



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

**IMPLICACIONES DE TRANSPORTE Y PROCEDENCIA EN DUNAS
COSTERAS DEL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ:
ANÁLISIS MICROTURALES EN CUARZO E ILMENITA**

TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:

Roberto Omar Mejía Ledezma

TUTOR:

DR. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

COMITÉ TUTOR:

DR. RAYMUNDO GERARDO MARTÍNEZ SERRANO, INSTITUTO DE GEOFISICA
DRA. ANA MARÍA LIZETH CABALLERO GARCÍA, FACULTAD DE CIENCIAS
DR. MICHELANGELO MARTINI, INSTITUTO DE GEOLOGÍA
DR. JOSE LUIS SÁNCHEZ ZAVALA, INSTITUTO DE GEOLOGÍA

MÉXICO, CD. MX., OCTUBRE, 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**IMPLICACIONES DE TRANSPORTE Y PROCEDENCIA EN DUNAS
COSTERAS DEL CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ:
ANÁLISIS MICROTURALES EN CUARZO E ILMENITA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
**MAESTRO EN CIENCIAS
(GEOLOGÍA MARINA)**

PRESENTA:
ROBERTO OMAR MEJÍA LEDEZMA

TUTOR:
DR. JUAN JOSÉ KASPER ZUBILLAGA
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

COMITÉ TUTOR:
DR. RAYMUNDO GERARDO MARTÍNEZ SERRANO, INSTITUTO DE GEOFÍSICA
DRA. ANA MARÍA LIZETH CABALLERO GARCÍA, FACULTAD DE CIENCIAS
DR. MICHELANGELO MARTINI, INSTITUTO DE GEOLOGÍA
DR. JOSE LUIS SANCHEZ ZAVALA, INSTITUTO DE GEOLOGÍA

MÉXICO, CD. MX., OCTUBRE, 2023

AGRADECIMIENTOS

- Al posgrado en ciencias del mar y limnología.
- Al apoyo recibido a través de la beca CONACYT asignada a mi CVU de número 1045378.
- A mi tutor el Dr. Juan José Kasper Zubillaga por su apoyo, confianza y paciencia en la realización de este trabajo.
- A la Dra. Ana María Lizeth Caballero García por su apoyo y consejos como responsable de mi trabajo durante la ausencia del Dr. Kasper.
- A mi comité tutor, integrado por el Dr. Raymundo Gerardo Martínez Serrano, Dra. Ana María Lizeth Caballero García, Dr. Michelangelo Martini y Dr. José Luis Sánchez Zavala por su tiempo, sugerencias y paciencia durante la realización de esta tesis.
- A mi familia, por su apoyo incondicional y confianza.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Justificación.....	4
Objetivos.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	5
Hipótesis.....	5
Antecedentes.....	5
Marco teórico.....	8
Dunas.....	8
Ambientes litorales.....	12
Microtexturas.....	13
Área de estudio.....	28
Hidrología.....	28
Geología.....	30
Clima.....	32
Campos de dunas.....	32
Metodología y equipo.....	44
Recolección de muestras.....	44
Trabajo de laboratorio.....	46
Parámetros texturales.....	46
Análisis en MEB.....	49
Observación.....	50
Análisis de agrupamiento (dendrograma).....	50
Resultados.....	51
Análisis textural.....	51
Observación de imágenes MEB.....	53
Compendio y comparación de imágenes entre cuarzo e ilmenita.....	54
Resultados por localidad.....	67
Análisis multivariado.....	79
Comparación espacial de distribución de microtexturas.....	80
Comparación de distribución de microtexturas más abundantes.....	81
Discusión.....	90
Conclusiones.....	94
Referencias.....	96

Anexos	101
Anexo 1: Muestras y análisis textural.....	101
Anexo 2: Conteo de microtexturas del cuarzo	103
Anexo 3: Conteo de microtexturas de la ilmenita	109

Índice de tablas

Tabla 1. Localidades del área de estudio.....	28
Tabla 2. Tabla de tamaño de grano. Modificado de Udden (1914) y Wentworth (1922). ...	47
Tabla 3. Límites de la desviación estándar.....	48
Tabla 4. Límites del grado de asimetría.	48
Tabla 5. Límites de la kurtosis.....	49
Tabla 6. Escala de abundancia.....	53
Tabla 7. Escala de abundancia.....	53
Tabla 8. Porcentaje de microtexturas en Istirinchá (I) de cuarzo (C) e ilmenita (I).....	68
Tabla 9. Porcentaje de microtexturas en Lechuguillas (LE) de cuarzo (C) e ilmenita (I)....	69
Tabla 10. Porcentaje de microtexturas en El Morro (EM) de cuarzo (C) e ilmenita (I).....	70
Tabla 11. Porcentaje de microtexturas en Palma Sola (PS) de cuarzo (C) e ilmenita (I).	71
Tabla 12. Porcentaje de microtexturas en Boca Andrea (BA) de cuarzo (C) e ilmenita (I). 72	
Tabla 13. Porcentaje de microtexturas en Villa Rica (VR) de cuarzo (C) e ilmenita (I).	73
Tabla 14. Porcentaje de microtexturas en El Farallón (EF) de cuarzo (C) e ilmenita (I).....	74
Tabla 15. Porcentaje de microtexturas en La Mancha (LM) de cuarzo (C) e ilmenita (I). ..	75
Tabla 16. Porcentaje de microtexturas en Chachalacas (CH) de cuarzo (C) e ilmenita (I)..	76
Tabla 17. Abundancia de microtextura.....	78
Tabla 18. Microtexturas más abundantes por localidad.	79

Índice de figuras

Fig. 1. Componentes de las dunas (barlovento, cresta y sotavento). Fotografía tomada en la localidad de El Farallón.....	8
Fig. 2. Dunas embrión en la localidad de Villa Rica. Se puede observar vegetación en una de ellas.....	9
Fig. 3. Duna barján en Chipehua, Oaxaca. La dirección del viento es de derecha a izquierda. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.....	10
Fig. 4. Duna en localidad Concepción Bamba, Oaxaca. La dirección del viento es de izquierda a derecha. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.....	11
Fig. 5. Duna transversal en la localidad del El Moro, Veracruz. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.....	12
Fig. 6. Partes de la playa en la localidad El Morro (supraplaya, berma, mesoplaya e infraplaya).....	13
Fig. 7. Fracturas concooidales. Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	14
Fig. 8. Escalones arqueados (a) y rectos (b). Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	15
Fig. 9. Crestas meandricas (señaladas con una flecha). Imagen tomada de Vos et al. (2014).	15
Fig. 10. Superficie plana de clivaje.....	16
Fig. 11. Marcas en V (señaladas con la letra "b"). Imagen tomada de Vos et al. (2014). ...	16
Fig. 12. Surcos y estrías rectas o curvadas (señaladas por flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	17
Fig. 13. Laminas invertidas (señaladas con la letra "a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	18
Fig. 14. Marcas concéntricas (señaladas con la letra "a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	18
Fig. 15. Bordes de bulbo. Imagen tomada de Vos et al. (2014).	19
Fig. 16. Marcas de abrasión.....	20
Fig. 17. Estrías paralelas.....	20
Fig. 18. Huecos orientados triangulares (señalados con las letras "a", "b" y "c". Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	21
Fig. 19. Huecos de disolución. Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	22
Fig. 20. Grietas de disolución.....	22
Fig. 21. Glóbulos ("a"), flores ("b") y película ("c") de sílice. Imagen tomada de Vos et al. (2014).....	23
Fig. 22. Sobrecrecimiento mineral. Imagen tomada de Vos et al. (2014).	24
Fig. 23. Relieve alto (A y B), medio (C y D) y bajo (E y F).....	25
Fig. 24. Depresiones elongadas ("a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).	26
Fig. 25. Marcas de fricción (chattermarks).....	26
Fig. 26. Partículas adheridas (señaladas con flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).	27
Fig. 27. Fracturas poligonales (señaladas por flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).	27
Fig. 28. Mapa hidrológico y geológico. Modificado de Mejía-Ledezma et al. (2020).	31

