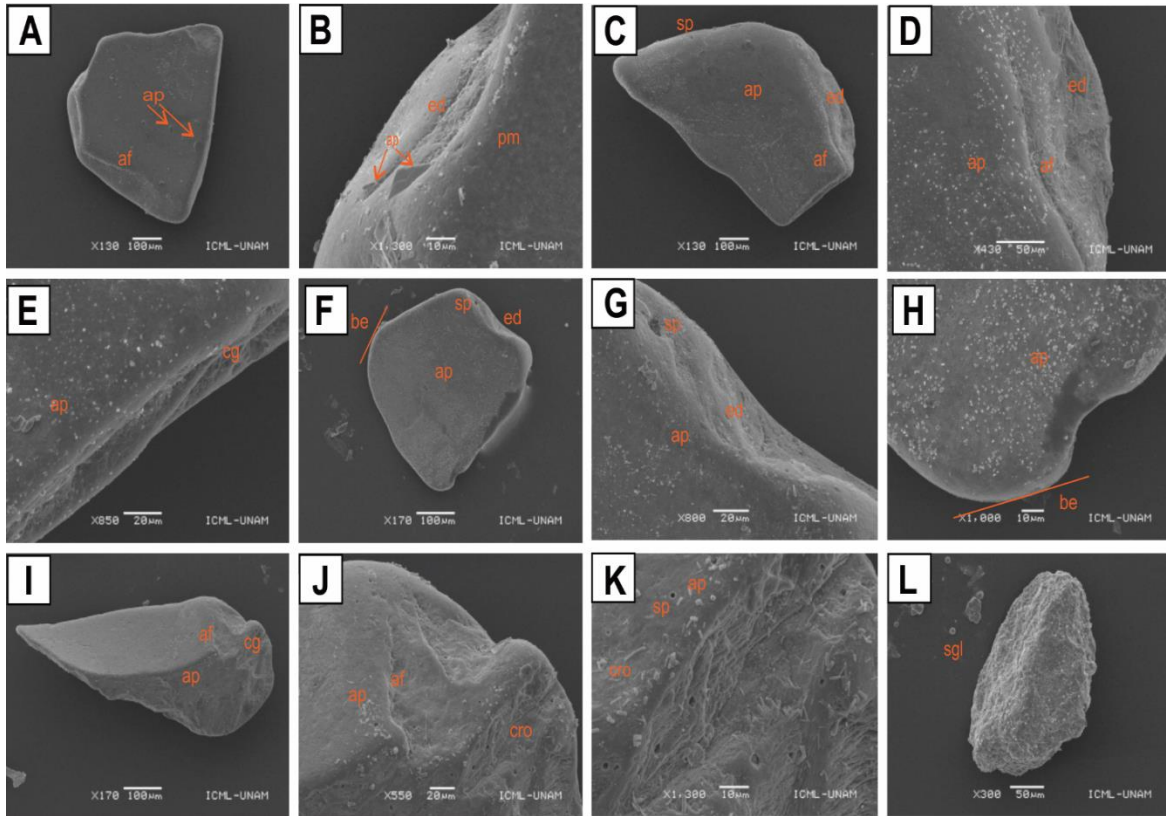


Figura 20. Microtexturas que se encuentran en granos de cuarzo en la Playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo angular con relieve bajo con microtexturas: fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). B) partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed) y marcas de percusión (pm). C) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, partículas adheridas (ap), depresión alargada (ed), hoyos de disolución (sp) y fatiga por abrasión (af). D) partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y depresión alargada (ed). E) partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). F) Grano de cuarzo sub redondeado con bajo relieve, depresión alargada (ed), hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y bordes bulbosos (be). G) hoyos de disolución (sp), depresión alargada (ed) y partículas adheridas (ap). H) partículas adheridas (ap) y bordes bulbosos (be). I) Grano de cuarzo sub angular con relieve medio, partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y ranuras curvas (cg). J) fatiga por abrasión, crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). K) hoyos de disolución (sp), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). L) Cuarzo subredondeado repleto de precipitación de sílice y disolución.

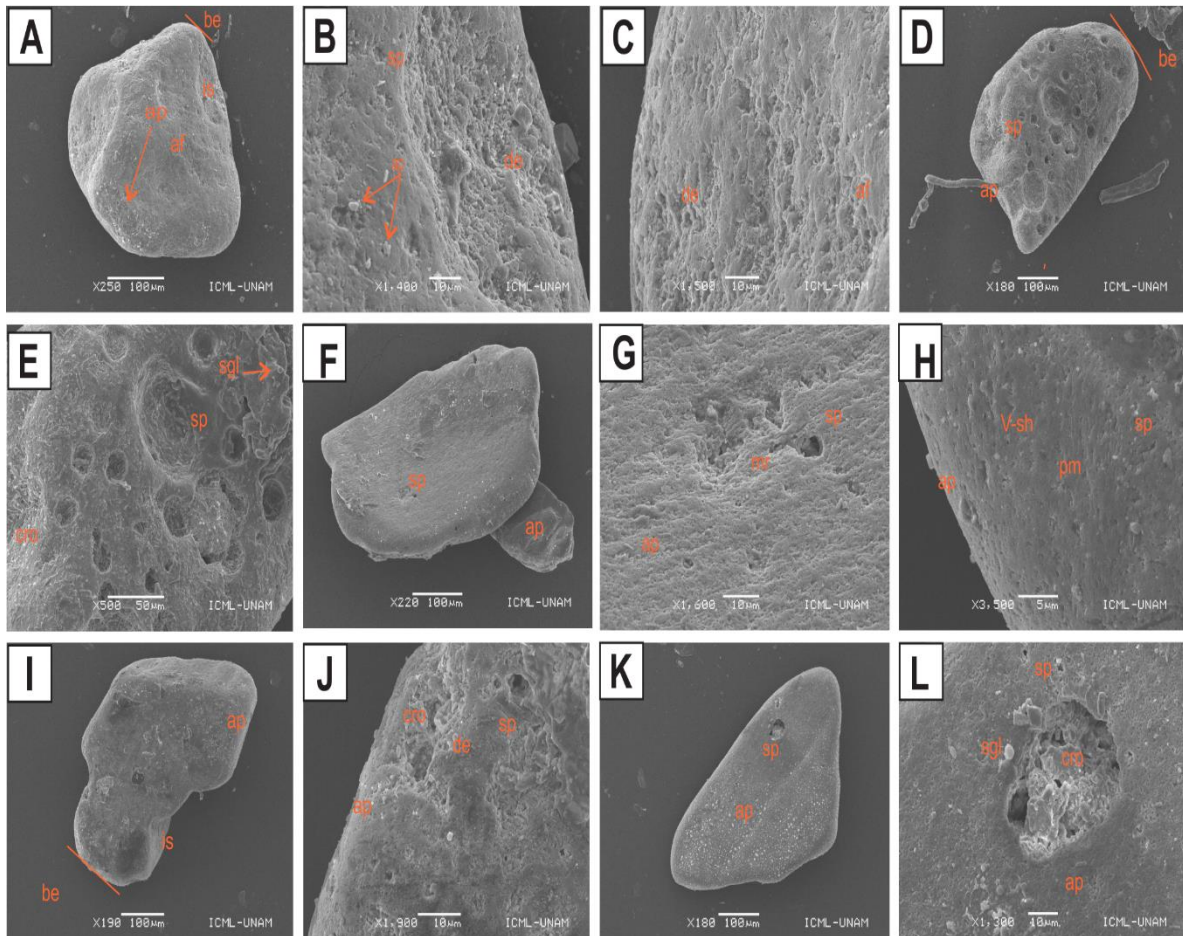


Figura 21. Microtexturas en cuarzos. A) Grano subredondeado con relieve medio, borde bulboso (be), fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap), y cicatriz de impacto (is), **B)** hoyos de disolución (sp), depresión por disolución (de), y partículas adheridas (ap), **C)** depresión por disolución (de) **D)** Grano subredondeado con relieve medio, hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y borde bulboso (be). **E)** hoyos de disolución (sp), depresión por disolución y glóbulos de sílice (sgl). **F)** Grano sub angular con relieve bajo, hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). **G)** hoyos de disolución (sp), crestas serpenteantes (mr) y partículas adheridas (ap). **H)** marcas de percusión (pm), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). **I)** Grano subangular con relieve bajo, borde bulboso (be), cicatriz de impacto (is), y partículas adheridas (ap). **J)** depresión por disolución (de), crecimiento de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y hoyos de disolución (sp). **K)** Grano angular con relieve bajo, hoyos de disolución (sp), y partículas adheridas (ap). **L)** crecimiento excesivo de cristales (cro), glóbulos de sílice (sgl), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap).