Fig. 29. Mapa de climas dominantes. Modificado de García (1998).	32
Fig. 30. Localidades y campos de dunas: (A) Istirinchá; (B) Lechuguillas; (C) El Morro; (D) Palma Sola; (E) Boca Andrea; (F) Villa Rica; (G) El Farallón; (H) La Mancha; (I) Chachalacas.	34
Fig. 31. Playa de la localidad Istirinchá. Se observan pequeñas dunas embrionarias vegetadas y actividad antropocéntrica al fondo.....	35
Fig. 32. Duna barján vegetada(<1m) en la localidad Lechuguillas. La dirección del viento que moldeo la duna es perpendicular a la línea de costa.	36
Fig. 33. Dunas vegetadas (<1 m) en la localidad de El Morro.....	37
Fig. 34. Dunas en la localidad de Palma Sola. Se puede observar la FVTM al fondo.	38
Fig. 35. Dunas sin sotavento en la localidad de Boca Andrea.....	39
Fig. 36. Dunas en la localidad de Villa Rica. Se puede observar la FVTM al fondo.....	40
Fig. 37. Campo de dunas de El Farallón.....	41
Fig. 38. Duna transversal (>10 m) en la localidad de La Mancha.....	42
Fig. 39. Barlovento de una duna barján (>15 m) en la localidad de Chachalacas.....	43
Fig. 40. Tamaño de dunas. (A) Lechuguillas, (B) Istirinchá, El Morro, Palma Sola y Boca Andrea; (C) Villa Rica; (D) El Farallón; (E) La Mancha; (F) Chachalacas.....	43
Fig. 41. Mapa topográfico de la zona de estudio.....	44
Fig. 42. Formato de identificación para MEB. (1) corresponde a la localidad en donde fue recolectada la muestra; (2) tipo de mineral, siendo la letra “C” para el cuarzo e “I” para la ilmenita; (3) sub ambiente al que corresponde la muestra, “B” barlovento, “C” cresta, “S” sotavento, “M” mesoplaya e “I” infraplaya; (4) corresponde al número de la muestra.	45
Fig. 43. Muestras y portaobjetos para MEB.....	50
Fig. 44. Resultados de tamaño de grano.....	51
Fig. 45. Resultados de desviación estándar.	51
Fig. 46. Resultados del grado de asimetría.....	51
Fig. 47. Resultados de kurtosis.....	52
Fig. 48. Correlación entre tamaño de grano y clasificación.	52
Fig. 49. Contorno.....	55
Fig. 50. Fracturas concoidales.	56
Fig. 51. Escalones.....	57
Fig. 52. Crestas meándricas, superficies planas por fractura y marcas en V.....	58
Fig. 53. Surcos y estrías, láminas invertidas y marcas concéntricas.	59
Fig. 54. Bordos de bulbo, marcas de abrasión y estrías paralelas.....	60
Fig. 55. Huecos orientados, huecos de disolución y grietas de disolución.....	61
Fig. 56. Glóbulos, flores y película mineral.	62
Fig. 57. Sobrecrecimiento mineral.	63
Fig. 58. Relieve.....	64
Fig. 59. Depresiones elongadas, partículas adheridas y fracturas.	65
Fig. 60. Marcas de fricción.....	66
Fig. 61. Distribución de cuarzo e ilmenita a lo largo de la zona de estudio.....	67
Fig. 62. Comparación de abundancia de microtexturas mecánicas.....	80
Fig. 63. Comparación de abundancia de microtexturas químicas.	81

Fig. 64. Comparación de abundancia de microtexturas mecánico-químicas.	81
Fig. 65. Distribución de contorno angular y contorno redondeado.	82
Fig. 66. Distribución de escalones arqueados y crestas meándricas.	82
Fig. 67. Distribución de huecos de disolución y glóbulos.	83
Fig. 68. Distribución de relieve bajo y relieve alto.	83
Fig. 69. Agrupamiento a partir del cuarzo.	86
Fig. 70. Agrupamiento a partir de la ilmenita.	87
Fig. 71. Agrupamiento a partir de microtexturas más abundantes en el cuarzo.	88
Fig. 72. Agrupamiento a partir de microtexturas más abundantes en la ilmenita.	89

Resumen

El estudio de microtexturas consiste en la observación de granos de sedimento a través de un microscopio electrónico de barrido (SEM) para la identificación de ciertas características que, a lo largo de los años, se han relacionado con cierto tipo de transporte o de ambiente de depósito. Esta técnica ha sido ampliamente usada en granos de cuarzo debido a su dureza y resistencia al intemperismo para determinar el medio de transporte por el cual han pasado los granos de sedimento.

La zona central del Estado de Veracruz, México, cuenta con campos de dunas de diferentes tamaños distribuidos a lo largo de la línea de costa, en los cuales se pueden encontrar acumulaciones de minerales pesados provenientes de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Lo anterior, aunado a la geomorfología de la zona de estudio, permite diferenciarlos tres grupos de localidades, siendo el primer grupo conformado por las localidades del norte, en donde el impacto de las actividades antropocéntricas no permite el crecimiento de los campos de dunas al obstruir el paso de la arena hacia el continente. El segundo conformado por las localidades ubicadas directamente en la FVTM, las cuales tienen influencia directa del material desprendido de los basaltos pertenecientes a la faja y por la similitud de su geomorfología con las localidades del norte, es decir, con campos de dunas poco desarrollados y con dunas de menos de un metro de altura. Finalmente, el tercer grupo identificado es el conformado por las localidades del sur, en donde debido a la geomorfología de la zona y al bajo impacto de actividad antropocéntrica, los campos son de gran tamaño con dunas de hasta veinte metros de altura. Lo anterior se identificó a partir de las microtexturas encontradas en los granos de cuarzo e ilmenita que conforman las dunas en cada una de las localidades y que se utilizaron para determinar medios de transporte y de ambientes de depósito a través de la observación de las microtexturas encontradas en ellos. Lo anterior permitió comprobar que las microtexturas se manifiestan de igual manera en ambos minerales a pesar de las diferencias en su dureza y resistencia al intemperismo.

Abstract

The study of microtextures consists of the observation of sediment grains using a scanning electron microscope (SEM) for the identification of certain characteristics related to a certain type of transport or depositional environment. This technique has been developed from the observation of sediment grains over the years, and has been widely used in quartz grains due to its hardness and weather resistance to determine the types of transport through which the sediment grains have passed.

The central region of the State of Veracruz, Mexico, has sand dune fields of various sizes distributed along the coastline, where accumulations of heavy minerals originating from the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) can be found. This, coupled with the geomorphology of the study area, allows for the differentiation of three groups of localities. The first group consists of northern localities, where the impact of anthropocentric activities obstructs the growth of sand dune fields by blocking the movement of sand towards the mainland. The second group is comprised of localities directly situated within the TMVB, which are influenced by the material released from the basaltic rocks belonging to the belt. These localities share similarities in geomorphology with the northern ones, characterized by underdeveloped sand dune fields and dunes measuring less than one meter in height. Finally, the third group identified encompasses the southern localities, where the area's geomorphology and limited anthropocentric impact result in large sand dune fields with dunes reaching heights of up to twenty meters.

The aforementioned distinctions were identified based on the microtextures found in the quartz and ilmenite grains that form the dunes in each locality. These microtextures were used to determine transportation methods and depositional environments through the observation of the microtextures present in the grains. This analysis revealed that the microtextures manifest similarly in both minerals despite differences in their hardness and weather resistance.

Introducción

A lo largo de la costa de la región central del Estado de Veracruz se pueden encontrar campos de dunas de distintos tamaños con una tendencia de crecimiento hacia el sur. En los campos se observan dunas de tipo barján, parabólicas y transversales de diversos tipos (Kasper-Zubillaga y Dickinson, 2001), formadas por el suministro de arena generada por erosión de terrenos sedimentarios y/o denudación de rocas cristalinas y por la dirección e intensidad del viento, el cual varía a lo largo del año, siendo más intenso durante la temporada de nortes.

Dentro de estos campos de dunas el cuarzo es el mineral más abundante, no obstante, debido a la presencia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), los campos de dunas cuentan también con aporte de material de origen volcánico (Ferrari *et al.*, 2005; Gómez-Tuena *et al.*, 2007; Armstrong-Altrin *et al.*, 2012), por lo cual, minerales pesados como la ilmenita se concentran también en playas y dunas costeras. Los minerales pesados han sido usados como trazas para determinar procedencia y transporte a través de la costa debido a su resistencia (Babu *et al.*, 2007).

A pesar de ser minerales con propiedades físicas y hábito cristalino diferentes el cuarzo y la ilmenita se depositan de forma simultánea por la equivalencia hidráulica entre ambos minerales (cuarzo= 260 km^{-3} e ilmenita= 470 km^{-3}) (Tourtelot 1967; Armstrong-Altrin *et al.*, 2012; Garzanti *et al.*, 2015; Mendieta-Lora *et al.*, 2018; Garzanti y Ando, 2019; Mejía-Ledezma *et al.*, 2020; Armstrong-Altrin *et al.*, 2021; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2022). Esto implica que los procesos por los que pasan ambos minerales hasta ser depositados en la duna son similares, sin embargo, debido a que en la zona de estudio se pueden encontrar múltiples ríos perenes, arroyos intermitentes, lagunas, acción del oleaje y del viento, es necesario analizar de forma separada los granos de ambos minerales para comparar la información obtenida, por lo cual se optó por el estudio de microtexturas presentes en los granos a través de un microscopio electrónico de barrido (SEM).

Una microtextura es una impresión formada por la interacción del grano con el medio al que es expuesto, por lo cual existen microtexturas mecánicas, químicas y mecánico-químicas. Su estudio a través de su observación permite conocer los medios a los cuales ha estado expuesto un grano de sedimento, por lo cual, han sido ampliamente usadas para determinar los medios de transporte, energía y efectos del intemperismo químico (Krinsley y Doornkamp, 1968;

Krinsley y Donahue, 1968; Kasper-Zubillaga *et al.*, 2005; Moral-Cardona *et al.*, 2005; Kasper-Zubillaga y Faustinos-Morales, 2007; Velbel *et al.*, 2007; Itamiya *et al.*, 2019).

Las microtexturas en el cuarzo se han reportado de forma más frecuente por su abundancia, dureza y estabilidad (Krinsley y Donahue, 1968; Krinsley y Doornkamp, 1968; Krinsley y Cavallero, 1970; Krinsley *et al.*, 1976; Krinsley y Marshall, 1987; Costa *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2019; Itamiya *et al.*, 2019).

Justificación

El estudio de microtexturas para la determinación de medios de transporte es una técnica que ha ido evolucionando desde la década de los sesentas y que se ha expandido lentamente alrededor del mundo. Debido a su poca difusión, resulta complicado encontrar una guía para su identificación, por lo cual, este trabajo aporta una guía descriptiva y visual de 30 microtexturas tanto en cuarzo como en ilmenita, un mineral con una densidad, resistencia y dureza mayor que el cuarzo. Además, los resultados de esta investigación proporcionan la descripción de los factores físicos y químicos que producen las microtexturas encontradas en la ilmenita para la identificación de los procesos por los que han pasado los sedimentos hasta su deposición en las dunas.

Objetivos

Objetivo general

Identificar las microtexturas presentes en granos de cuarzo e ilmenita de las playas y dunas costeras del centro de Veracruz, y a partir de ellas, proponer los medios de transporte y ambientes a los cuales han estado expuestos los granos de sedimento.

Objetivos específicos

- Observar y clasificar las microtexturas presentes en granos de cuarzo e ilmenita de las playas y dunas del centro del Estado de Veracruz.
- Realizar una base de datos sobre las microtexturas predominantes en los granos de cada una de las localidades muestreadas.
- Realizar una comparativa visual entre las microtexturas encontradas en los granos de cuarzo y las encontradas en la ilmenita.
- Comparar la distribución de microtexturas entre los granos de cuarzo e ilmenita, para determinar las diferencias entre ambos minerales en cuanto a su transporte y capacidad para preservar microtexturas indicativas del mismo.

Hipótesis

Las microtexturas en los granos de cuarzo e ilmenita que conforman las dunas de la costa central de Veracruz reflejan el medio de transporte por el cual los minerales llegan a las costas desde el continente, son depositados en las playas por el oleaje y finalmente transportados por el viento hacia las dunas.

Antecedentes

Krinsley y Donahue (1968) observaron más de 4000 granos de cuarzo a través del microscopio electrónico de barrido y demostraron que existen características específicas en los granos las cuales dependen del ambiente al que han estado expuestos, su transporte y depósito. A través del estudio de estas características, dichos autores clasificaron las microtexturas en origen litoral, eólico, glacial y diagenético, además de combinaciones en las microtexturas encontradas. De igual manera, reportaron que el transporte fluvial no forma microtexturas características distintivas en los granos de cuarzo.

Krinsley y Doornkamp (1968) realizaron una compilación de microtexturas encontradas en granos de cuarzo con la finalidad de agruparlas para facilitar su identificación.

Mahaney (2002) realizó un atlas de imágenes de microtexturas en granos de arena colectados en diversas localidades del mundo, el cual ofrece información detallada en cuanto a cada

microtextura, el cómo identificarlas, el ambiente que las formaron y su aplicación en otros ámbitos de la Geología. Su trabajo se considera una actualización al atlas microtextural publicado por Krinsley y Doornkamp de 1968.

Moral-Cardona *et al.* (2004) realizaron estudios microtexturales en minerales pesados y cuarzo y concluyeron que, independientemente de su equivalencia hidráulica y sistema de cristalización, se tendrán microtexturas comunes en minerales ligeros y pesados.

Madhavaraju *et al.* (2009) realizaron un estudio de microtexturas a través de la observación de imágenes de un microscopio electrónico de barrido, con la finalidad de determinar la procedencia y la historia de depósito de las arenas costeras del golfo de California, específicamente de las playas de Bahía Kino y Puerto Peñasco. En su estudio pudieron diferenciar 32 microtexturas distintivas, que fueron clasificadas de acuerdo con su origen, siendo 18 de tipo mecánico, 7 microtexturas químicas y 5 mecánicos-químicas. Con su análisis concluyeron que los sedimentos encontrados en la playa de Puerto Peñasco fueron transportados por procesos fluviales y eólicos y posteriormente depositados en el ambiente marino. Por su parte, los sedimentos encontrados en Bahía Kino fueron transportados por procesos fluviales y en menor medida procesos eólicos.

Garzanti *et al.* (2012) realizaron un estudio petrográfico y caracterización de minerales pesados para determinar todos los factores que intervienen en el transporte de sedimentos, desde el río Orange al sur de Namibia hasta que se acumulan en el erg del desierto. Determinaron que a pesar de la distancia que los granos recorren el cambio en la mineralogía era mínimo, ya que el porcentaje de líticos volcánicos y piroxenos se mantenía igual a lo largo del trayecto, mientras que el contenido de cuarzo y granate sí presentaba un ligero incremento. Con sus resultados concluyeron que los estudios petrográficos y de minerales pesados son herramientas útiles para determinar la procedencia sedimentaria en regiones áridas y de baja alteración química.

Costa *et al.* (2013) realizaron una comparación entre microtexturas encontradas en granos de cuarzo recolectados en dunas costeras de la región sur de Portugal y esferas de cristal (>70% SiO₂) que fueron mezcladas con arena de playa en una proporción de 33% y 66% respectivamente y después colocadas en un túnel de viento construido en laboratorio. En su experimento concluyeron que el transporte eólico, durante cortos periodos de tiempo y

distancias cortas es suficiente para imprimir marcas de abrasión significativas, el aumento de dichas marcas se incrementará con respecto a la velocidad del viento (superficies de fractura, fracturas y marcas de abrasión). Los autores no encontraron presencia de bordes de bulbo debido a que se utilizaron esferas de vidrio desde un inicio.

Vos *et al.* (2014) realizaron un estudio de microtexturas en 1300 granos de cuarzo provenientes de distintas partes del mundo y ambientes de depósito (fluvial, marino, eólico y glaciar). Observaron los granos de sedimento a través de un microscopio electrónico de barrido con la finalidad de observar las microtexturas presentes en cada grano. Su trabajo permitió la identificación de microtexturas características de cada ambiente en los granos de sedimento.

Garzanti *et al.* (2015) realizaron un estudio sedimentario donde monitorearon la distribución de minerales a lo largo de 1750 km de la costa de Namibia y la región sur de Angola, con la finalidad de determinar la durabilidad relativa de los minerales presentes ante un transporte largo y de alta energía. El monitoreo se llevó a cabo a través de análisis de granulometría, microscopía óptica, microscopía Raman y estudios de geoquímica. Su estudio concluyó que los efectos mecánicos son incapaces de modificar la abundancia de los detritos, incluyendo el piroxeno y los fragmentos líticos de roca, que tradicionalmente se piensa son destruidos rápidamente y son redondeados más rápido en comparación con el cuarzo. Además, se determinó que no hubo incremento en la redondez de los granos a pesar de que son transportados entre 300 y 350 km en un ambiente costero de alta energía.

Makvandi *et al.* (2015) realizaron la observación de microtexturas presentes en granos de magnetita recolectados de las fracciones ferromagnéticas de rocas y sedimentos glaciares, de los depósitos de sulfuros ubicados en el lago Izok (Nunavut, Canadá), con la finalidad de determinar si las microtexturas observadas pueden ser usadas para identificar la naturaleza de la roca madre, determinar los medios de transporte y estimar la distancia recorrida. Determinaron que en las muestras obtenidas de la roca madre, la morfología del grano y sus microtexturas están determinadas por las condiciones de formación. Por su parte, en el lago están determinadas por el ambiente y reemplazamiento mineral.