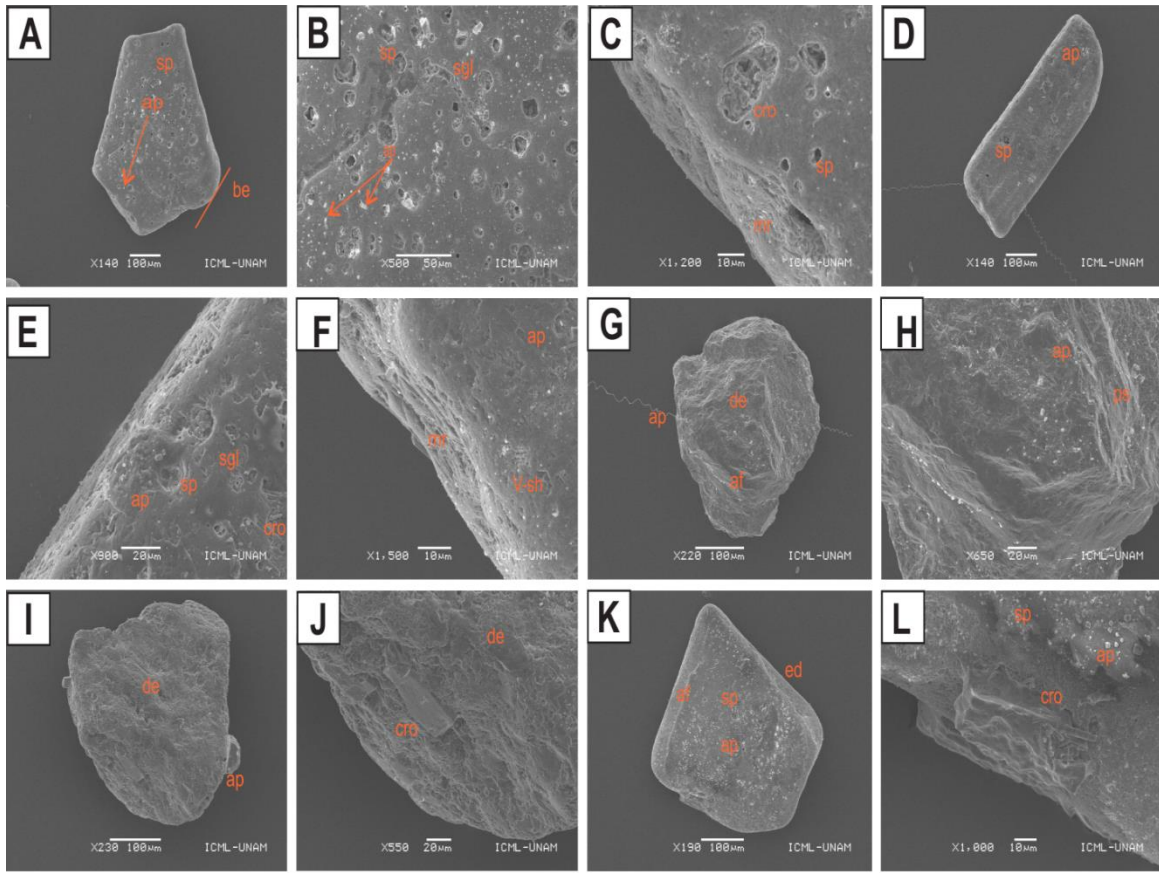


Figura 22. . Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo sub angular con relieve medio, partículas adheridas (ap), borde bulboso (be), y hoyos de disolución (sp). B) partículas adheridas (ap), hoyos de disolución (sp) y glóbulos de sílice (sgl). C) crecimiento excesivo de cristales (cro), hoyos de disolución (sp) y crestas serpenteantes (mr). D) Grano de cuarzo subredondeado con relieve bajo en donde se observa partículas adheridas (ap), y hoyos de disolución (sp). E) glóbulos de sílice (sgl), partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) y hoyos de disolución (sp). F) partículas adheridas (ap), crestas serpenteantes (mr) y marcas en forma de v (V-sh). G) Grano de cuarzo subangular con relieve medio, depresión por disolución (de), partículas adheridas (ap) y fatiga por abrasión (af) H) partículas adheridas (ap), y estrías paralelas (ps). I) Grano de cuarzo subredondeado con relieve alto, depresión por disolución (de) y partículas adheridas (ap). J) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cristales (cro). K) Grano de cuarzo subangular relieve medio, fatiga por abrasión (af), hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap) y depresión alargada (ed). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y hoyos de disolución (sp).

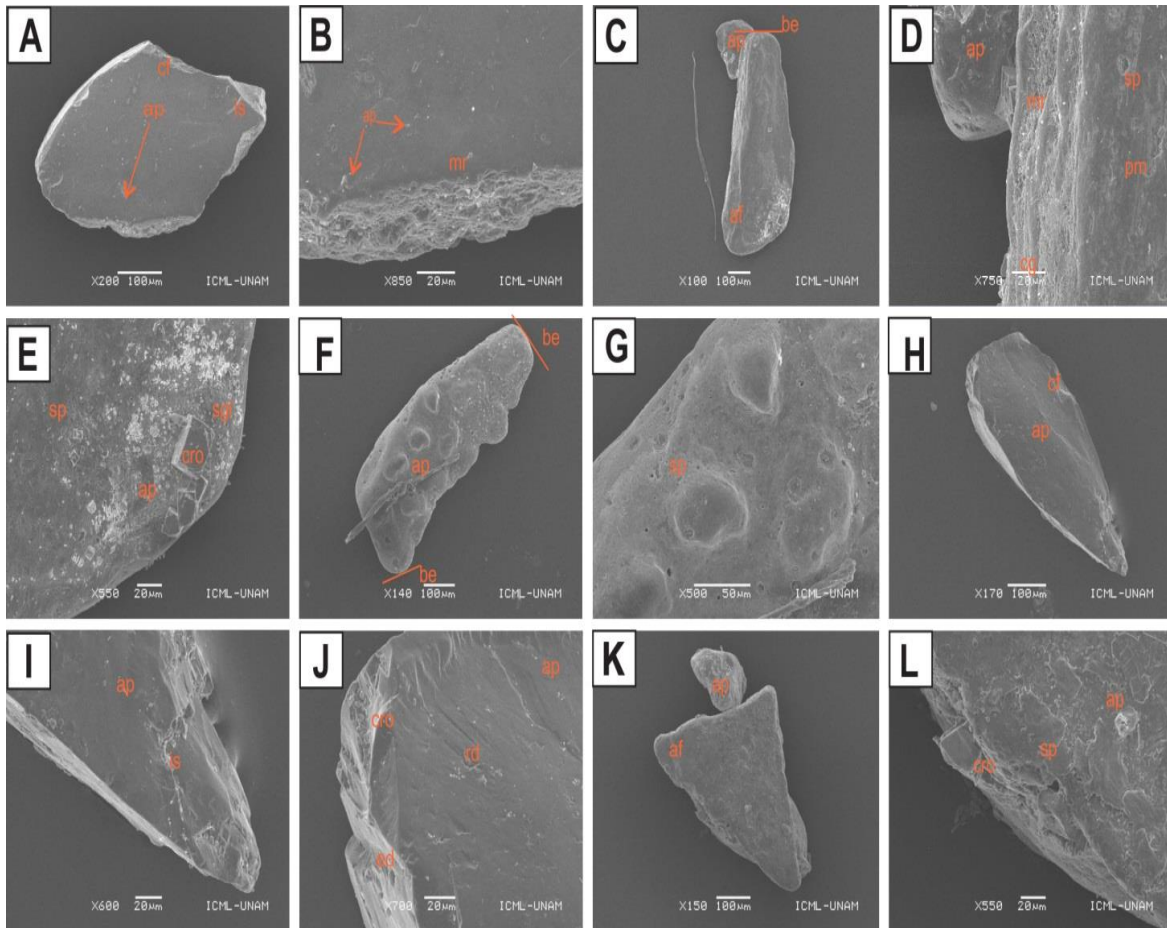


Figura 23. Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) Grano de cuarzo subangular con relieve bajo, partículas adheridas, cicatriz de impacto (is) y fracturas concoidales (cf) B) partículas adheridas (ap), crestas serpenteantes (mr). C) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, borde bulboso (be), fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). D) partículas adheridas (ap), ranuras curvas (cg), crestas serpenteantes (mr), hoyos de disolución (sp), y marcas de percusión (pm). E) hoyos de disolución (sp), partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) que es crecimiento de halita y glóbulos de sílice. F) Grano de cuarzo subredondeado con relieve alto donde se observa borde bulboso (be) y partículas adheridas (ap). G) hoyos de disolución (sp). H) Grano de cuarzo subangular con relieve medio donde se aprecia fracturas concoidales (cf) y partículas adheridas (ap). I) cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). J) partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión alargada (ed), fracturas radiales (rd). K) Grano angulares con relieve bajo fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). L) partículas adheridas (ap), crecimiento excesivo de cristales (cro) y hoyos de solución (sp).

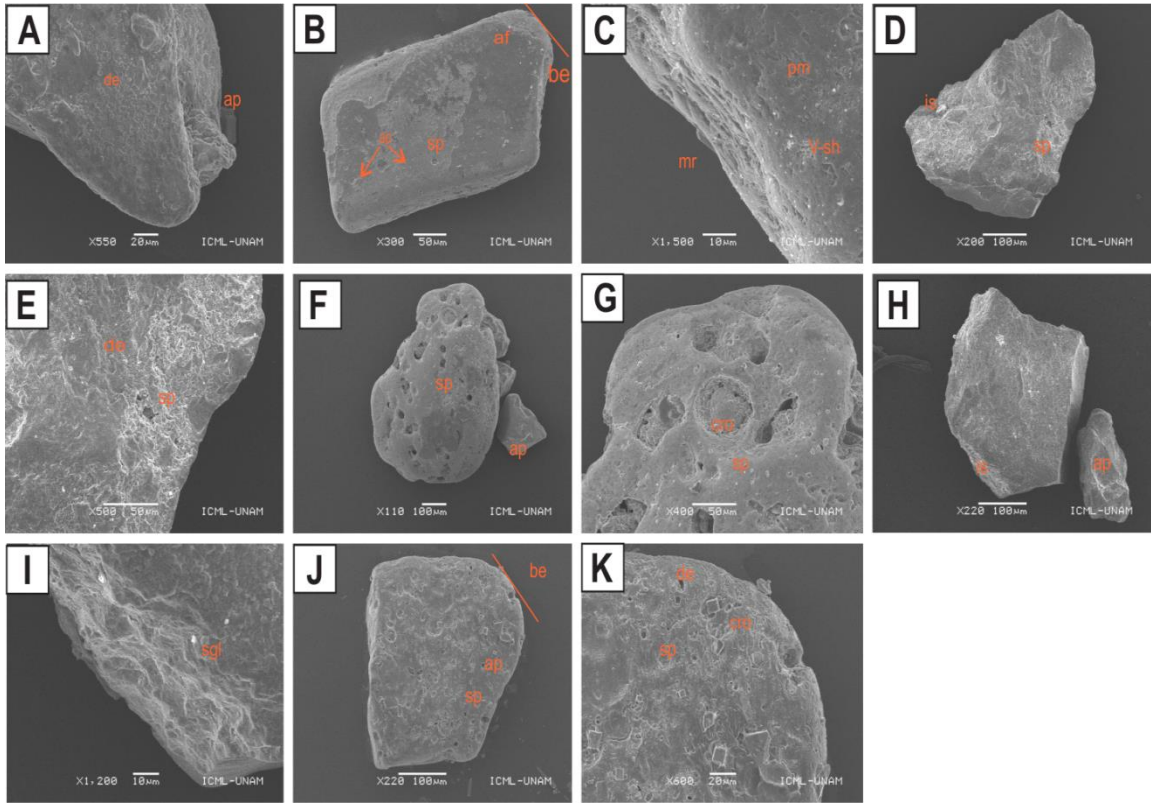


Figura 24. Microtexturas presentes en el cuarzo de la playa Tecolutla. A) depresión por disolución (de) y partículas adheridas (ap). B) Grano de cuarzo subredondeado con relieve bajo, borde bulboso (be) hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). C) crestas serpenteantes (mr), marcas de percusión (pm) y marcas en forma de V (V-sh). D) Grano subredondeado con relieve alto, cicatriz de impacto (is) y hoyos de disolución (sp), se observa disolución en gran parte del grano. E) depresión por disolución (de) y hoyos de disolución (sp). F) Grano subredondeado con relieve medio que muestra bastantes hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). G) hoyos de disolución (sp), crecimiento excesivo de cristales (cro). H) Grano de cuarzo subredondeado con relieve medio, cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas. I) ranuras curvas (cg). J) Grano subredondeado con relieve bajo que muestra borde bulboso (be), hoyos de disolución (sp) y partículas adheridas (ap). K) depresión por disolución (de), hoyos de disolución (sp) y crecimiento excesivo de cristales (cro).

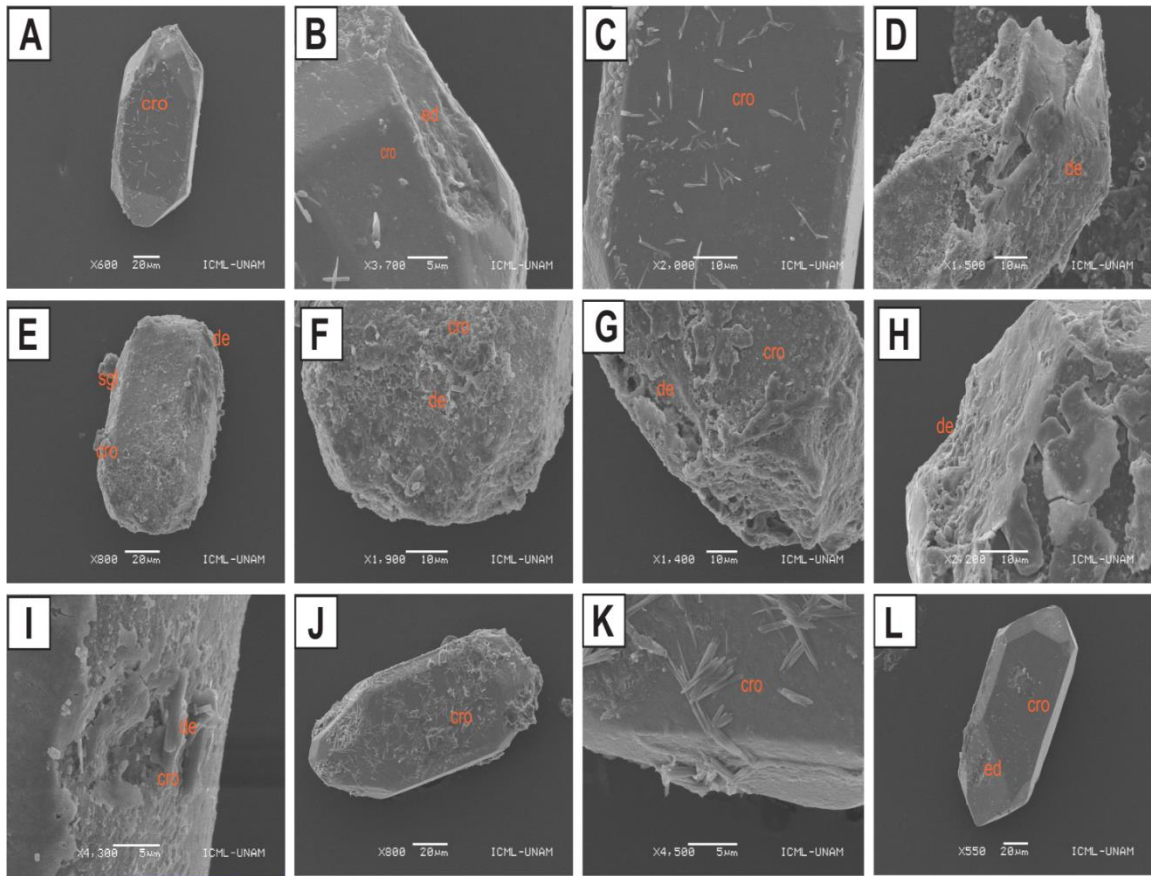


Figura 25. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subangular con relieve bajo, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) depresión alargada (ed) y crecimiento excesivo de cristales (cro). C) crecimiento excesivo de cristales (cro). D) relieve alto, el grano está muy afectado por la disolución, depresión por disolución (de). E) Grano de circón con relieve medio, glóbulos de sílice (sgl) y crecimiento excesivo de cristales (cro). F) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cristales (cro). G) afectación al grano por disolución, crecimiento excesivo de minerales (cro) y la depresión por disolución (de). H) depresión por disolución. I) depresión por disolución (de) y el crecimiento excesivo de cristales (cro). J) Grano de circón subangular con relieve medio, crecimiento excesivo de cristales (cro). K) crecimiento excesivo de cristales (cro). L) Grano angular con relieve bajo, depresión alargada (ed) y crecimiento excesivo de cristales (cro).