Mendieta-Lora *et al.* (2018) realizaron un estudio sobre los índices de meteorización de la arena de playas y dunas del centro del Estado de Veracruz, a través del análisis de 30 muestras de arena que fueron sometidas a estudios de CIA, CIW, PIA y WIP. Además, realizaron estudios de fluorescencia de rayos X para determinar la composición mineral de la arena. También efectuaron estudios de granulometría, redondez y un conteo modal para determinar la distribución a lo largo de la costa de los minerales encontrados (cuarzo, líticos volcánicos, fragmentos biógenos e ilmenita).

Marco teórico

Dunas

Las dunas se definen como una estructura sedimentaria formada por acción del viento sobre los sedimentos. Son generalmente móviles, pero pueden anclarse por un obstáculo topográfico o por vegetación. Generalmente se componen por: barlovento, cresta y sotavento (Fig. 1), aunque algunos tipos de duna pueden no tener sotavento.



Fig. 1. Componentes de las dunas (barlovento, cresta y sotavento). Fotografía tomada en la localidad de El Farallón.

Comúnmente se presentan en grupos llamados campos de dunas, en los cuales pueden existir diferentes tipos de dunas formadas por variaciones en la dirección e intensidad del viento. La

forma y tamaño de los campos de dunas es determinado por: el viento, características geomorfológicas de la zona, cantidad de sedimento disponible y recientemente por la creciente actividad humana, la cual frena la acumulación de sedimento en las costas con construcciones enfocadas en el aprovechamiento económico de las playas (Nordstrom, 2001).

Las dunas se clasifican de acuerdo a su forma, la cual está dada por la dirección del viento, suministro de sedimento y por la dirección de sus caras (Wasson y Hyde, 1983). Algunos tipos de dunas son:

Embrión

Son pequeñas acumulaciones de arena incipientes de poca altura (< 1m) que representan el primer paso en la formación de dunas (Fig. 2). Generalmente se encuentran colonizadas por flora local (García-Prieto *et al.*, 2009).



Fig. 2. Dunas embrión en la localidad de Villa Rica. Se puede observar vegetación en una de ellas.

Barján

Se forman por acción del viento con una sola dirección dominante y un aporte bajo de sedimentos. Tienen forma similar a la letra “U”, en donde el viento golpea sobre el frente de la duna formando el barlovento y estirando los flancos de esta (Fig. 3).



Fig. 3. Duna barján en Chipehua, Oaxaca. La dirección del viento es de derecha a izquierda. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.

Parabólicas

Similares en su forma y formación a las de tipo Barján, sin embargo, requieren de mayor energía por parte del viento, para que, al golpear el frente de la duna, no sean los flancos los que se estiren, sino que sea el barlovento el que sea empujado, formando por así decirlo, una duna Barján al revés (Fig. 4).



Fig. 4. Duna en localidad Concepción Bamba, Oaxaca. La dirección del viento es de izquierda a derecha. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.

Transversales

Se forman por la unión de un conjunto de crestas cuando el suministro de arena es abundante y el viento tiene intensidad variable. En ellas, el viento golpea de forma perpendicular a la línea de crestas alargando la duna, y al tener velocidades y direcciones variables, golpea de forma irregular obteniendo una forma ondulada (Fig. 5).



Fig. 5. Duna transversal en la localidad del El Moro, Veracruz. Foto de J.J. Kasper Zubillaga.

Ambientes litorales

Es la zona que separa los ambientes continentales de los marinos, está sujeta a la acción de diversos agentes dinámicos y a sus cambios. La dinámica costera y procesos sedimentarios están condicionados a corto plazo por factores como la orientación de la costa y condiciones oceanográficas como la anchura y pendiente de la plataforma frente a la costa. A largo plazo, los factores implicados son: la disponibilidad de sedimento, es decir, el aporte de material para la acumulación; contexto tectónico; cambios en el nivel del mar, que determinan que zonas quedan expuestas a la atmósfera y la creciente acción antropogénica (Arche, 2010).

Las zonas de los ambientes litorales se diferencian en función de los rasgos de mareas que las afectan, dividiendo a la playa en: infrapaya, la parte cubierta por el mar y delimitada por el nivel de base del oleaje; mesoplaya, parte expuesta a la atmósfera, delimitada por el nivel

del oleaje y la berma; supraplaya, la parte posterior a la berma, regularmente seca (Fig. 6) (Cartaya *et al.*, 2005).



Fig. 6. Partes de la playa en la localidad El Morro (supraplaya, berma, mesoplaya e infraplaya).

Microtexturas

Las microtexturas son marcas presentes en los granos de mineral que pueden aportar información sobre los diferentes procesos que intervienen durante su transporte y después de su deposición. Los criterios para diferenciar el origen de cada microtextura están bien establecidos debido a su amplio uso (Kransley y Doornkamp, 1968; Madhavaraju *et al.*, 2009; Vos *et al.*, 2014; Mejía-Ledezma *et al.*, 2020).

Para este trabajo se consideraron las siguientes microtexturas, clasificadas de acuerdo con su origen en, mecánicas, químicas y mecánico-químicas, y cuyas definiciones fueron tomadas a partir del trabajo de Vos *et al.* (2014) en granos de cuarzo:

De origen mecánico:

Grain outline / Contorno del grano: Se refiere a la angulosidad o redondez del contorno del grano de mineral, se subdivide en: anguloso, subanguloso y redondeado.

Conchoidal fractures / Fracturas concooidales: Son patrones curvados que se forman cuando se rompe el grano de mineral. Se clasifican de acuerdo con su tamaño en: grandes ($>100\mu\text{m}$), medianas ($<100\mu\text{m}$) y pequeñas ($<10\mu\text{m}$) (Fig. 7).

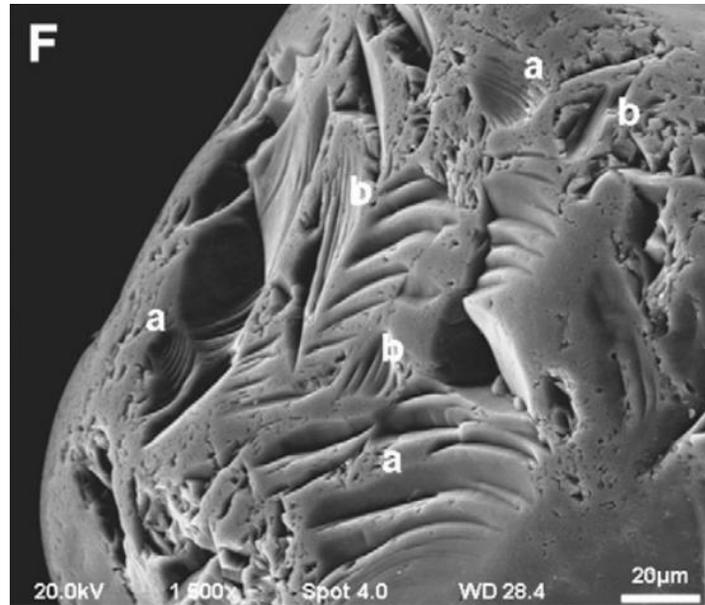


Fig. 7. Fracturas concooidales. Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Arcuate and straight steps / Escalones arqueados y rectos: Son marcas características formadas junto con las fracturas concooidales. Se presentan como escalones de muy poca altura y separados entre sí por pocas micras. Como su nombre lo indica, pueden ser curvados o rectos (Fig. 8).

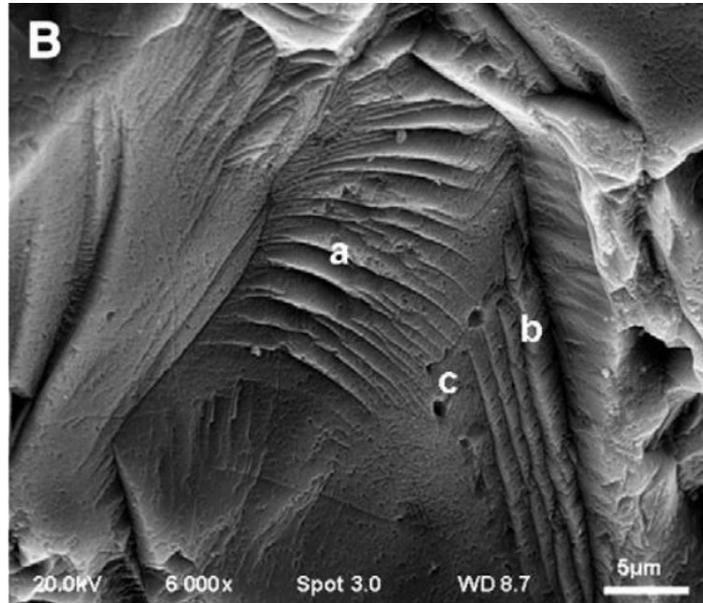


Fig. 8. Escalones arqueados (a) y rectos (b). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Meandering ridges / Crestas meándricas: Es una microtextura formada por la unión de los límites de las fracturas concoidales y marcas de impacto que se distribuyen a lo largo del grano de mineral, semejando a los meandros de un río (Fig. 9).