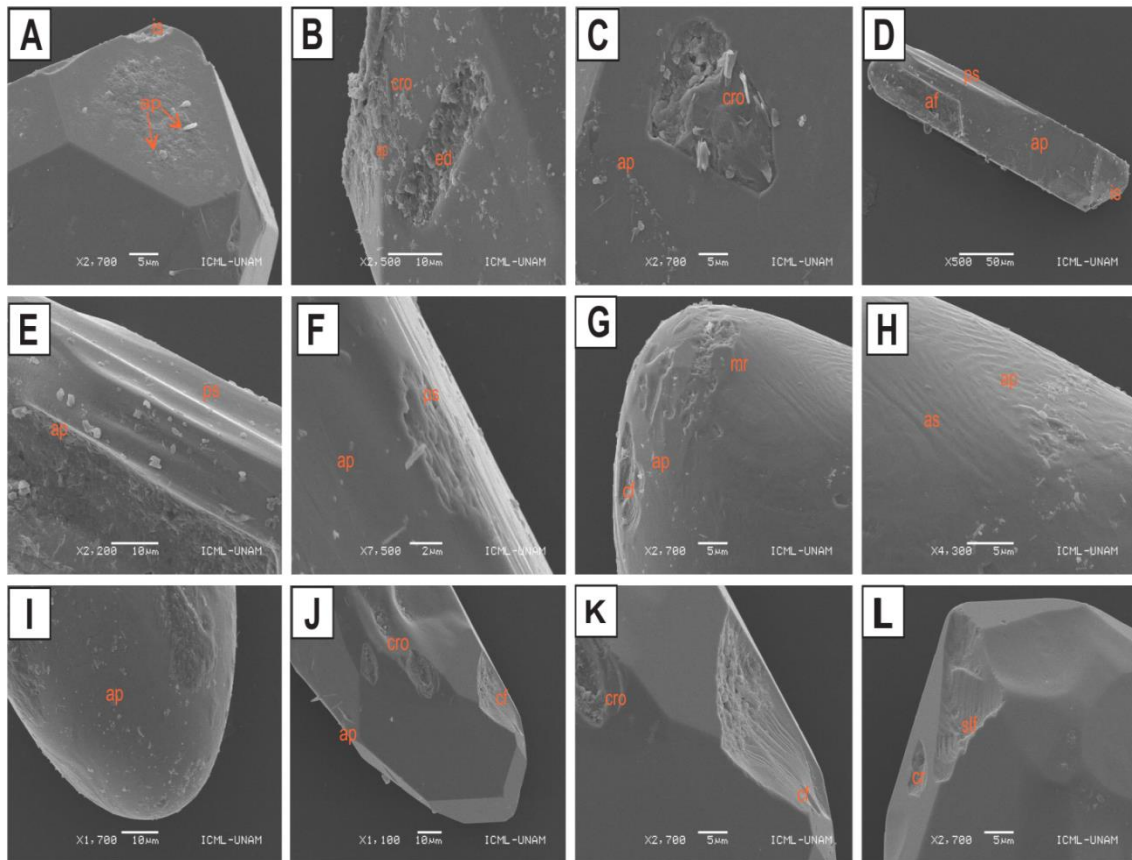


Figura 26. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). B) depresión alargada (ed), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). C) crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). D) Grano angular, fatiga por abrasión, partículas adheridas (ap), cicatriz de impacto (is) y estrías paralelas (ps). E) estrías paralelas (ps) y partículas adheridas (ap). F) estrías paralelas (ps) y partículas adheridas (ap). G) crestas serpenteantes (mr), partículas adheridas (ap) y fracturas concoidales (cf). H) pasos arqueados (as), y partículas adheridas (ap). I) Sección de grano de circón en donde se observa partículas adheridas. J) Grano de circón en donde se observa fracturas concoidales (cf), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). K) crecimiento excesivo de cristales (cro) y fracturas concoidales (cf). L) cráter (cr), fracturas lineales subparalelas (slf).

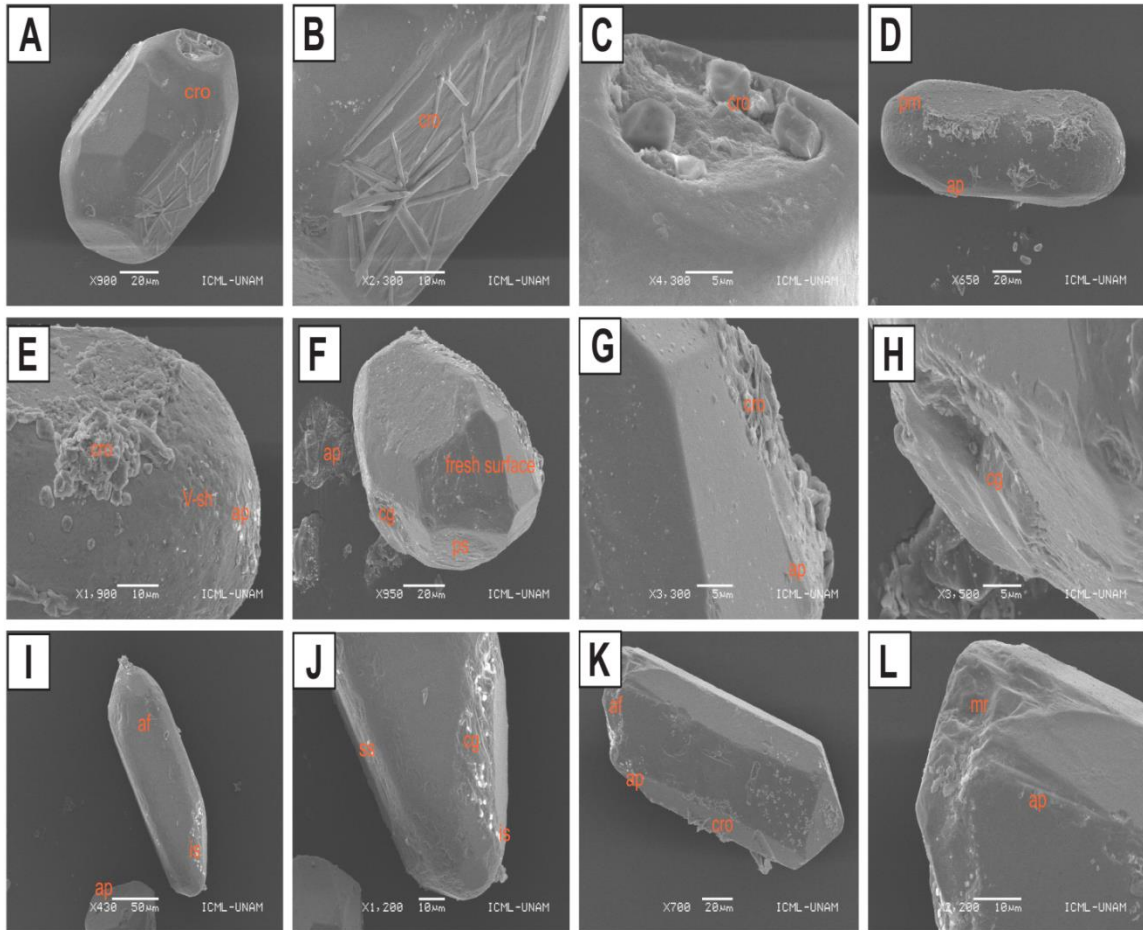


Figura 27. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subanguloso con relieve bajo, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) crecimiento excesivo de cristales (cro). C) crecimiento excesivo de cristales (cro). D) Grano subredondeado marcas de percusión (pm) y partículas adheridas (ap). E) crecimiento excesivo de minerales (cro), marcas en forma de v (V-sh) y partículas adheridas (ap). F) Grano subredondeado con relieve bajo estrías paralelas (ps), partículas adheridas (ap), ranuras curvas (cg) y superficie fresca. G) crecimiento excesivo de minerales (cro) y partículas adheridas (ap). H) ranuras curvas (cg). I) Grano de circón con relieve bajo, angular que muestra cicatriz de impacto (is), fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). J) cicatriz de impacto (is), ranuras curvas (cg) y pasos rectos (ss). K) Grano subanguloso con relieve medio, fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap) y crecimiento excesivo de cristales (cro). L) crestas serpenteantes (mr) y partículas adheridas (ap).