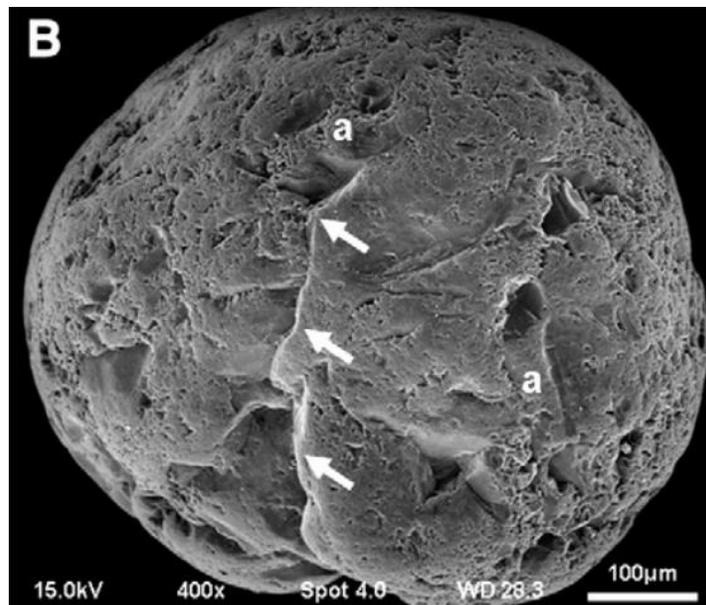


Fig. 9. Crestas meandricas (señaladas con una flecha). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Flat cleavage surfaces / Superficies planas de clivaje/crucero: Son superficies lisas que se forman por la ruptura del grano. Se pueden formar por presión o impacto (Fig. 10).

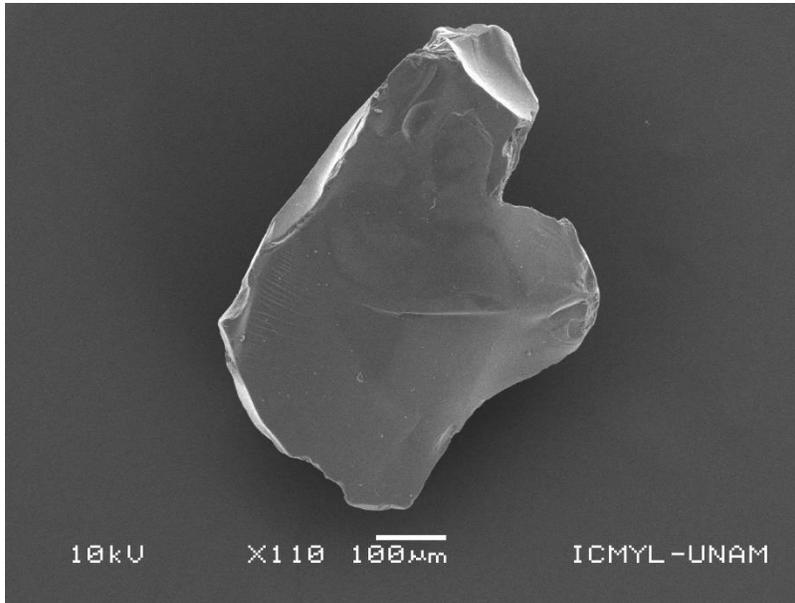


Fig. 10. Superficie plana de clivaje.

V-shaped percussion cracks / Marcas en V: Son depresiones de forma semejante a la letra V, se forman por el impacto del grano con otros granos angulosos. Se producen principalmente en ambientes subacuáticos de alta energía, como por ejemplo la zona litoral y en ríos. Además, son comunes en dunas costeras (Fig. 11).

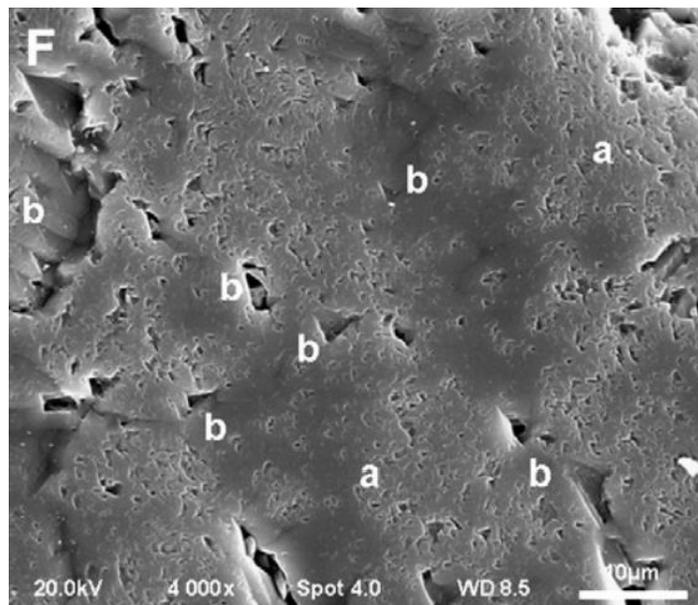


Fig. 11. Marcas en V (señaladas con la letra "b"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Straight or curved grooves and scratches / Surcos y estrías rectas o curvadas: Son marcas que se forman por el roce entre granos angulosos, en donde la energía debe de ser la suficiente para permitir que uno de los granos deje marcas en el otro, por ejemplo, en la zona litoral. Son menos comunes que las marcas en V (Fig. 12).

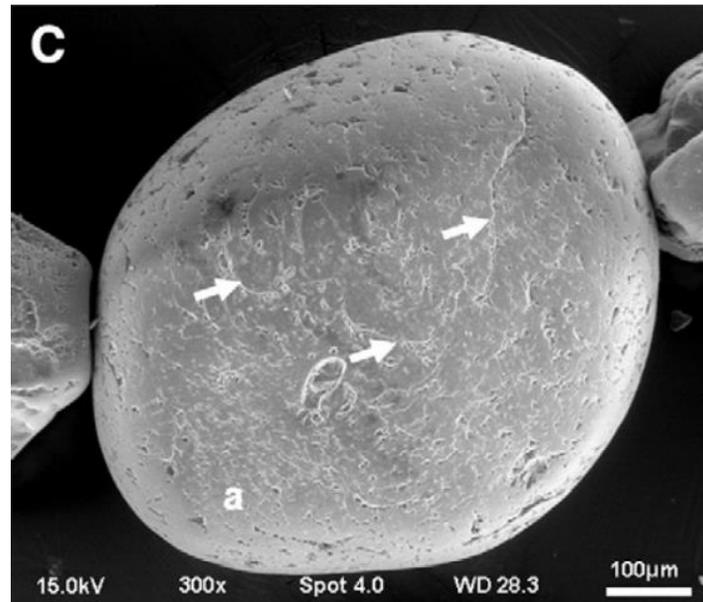


Fig. 12. Surcos y estrías rectas o curvadas (señaladas por flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Upturned plates / Láminas invertidas: Son una serie de láminas delgadas y paralelas de tamaño variable, orientadas en algún ángulo en la superficie del grano y formadas por impactos de alta energía (Fig. 13).

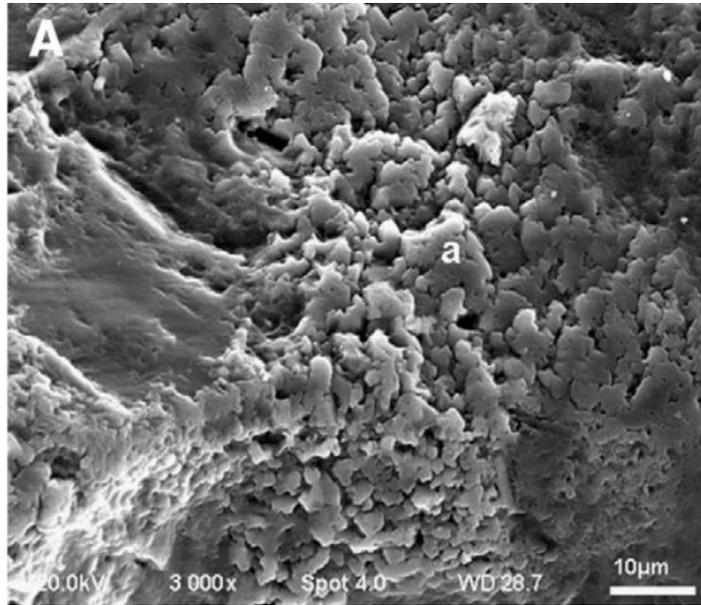


Fig. 13. *Laminas invertidas* (señaladas con la letra "a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Crescentic percussion marks / Marcas concéntricas: Son marcas en forma de media luna que se forman por el impacto con granos redondeados. Son marcas típicas en ambientes eólicos y en granos de tamaños mayores a 150 µm (Fig. 14).

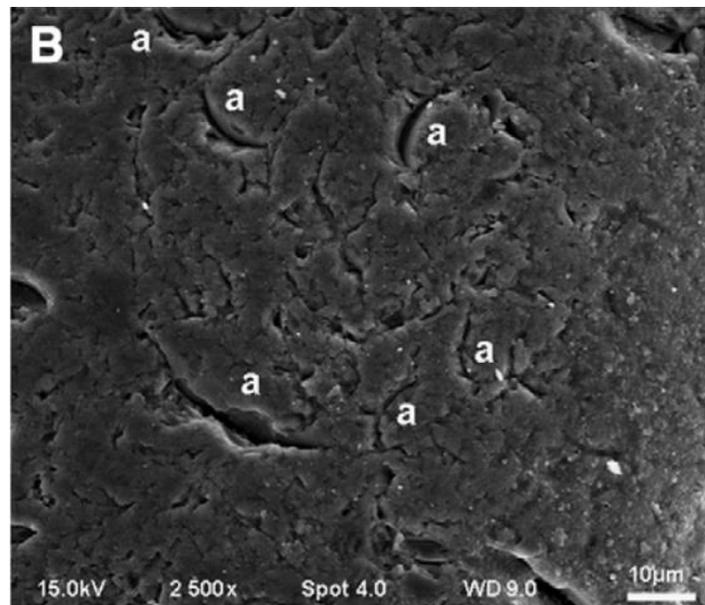


Fig. 14. *Marcas concéntricas* (señaladas con la letra "a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Bulbous edges / Bordes de bulbo: Son bordes prominentes y redondeados que semejan bulbos. Se forman por la rotación de granos cuando son transportados por saltación durante el transporte eólico (Fig. 15).

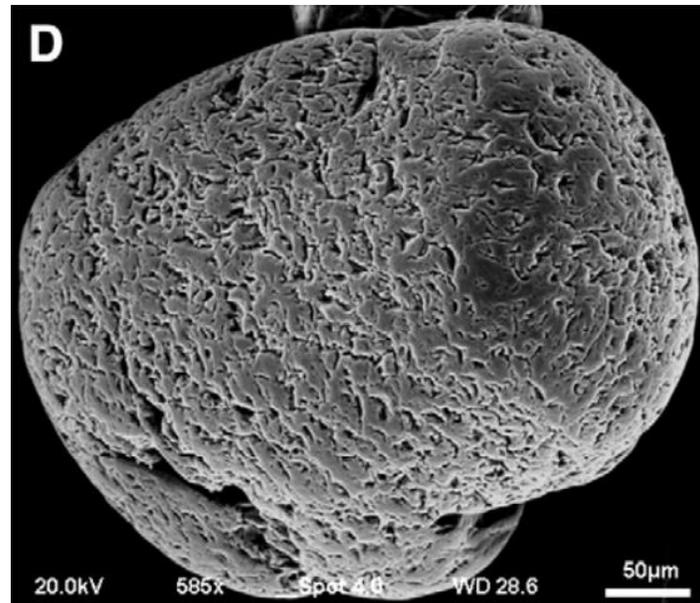


Fig. 15. Bordes de bulbo. Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Abrasion fatigue / Marcas de abrasión: Son partes en la superficie del grano en las que se puede observar fracturas y desgaste producido por impactos de alta energía. Es una textura indicativa de ambientes eólicos (Fig. 16).

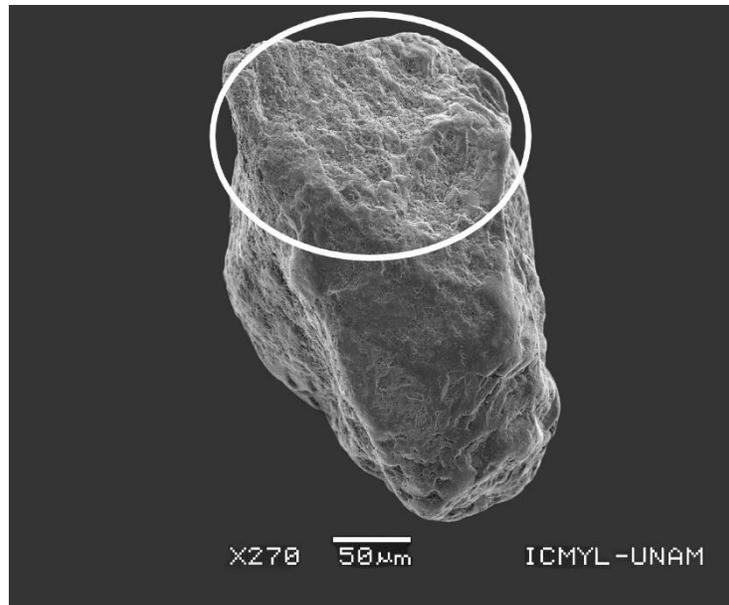


Fig. 16. Marcas de abrasión.

Parallel striations / Estrias paralelas: Son estrías formadas por el roce de bordes angulosos de un grano sobre otro, se diferencian de las straight grooves por presentarse de forma paralela (Fig. 17).

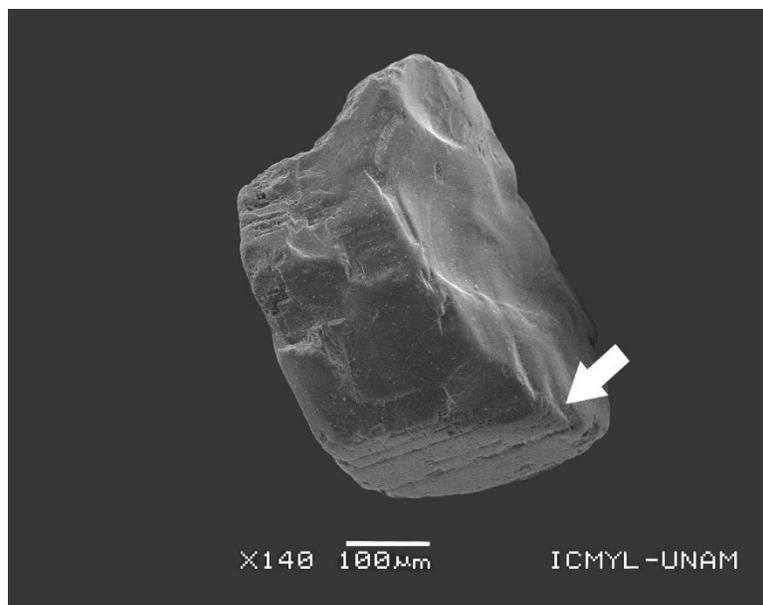


Fig. 17. Estrias paralelas.

De origen químico:

Oriented etch pits / Huecos orientados: Son huecos de forma muy regular, de tamaños variados y que se encuentran alineados siguiendo la orientación cristalográfica del grano. Son formados por disolución (Fig. 18).

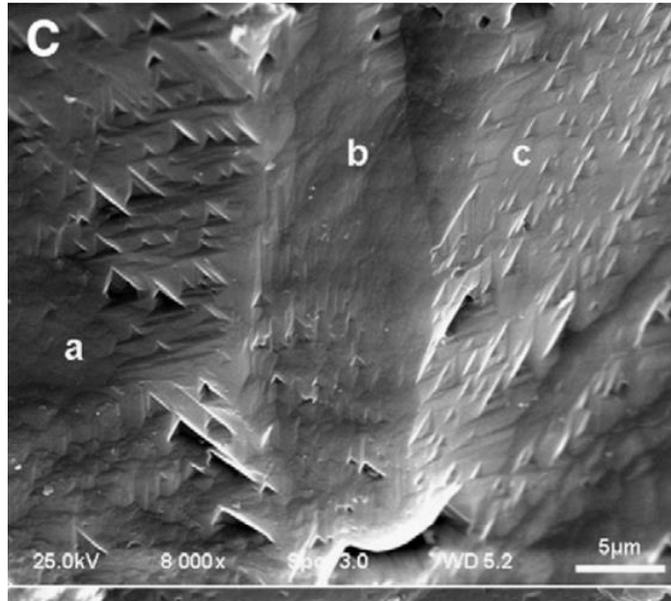


Fig. 18. Huecos orientados triangulares (señalados con las letras "a", "b" y "c". Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Solution pits / Huecos de disolución: Son, como su nombre lo indica, huecos producidos por la disolución del grano al entrar en contacto con algún medio corrosivo, como por ejemplo el agua de mar o incluso suelos con pH alcalino (Fig. 19).