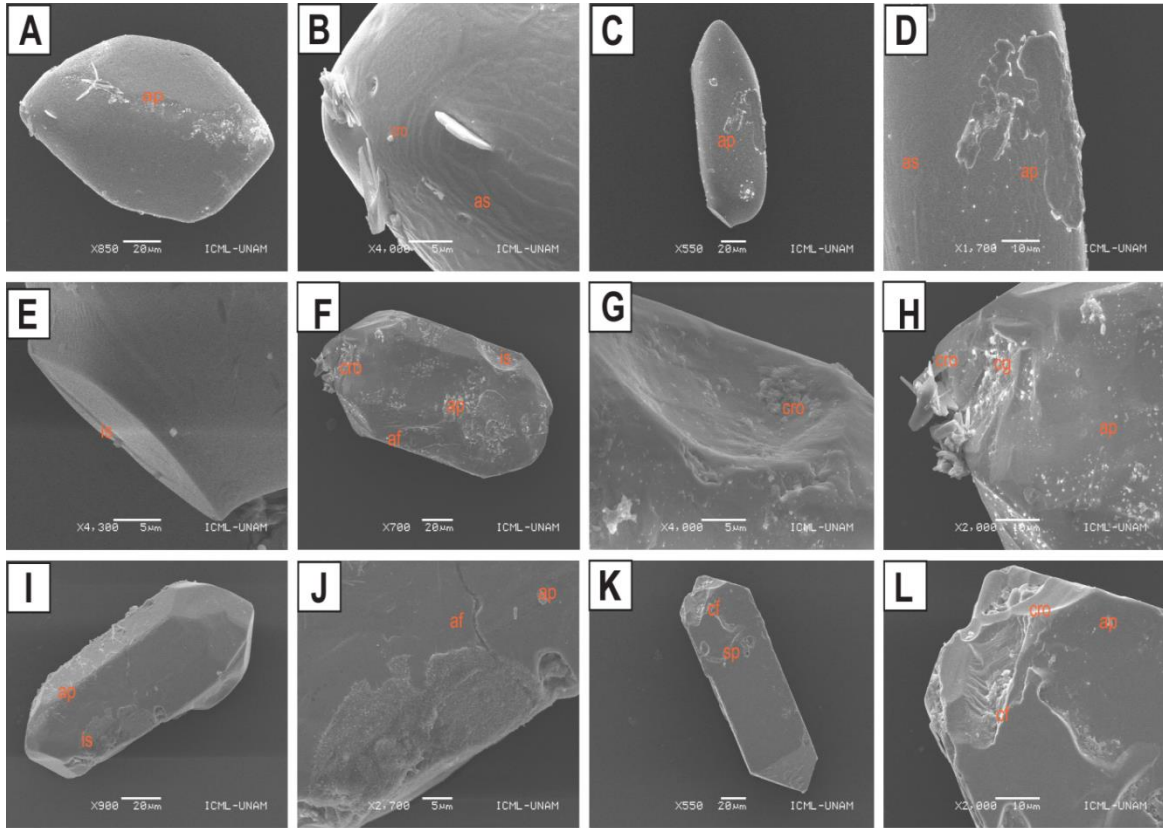


Figura 28. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano anguloso con relieve bajo partículas adheridas (ap). B) crecimiento excesivo de cristales (cro) y pasos arqueados (as). C) Grano angulosos con relieve bajo partículas adheridas (ap.). D) pasos arqueados (as) y partículas adheridas (ap). E) cicatriz de impacto (is). F) Grano subanguloso crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap), fatiga por abrasión (af) y cicatriz de impacto (is). G) crecimiento excesivo de cristales (cro). H) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). I) Grano anguloso con relieve bajo que muestra cicatriz de impacto (is) y partículas adheridas (ap). J) fatiga por abrasión (af) y partículas adheridas (ap). K) Grano con relieve, fracturas concoidales (cf) y hoyos de solución (sp). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y fracturas concoidales(cf).

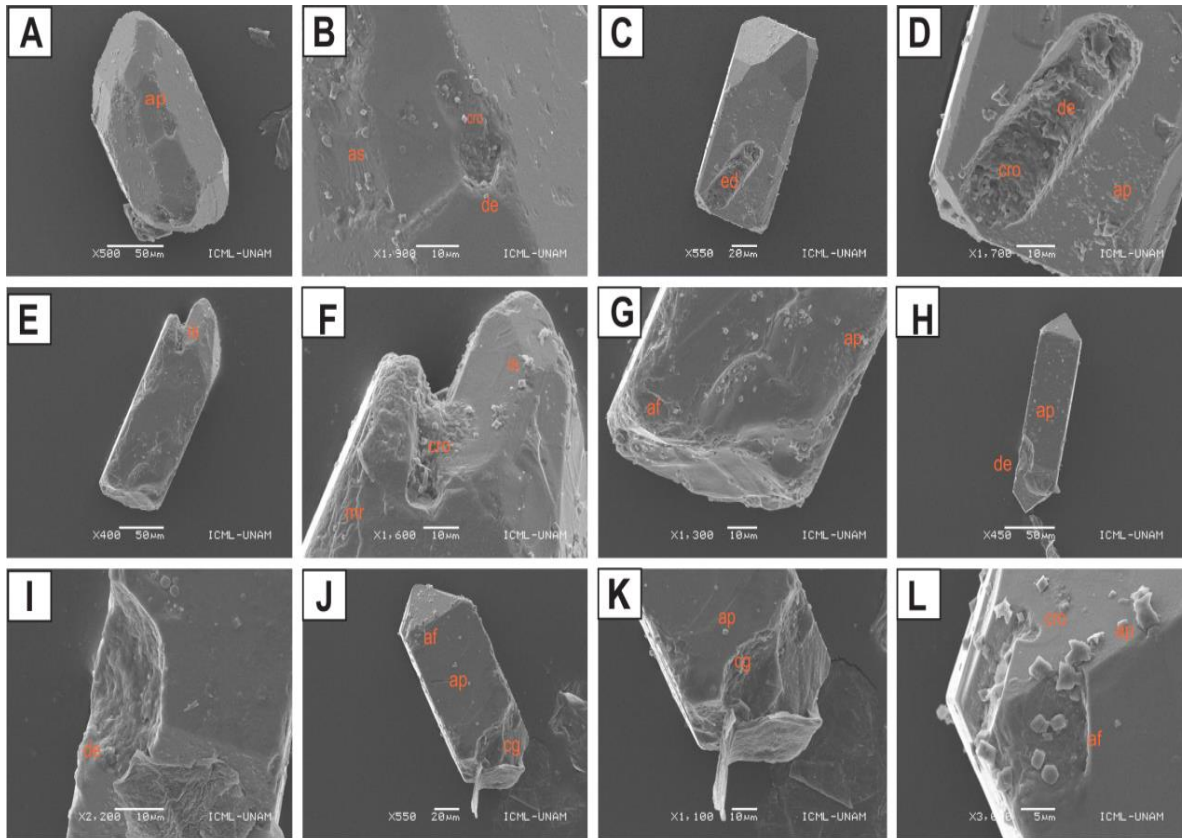


Figura 29. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano subanguloso con relieve bajo, partículas adheridas (ap), B) crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión alargada (de) y pasos arqueados (as). C) depresión alargada (ed). D) depresión alargada (ed), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). E) Grano subanguloso con relieve medio que muestra cicatriz de impacto (is). F) cicatriz de impacto (is), crecimiento excesivo de cristales (cro) y crestas serpenteantes (mr). G) fatiga por abrasión (af), y partículas adheridas (ap). H) Grano anguloso con relieve medio donde se muestra depresión alargada (de) y partículas adheridas (ap). I) depresión alargada (de). J) Grano anguloso con relieve medio donde se aprecia fatiga por abrasión (af), partículas adheridas (ap) y ranuras curvas (cg). K) ranuras curvas (cg) y partículas adheridas (ap). L) crecimiento excesivo de cristales (cro), partículas adheridas (ap) y fatiga por abrasión (af).