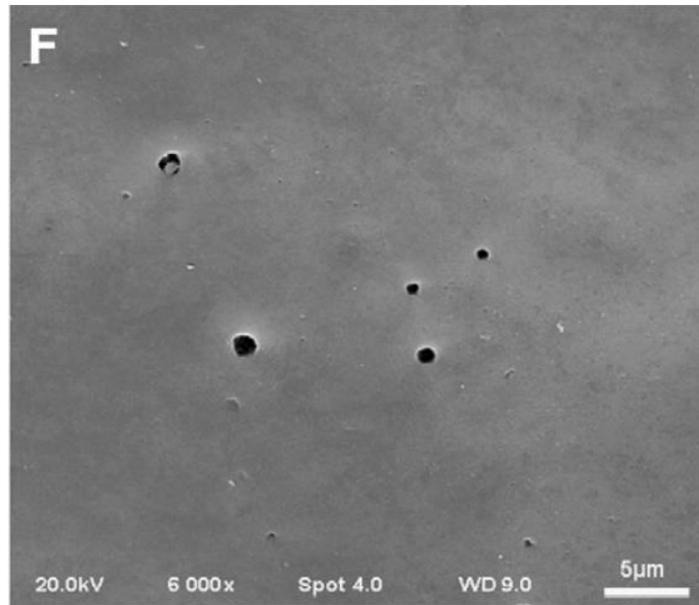


Fig. 19. Huecos de disolución. Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Solution crevasses / Grietas de disolución: Tienen el mismo origen que los huecos de disolución, pero se presentan en forma de grietas con profundidades y longitudes variables (Fig. 20).

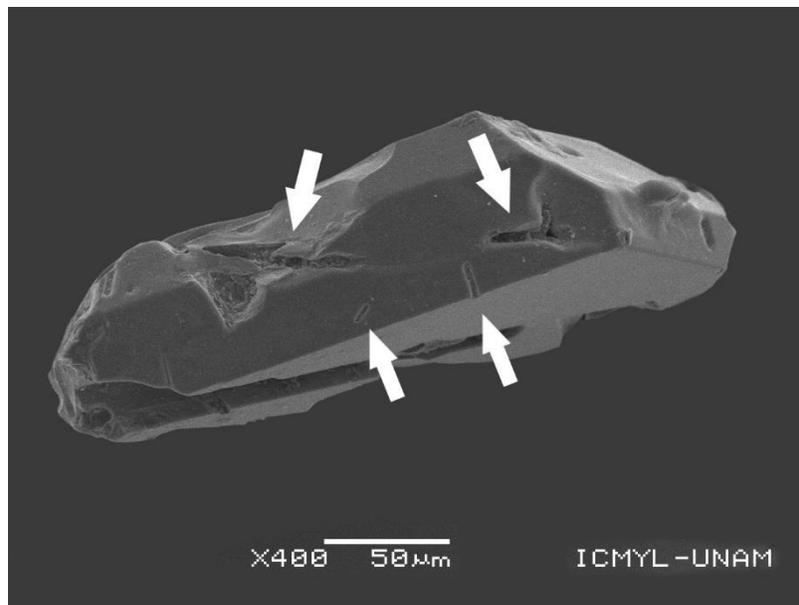


Fig. 20. Grietas de disolución.

Globules / Globulos: Son similares a gotas circulares o semicirculares que se forman cuando el grano entra en contacto con fluidos saturados de algún mineral en ambientes de baja energía. Usualmente se forman de sílice (Fig. 21 a).

Flowers / Flores: Son el producto de que varios glóbulos de sílice se junten, dando como resultado estructuras similares a flores. Al igual que los glóbulos, se forman en ambientes de baja energía y son usualmente de sílice (Fig. 21 b).

Pellicle / Película mineral: Es una capa de mineral precipitado en la superficie del grano. Se forma por la conjunción de muchos glóbulos y flores de mineral (Fig. 21 c).

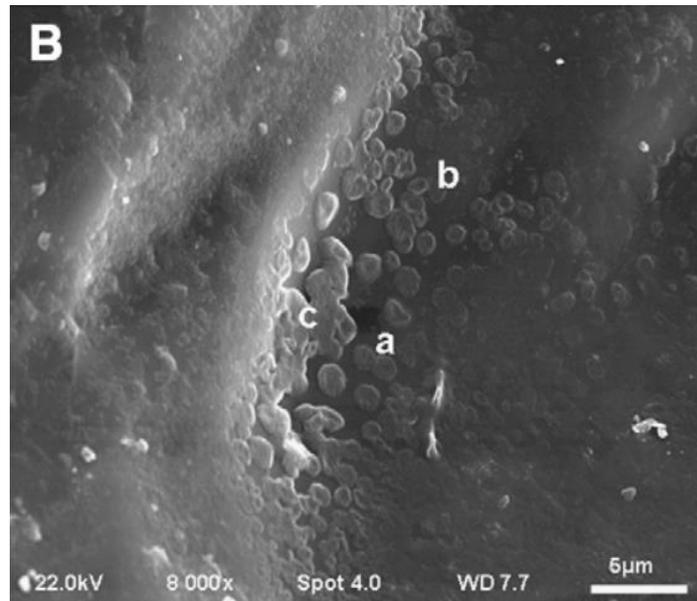


Fig. 21. Glóbulos ("a"), flores ("b") y película ("c") de sílice. Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Crystalline overgrowths / Sobrecrecimiento mineral: Son como su nombre lo indica, sobrecrecimientos de mineral, usualmente se encuentran en las primeras etapas como una delgada capa con el hábito cristalino del mineral (Fig. 22).

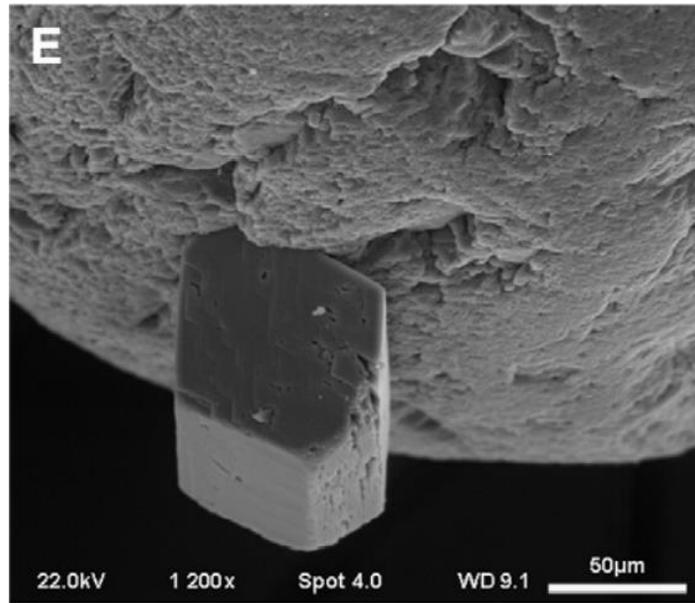


Fig. 22. Sobrecrecimiento mineral. Imagen tomada de Vos et al. (2014).

De origen mecánico-químico:

Relief / Relieve: Describe que tan abrupto o suave es el relieve de grano. Se clasifica en relieve alto (Fig. 23, A y B), medio (Fig. 23, C y D) y bajo (Fig. 23, E y F).

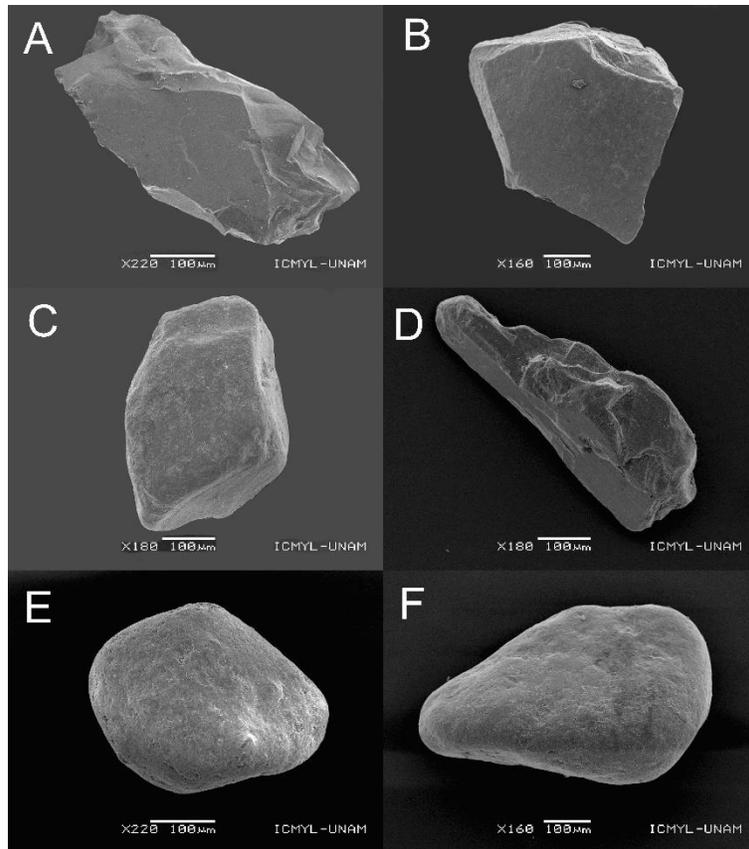


Fig. 23. Relieve alto (A y B), medio (C y D) y bajo (E y F).