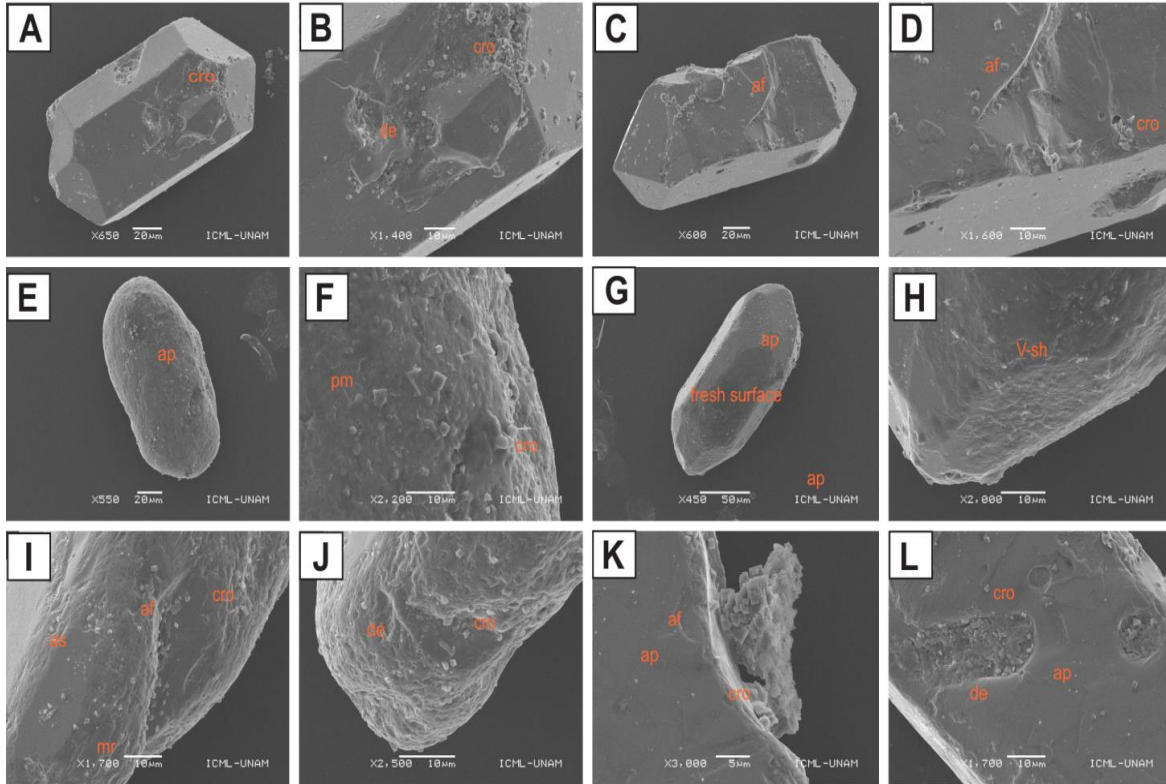


Figura 30. Microtexturas presentes en el circón de la playa Tecolutla. A) Grano anguloso con relieve medio, crecimiento excesivo de cristales (cro). B) depresión por disolución (de) y crecimiento excesivo de cristales (cro). C) Grano con relieve medio, fatiga por abrasión (af). D) crecimiento excesivo de cristales (cro) y fatiga por abrasión (af). E) Grano redondeado con relieve bajo partículas adheridas (ap). F) partículas de percusión (pm) y crecimiento excesivo de cristales (cro). G) Grano anguloso superficie fresca y partículas adheridas (ap) H) marcas en forma de V (V-sh). I) fatiga por abrasión (af), crecimiento excesivo de cristales (cro), pasos arqueados (as) y crestas serpenteantes (mr). J) crecimiento excesivo de cristales (cro) y depresión por disolución (de). K) fatiga por abrasión (af), crecimiento excesivo de cristales (cro) y partículas adheridas (ap). L) depresión por disolución (de), crecimiento excesivo de cristal (cro) y partículas adheridas (ap).

Tabla 15. Microtexturas encontradas en los granos de cuarzo y circón estudiados en la Playa Tecolutla, Veracruz.

	Microtextura	Playa Tecolutla	Total	%Total
Origen mecánico				
1	Marcas de percusión (pm)	6	84	32.9%
2	Crestas serpenteantes (mr)	10		
3	Ranuras curvas (cg)	7		
4	Fatiga por abrasión (af)	16		
5	Estrías paralelas (ps)	4		
6	Fracturas concoidales (cf)	3		
7	Marcas en forma de v (V-sh)	5		
8	Cicatriz de impacto (is)	10		
9	Borde bulboso (be)	12		
10	Superficie fresca	2		
11	Pasos arqueados (as)	5		
12	Pasos rectos (ss)	1		
13	Líneas fracturas subparalelas	1		
14	Fracturas radiales (rd)	1		
15	Cráter (cr)	1		
Origen químico				
16	Hoyos de solución (sp)	19	79	31%
17	Depresión por disolución (de)	16		
18	Glóbulos de sílice (sgl)	7		
19	Crecimiento excesivo de cristales (cro)	37		
Origen mecánico/ químico				
20	Partículas adheridas (ap)	44	92	36%
21	Depresión alargada (ed)	8		
22	Bajo relieve	17		
23	Medio relieve	20		
24	Alto relieve	3		

Tabla 16. Principales microtexturas en circón y cuarzo

Circón	Cuarzo
Crecimiento excesivo de cristales (cro)	Partículas adheridas (ap)
Partículas adheridas (ap)	Hoyos de disolución (sp)
Fatiga por abrasión (af)	Crecimiento excesivo de cristales (cro)
Relieve bajo	Fatiga por abrasión (af)
Cicatriz de impacto (is)	Relieve medio

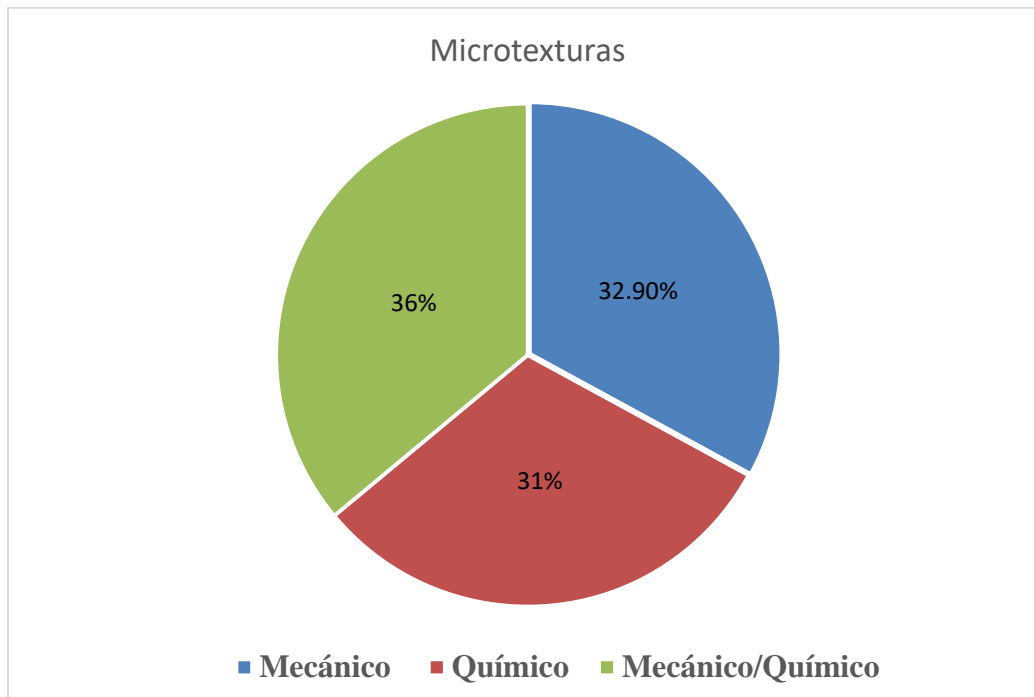


Figura 31. Gráfica representativa del porcentaje de cada microtexturas

La Tabla 15 nos proporciona información de los tipos de microtexturas que se encuentran en los granos de circón y cuarzo. Podemos observar que los granos de cuarzo y circón de la playa Tecolutla predominan las microtexturas de origen mecánico/químico con un 36%. Lo anterior nos indica un entorno transición en este caso ambiente costero (playa), le siguen las microtexturas de origen mecánico con un 32.9%, estas nos indican la influencia de deposición subacuática de alta energía. La predominancia de granos sin redondear a pobremente redondeados con texturas como (escalones arqueados y escalones rectos) indica procedencia de los sedimentos con fuentes cercanas, los granos redondeados caracterizados por bordes bulbosos nos infieren un transporte de tipo eólico. También hay otras microtexturas que nos infieren este tipo de transporte como son las crestas meándricas y abrasión por fatiga, la interpretación infiere como rocas fuentes, dunas litorales cercanas que llegan a la zona de playa. Aunque son pocos los granos que muestran un redondeamiento completo, estos nos indican un transporte con distancias mayores y abrasión severa. De acuerdo a Zoleikhaeit et al. (2016) es probable que los sedimentos que alojan granos de circón con alto redondeamiento son reciclados, debido a que son circones heredados y provienen de fuentes cercanas. Los granos que muestran cicatriz de impacto o un choque nos pueden indicar que han sufrido más de un ciclo sedimentario. Las microtexturas de origen químico nos indica que en la zona de Tecolutla se llevan a cabo reacciones entre el agua de mar y los sedimentos ubicados en la playa. Las diversas microtexturas en un solo grano nos infiere que los sedimentos de playa pueden estar constituidos por granos de arena de diversas fuentes, ambiente diagenético y alta energía en la zona de depósito (Armstrong-Altrin, J. S., y Natalhy-Pineda, O. (2014)).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

A partir de los objetivos planteados que tienen como propósito determinar procedencia mediante su transporte y zona de depósito.

El análisis granulométrico del sedimento de la playa Tecolutla mostró un tamaño de grano medio, bien clasificado y asimétrico hacia tamaños gruesos que nos indica un ambiente de alta energía. Los parámetros texturales muestran que los procesos de energía predominantes en el área de estudio son característicos de playa, con influencia de los ríos y viento como medio de transporte de los sedimentos.

Se identificaron 20 microtexturas en los granos de cuarzo, la mayoría de origen mecánico: fatiga por abrasión (af), marcas en v, fracturas concoidales (cf), marcas de percusión (pm), fracturas radiales (rd), ranuras curvas (cg), estrías paralelas (ps), crestas serpenteantes (mr), ranuras curvas (cg), borde bulboso (be), cicatriz de impacto (is), también se presentaron algunas de origen químico: hoyos de disolución(sp), glóbulos de sílice(ssl), crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión por disolución(de), otras de origen mecánico - químico: partículas adheridas(ap), relieve alto, relieve medio, relieve bajo, depresión alargada (ed).

Por otro lado, se presentaron 22 microtexturas en los granos de circón, de los cuales al igual que en el cuarzo la mayoría de microtexturas son de origen mecánico: cicatriz de impacto (is), fatiga por abrasión (af), estrías paralelas (ps), crestas serpenteantes (mr), fracturas concoidales (cf), pasos arqueados(as), cráter (cr), fracturas lineales subparalelas (slf), marcas de percusión (pm), marcas en forma de (V), ranuras curvas(cg), pasos rectos(ss), también se presentaron en menor proporción de origen químico: crecimiento excesivo de cristales (cro), depresión por disolución (de), glóbulos de sílice (ssl), hoyos de disolución(sp), se presentaron de igual manera de origen mecánico – químico: relieve alto, relieve medio, relieve bajo, partículas adheridas(ap), depresión alargada (de).

Tomando en cuenta la frecuencia de microtexturas que más aparecen son las de origen mecánico – químico como las partículas adheridas que se presenta con una frecuencia de 44 veces o el relieve bajo que se presenta 17 veces.

La morfología que presentan los granos son sub angulosos y sub redondeados lo que nos indica diferentes rocas fuentes (cercanas y lejanas).

Las principales microtexturas indican un entorno de deposición subacuático de alta energía; las fracturas concoidales, pasos arqueados y rectos, nos indican una fuente próxima, la mayoría de los granos no presentan redondeamiento o un pobre redondeamiento, los granos redondeados denotan un transporte con largas distancias en el ambiente costero de alta energía.

Las principales microtexturas encontradas fueron las partículas adheridas y el sobre crecimiento de cristales que muestran el ambiente diagenético en la zona costera. Mientras que las crestas serpenteantes, bordes bulbosos, impactos, abrasión y las marcas tipo V mostraron la influencia del transporte fluvial y eólico de los sedimentos.

PERSPECTIVAS

Los resultados de este estudio sirvieron para la caracterización de microtexturas en granos de cuarzo y circón y con ello determinar el tipo de transporte desde la roca fuente a la zona de depósito de la playa Tecolutla, Veracruz. Existen estudios que complementan estos datos como son la cantidad de microplásticos encontrados, con una predominancia de microfibras que se infiere su procedencia del río Tecolutla. También resultados de granulometría y geoquímica señalan una roca fuente ígnea intermedia y félsica, la arena se clasifica como grauvaca-lito arenitas y existe una moderada contaminación por los metales Cu, Pb y Cr. Sin embargo, considero que es necesario realizar estudios de geocronología en circones y de manera integrada con todos los estudios ya previos tener un panorama completo sobre la procedencia de sedimentos.

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS

- Albardeiro, L., Pereira, M., Gama, C., Chichorro, M., Hofmann, M. y Linneamann, U. (2014) Provenance study of Pliocene-Pleistocene sands based on ancient detrital zircons (Alvalade Basin, SW Iberian Atlantic coast). *Sedimentary Geology*, 307, 47-58.
- Alden, P. (1954) Sedimentological Models. *Journal Sedimentary Petrology*, 34, 289-293.
- Allen, P.A. y Allen, J.R. (2005) *Basin Analysis: Principles and Applications*. Usa: Blackwell Publishing
- Armstrong-Altrin, J. S., y Natalhy-Pineda, O. (2014) Microtextures of detrital sand grains from the Tecolutla, Nautla, and Veracruz beaches, western Gulf of Mexico, Mexico: implications for depositional environment and paleoclimate. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), 4321-4333.
- Armstrong-Altrin, J.S., Ramos Vázquez, M. A., Zavala-León, A.C. y Montiel-García, P.C. (2018) Provenance discrimination between Atasta and Alvarado beach sands, western Gulf of Mexico, México: Constraints from detrital zircon chemistry and U-Pb geochronology. *Geological Journal*, 53, 2824-2848.
- Armstrong-Altrin, J.S., Ramos Vázquez, M.A., Jayagopal Madhavaraju., Sanjeet K Verma., Katherine Macías-Martínez., Damian Martínez-Ruíz. (2022) Quartz grain microtextures in the Boca del Cielo and Chochohuitl beaches in the Mexican Pacific, Chiapas state: implication on paleoenvironment. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1086.
- Arribas-Mocoroa, J. (2010) Análisis de la procedencia en depósitos arenosos. En A. Arche (Ed.). *Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Consejo Superior de investigaciones científicas. Madrid, España, 397-439.
- Basáñez Muñoz, A., Olmedo Pérez, G., Rojas Mencion, Paula. (2006) Características estructurales y usos del manglar en el ejido Cerro de Tumilco, Tuxpan, Veracruz México. *Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, Campus Tuxpan, México*. 6(1), 114-120.
- Bell, H. S., (1942) Density Currents as Agents for Transporting Sediments. *Journal Geology*, 50, 512-547.
- Berger, G., Burke, R., Carver, G., y Easterbrook, D. (1991) Test of Thermoluminescence dating with coastal sediments from northern California. *Chemical Geology: Isotope Geoscience Section*, 87(1), 21-37.
- Boggs, S. (2006) *Principles of sedimentology and stratigraphy*. New Jersey, USA: Pearson
- Bowen, N.L. (1928) *The Evolution of the Igneous Rocks*. Princeton University Press, 235-322.
- Bradley, W.H. (1948) Limnology and the Eocene lakes of the Rocky Mountain Region. *Geological Society of America Bulletin*, 59, 635-648.
- Byrne, J.V. y Emery, K.O. (1960) Sediments of the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin*, 71, 933-1010.

- Carranza-Edwards, A., Centeno-García, E., Rosales-Hoz, L., y Lozano-Santa Cruz, R. (2001) Provenance of beach gray sands from western México. *Journal of South American Earth Sciences*, 14, 291-305.
- Carranza-Edwards, A. (1975). Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales del Centro del Mar y Limnología*, UNAM, 2(1), 81-88.
- Chamberlin, T.C. (1897) The method of multiple working hypothesis. *Journal Geology*, 5, 837-848.
- Casasola-Moreno, P., Lithgow, D., Martínez, L., Martínez-Martínez, R., Casarín-Silva, R., Vázquez, G., Portillo-López, J., Baldwin-Mendoza, E., Ibarra-Monroy, R., (2020). La zona costera del municipio Tecolutla. *INECOL* 77 pp.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M. y Clark, K. (1981) Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera. In: Dickinson, W. and Payne, W.D., eds., *Relations of tectonics to ore deposits in the southern Cordillera*. *Arizona Geological Society Digest*, 14, 137-153.
- Eaton, J.E. (1929) The By-passing and Discontinuous Deposition of Sedimentary Materials. *American Association of Petroleum Geologists*, 13, 713-768.
- Edward, J.T. y Frederick, K. L. (2005) *Ciencias de la Tierra una introducción a la geología física*. Pearson. Madrid, 8, 175-255.
- Emery, K.O. (1956) *Sediments and Water of Persian Gulf*. *American Association of Petroleum Geologists*, 40, 2354-2386.
- Escobar, G. (20) *Manual de geología para ingenieros*. Universidad Nacional de Colombia, 8, 294-311.
- Finzel, E.S. (2017) Detrital zircon microtextures and U-PB geochronology of Upper Jurassic to Paleocene strata in the distal North American Cordillera foreland basin. *Tectonics*, 36(7), 1295-1316.
- Fleming, R.H y Revelle, R. (1939) *Physical Processes in the Ocean in Recent Marine Sediments*. *American Association of Petroleum Geologists*, 4, 210-269.
- Flores-Cortés, M. (2021) *Características texturales y contaminación por microplásticos en los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Folk, R.L y Ward, W.C. (1957) Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3-26.
- Folk, R.L. (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphil Publishing Company. Austin, Texas. USA., 170.
- Friedman, G. (1961) Distinction between Dune, Beach, and River sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31(4), 514-529.
- Friedman, G (1967) Dynamic process and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sand. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37(2), 327-354.

- García Palomo, A., Macías, J., Tolson, G., Valdez, R y Mora-Chaparro, J. (2002) Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, east-central sector of the Transmexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 41, 133-150.
- Gilbert, G.K. (1914) The Transportation of Debris by Running Water. U.S. Geological Survey, 86, 145-198.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, M. T., y Ferrari, L. (2005). Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 227-283.
- Hermenegildo-Ruiz, N. (2019) Geoquímica y geocronología de U-Pb en circones de la playa Chachalacas, Estado de Veracruz, Golfo de México: Implicaciones de Procedencia. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hossain, H.Z., Armstrong-Altrin, J.S., Jamil, A.H.M.N., Rahman, M.M., Hernández-Coronado, C.J., y Ramos-Vázquez, M.A. (2020) Microtextures quartz grains in the Kuakata beach, Bangladesh: Implications for provenance and depositional environment. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(7), 1-12
- Inman, D.L. (1952) Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 22 (3), 125-145.
- Kalinske, A.A. (1942) Criteria for determining sand-transport by surface-creep and saltation. *Transactions, American Geophysical Union*, 23 (2). 639
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A. y Rosales-Hoz, L. (1999) Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of México; implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*; 69 (5): 1003-1010.
- Kuenen, Ph, H. (1953) Significant Features of Graded Bedding. *American Association of Petroleum Geologists*, 37, 1044-1066.
- Kuenen, Ph.H. (1958) Problems Concerning Source and Transportation of Flysch Sediments. *Geologie en Mijnbouw*, 20, 329-339.
- Krumbein W.C. (1935) Thin-section mechanical analysis of indurated sediments. *The Journal of Geology*, 43(5), 482-496.
- Krumbein, W.C y Garrels, R.M. (1952) Origin and Classification of Chemical Sediments in Terms of pH and Oxidation- Reduction Potential. *The Journal of Geology* 60,1-33.
- Leighly, J. (1934) Turbulence and the Transportation of Rock Debris by Streams. *Transactions, American Geophysical*, 24, 453-464.
- Leopold, L.B. (1953) Downstream Change of Velocity in Rivers. *American Journal Science*, 251, 606-624.
- Lovell, T. (2013) Detrital zircon U-Pb age constraints on the provenance of the late Jurassic Norphlet Formation, Eastern Gulf of México: implications for paleogeography (MSc). University of Alabama, 8-27.

- Mahaney C. (2002). Atlas of sand grain surface textures and applications. Oxford University Press, New York, 26-137.
- Margolis, S., y Krinsley, D.H. (1974) Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. *American Journal of Science*, 74, 449–464.
- Márquez, A., Oyarzún, R., Doblás, M y Verma, S. (1999) Alkalic (oceanic island basalt type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican volcanic belt: A case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin. *Geology*, 27, 51-54.
- Marzolf, J. E. (1976). Sand-grain frosting and quartz overgrowth examined by scanning electron microscopy; the Navajo Sandstone (Jurassic), Utah. *Journal of Sedimentary Research*, 46(4), 906-912.
- Mejía-Ledezma, R.O., Kasper-Zubillaga, J.J., Álvarez-Sánchez, L.F., Mendieta-Lora, M., Arellano-Torres, E., Tetlalmatzi-Martínez, J.L., González-Bermúdez, A., Patiño-Andrade, D. y Armstrong-Altrin, J.S. (2020) Surface textures of quartz and ilmenite grains from dune and beach sands of the Gulf of Mexico Coast, Mexico: Implications for fluvial, aeolian and marine transport. *Aeolian Research*, 45, 100611
- Moila, R.J. y Weiser, D. (1968) Textural Parameters: An evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology*. 38 (1), 45-53.
- Monreal Gómez, M.A., Salas de León, D.A. y Gracia Gasca, A. (2004) Golfo de México, circulación y productividad. *Ciencias*, 76, 24-33.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. USA: Blackwell Publishing, 13, 234-340.
- Padilla, R. (2007). Evolución geológica del suroeste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59.
- Pérez Gutiérrez, R., Solari, L.A., Gómez Tuena, A. y Valencia, V.A. (2009) El terreno Cuicateco: cuenca oceánica con influencia de subducción del Cretácico Superior en el sur de México Nuevos datos estructurales, geoquímicos y geocronológicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26 (1), 222-242.
- 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*, 81(2), 153-158.
- Piña, A.B. (2009). Formación marcelina ambientes sedimentarios. Trabajo final. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Ciencias Geológicas Ambientes Sedimentarios.
- Pittman, E.D. (1972) Diagenesis of quartz in sandstones as revealed by scanning electron microscopy. *Journal of Sedimentary Research*, 42(3), 507-519.
- Powers, M.C., (1953) A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of sedimentary petrology*, 23, 117-119.
- Ramos Vázquez, M.A., y Armstrong-Altrin, J.S. (2021) Microtextures on quartz and zircon grain surfaces in the Barra del Tordo and Tesoro beaches, northwestern Gulf of Mexico. *Arabian Journal Geosciences*, 14, 949-961.

- Ramos-Vázquez, M.A., y Armstrong-Altrin, J.S. (2020) Provenance and palaeoenvironmental significance of microtextures in quartz and zircon grains from the Paseo del Mar and Bosque beaches, Gulf of Mexico. *Journal of Earth System Science*, 129(1), 1-16.
- Reyes-Gasga, J.,(2020). Breve reseña histórica de la microscopía electrónica en México. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*; 13(25).
- Rich, J.L. (1951) Three Critical Environments of Deposition and Criteria for Recognition of Rocks Deposited in Each of Them. *Geological Society of America Bulletin*, 62, 1-20.
- Rittenhouse, G. (1934) The transportation and Deposition of Heavy Minerals. *Geological Society of America Bulletin*, 54, 1725-1780.
- Selley, R.C. (1976) *An Introduction to Sedimentology*. Academic Press. New York, USA, 204-388.
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F. y Speed, R.C., (1993) Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. *USA: Geological Society of America*, 278, 22-29.
- Shepard, F.P. (1973) *Submarine geology*. 3th ed. Harper & Row. USA. 517
- Sherpard, F.P., Phleger, F.B and Van Andel, T.H., (1960) Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico. *Tulsa. American Association of Petroleum Geologists*, 111-117.
- Sherman D.J., Davis L. y Namikas S.L. (2013) *Sediments and Sediment Transport. Treatise on Geomorphology*. San Diego Academic Press, 1, 233-256.
- Suganraj, K., Singarasubramainian, S.R., Rajmohan, S., Sathya, A. y Sundararajan, M. (2013) Grain size statistical parameters of coastal sediments at Kameswaram, Nagapattinam district, east coast of Tamilnadu, India. *International Journal of Recent Scientific Research*, 4(2), 102-106
- Tamayo, J. L., (1991) *Geografía Moderna de México (4ta edición)*. México: Trillas, 25-73.
- Tapia-García, M., García-Abad, M.C., Carranza-Edwards, A., y Vázquez-Gutiérrez, F. (2007) Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica internacional*, 46(4), 249-260.
- Tapia-Fernández, H.J. (2018) *Sedimentología, petrografía y geoquímica de sedimentos del litoral sur del Golfo de México: Implicaciones sobre el ambiente de depósito y procedencia*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México
- Tapia-Fernández, H.J., Armstrong-Altrin, J.S y Selvaraj, K. (2017) Geochemistry and U-Pb geochronology of detrital zircons in the Brujas beach sands, Campeche, Southwestern Gulf of México, México. *Journal of South American Earth Sciences*, 76, 346-361.
- Tjeerd H. Van Andel (1963) Algunos aspectos de la sedimentación reciente en el Golfo de California. *Sociedad Geológica Mexicana*, 26, 85-94.
- Udden, J.A. (1898) *Mechanical composition of wind deposits*. Augustana Library. USA. 69.
- Velasco-de León, P., Arellano-Gil, J., Ortíz-Martínez, E.L., Lozano-Carmona, D.E., Domínguez-Trejo, I., Canales-García, I., y Carbot-Chanona, G., (2016) Paleontología y Geología de la Sierra Madre del Sur. *Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: Una Síntesis Preliminar*, 67-90.

Vega-Bautista, F. (2021). Granulometría y geoquímica de sedimentos detríticos de las playas Tecolutla y Coatzacoalcos del Golfo de México, México: Implicaciones de contaminación por metales pesados y su procedencia (Veracruz). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vos, K., Vandenberghe, N. y Elsen, J. (2014) Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. *Earth-Science Reviews*, 128, 93-104.

Wengler, M., Barboza-Gudiño, J.R., Thomsen, T.B., y Meinhold, G. (2019) Sediment provenance of Triassic and Jurassic sandstones in central Mexico during activity of the Nazas volcanic arc. *Journal of South American Earth Sciences*, 92, 329-349.

Wentworth, C. K. (1922) A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of geology* 30(5), 377-392

Weller, J.M., (1959) Compaction of Sediments. *American Association of Petroleum Geologists*, 43, 273-310.

Zavala-Hidalgo, J., Morey, S.L., y O'Brien, J.J. (2003) Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*, 108

Zhong, L., Li, G., Yan, W., Xia, B., Feng, Y., Miao, L., Zhao, J. (2017) Using zircon U-Pb ages to constrain the provenance and transport of heavy minerals within the northwestern shelf of the South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 134, 176-190.

Zobell, C.E. (1946) Studies on Redox Potential of Marine Sediments. *American Association of Petroleum Geologists*, 30, 477-513.