Elongated depressions / Depresiones elongadas: Son depresiones con formas semejantes a platos y cuyos tamaños varían en relación al tamaño del grano. Es común encontrarlas suavizadas por precipitaciones de mineral y su formación se atribuye a transporte eólico de alta energía (Fig. 24).

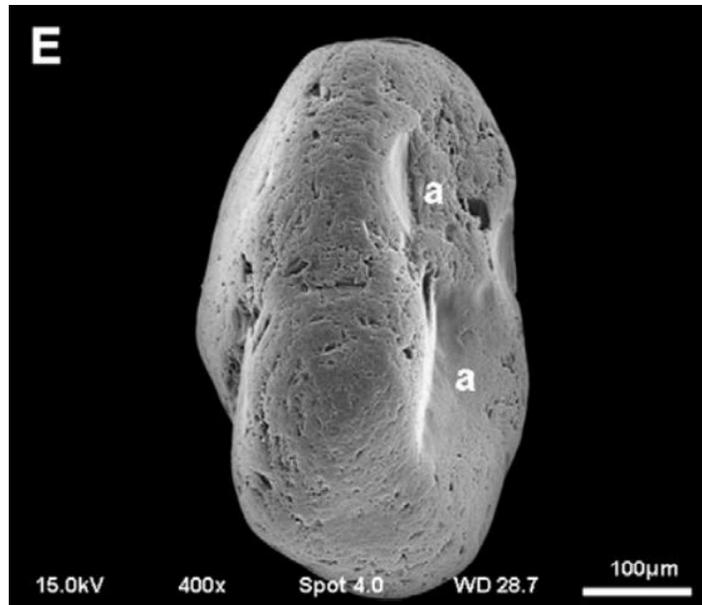


Fig. 24. Depresiones elongadas ("a"). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Chattermarks / Marcas de fricción: Son una serie de marcas con forma de media luna alineadas y orientadas en forma aleatoria en la superficie del grano (Fig. 25).

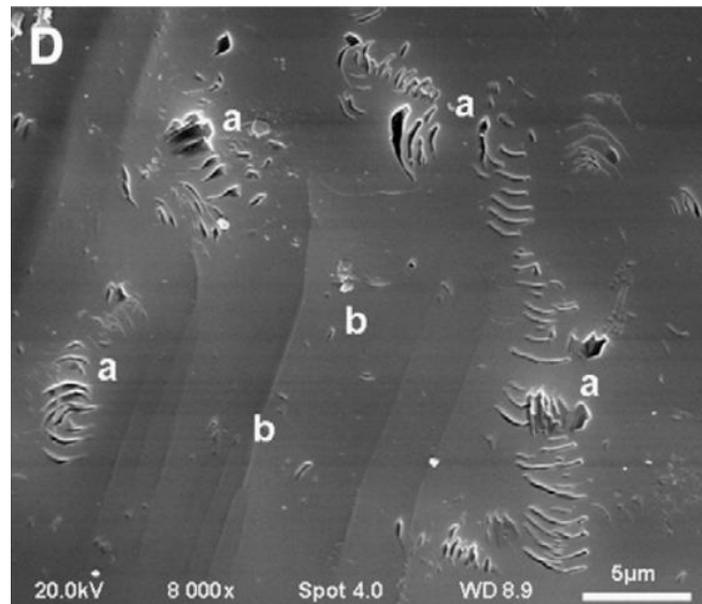


Fig. 25. Marcas de fricción (chattermarks).

Adhering particles / Partículas adheridas: Como el nombre lo indica, se refiere a todas las partículas que se encuentran adheridas al grano durante su observación. Pueden ser de cualquier origen y se pueden perder si el grano es tratado con algún agente corrosivo (Fig. 26).

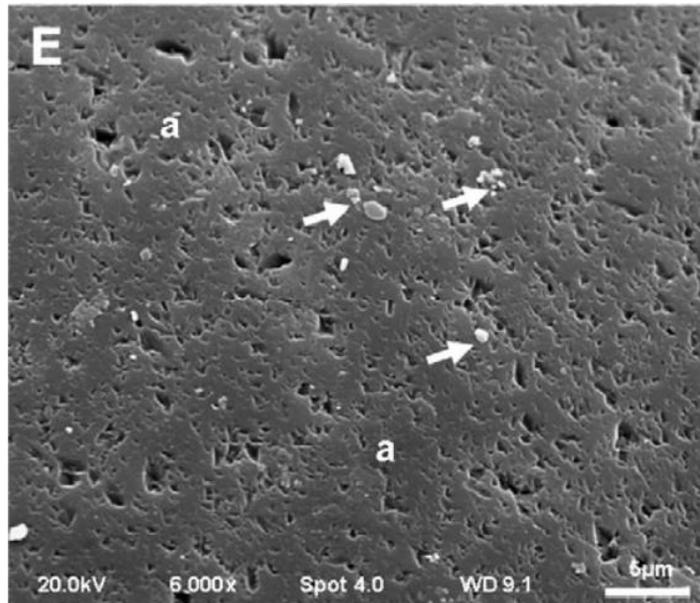


Fig. 26. Partículas adheridas (señaladas con flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Arcuate/Circular/Polygonal cracks / Fracturas arqueadas, circulares o poligonales: Son fracturas de formas irregulares que se encuentran en los granos. Se forman por impactos o presión sobre el grano (Fig. 27).

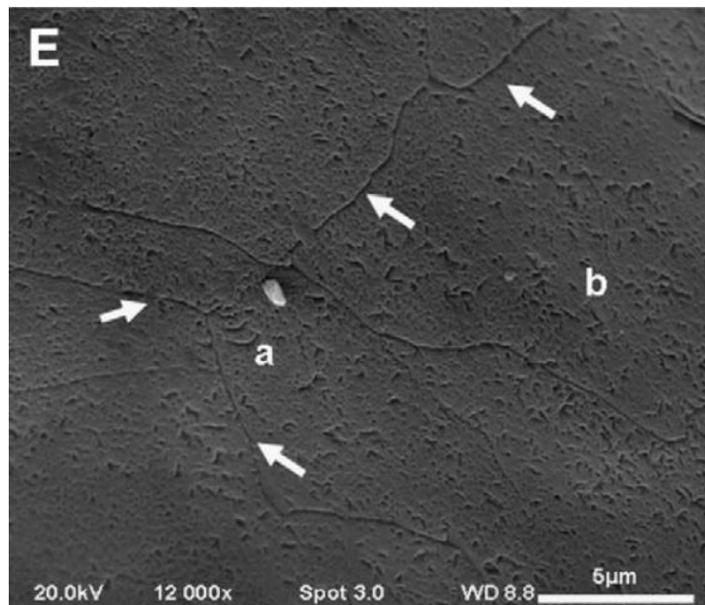


Fig. 27. Fracturas poligonales (señaladas por flechas). Imagen tomada de Vos et al. (2014).

Área de estudio

El área de estudio se ubica en la parte central de la costa del Estado de Veracruz, México, donde se muestrearon 9 playas pertenecientes a 3 municipios como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Localidades del área de estudio.

Localidad	Municipio	Latitud (N)	Longitud (W)
Istirinchá (I)	Nautla	20° 10' 56.66" N	96° 43' 38.83" W
Lechuguillas (LE)	Vega de Alatorre	20° 00' 42.96" N	96° 34' 55.86" W
El Morro (EM)	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	19° 51' 20.50" N	96° 27' 23.01" W
Palma Sola (PS)	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	19° 46' 18.68" N	96° 25' 16.95" W
Boca Andrea (BA)	Alto Lucero de Gutiérrez Barrios	19° 45' 33.59" N	96° 24' 57.05" W
Villa Rica (VR)	Actopan	19° 40' 44.02" N	96° 23' 44.85" W
El Farallón (EF)	Actopan	19° 37' 49.74" N	96° 23' 19.50" W
La Mancha (LM)	Actopan	19° 35' 14.09" N	96° 22' 40.75" W
Chachalacas (CH)	Úrsulo Galván	19° 27' 11.81" N	96° 19' 09.52" W

Hidrología

Golfo de México

El Golfo de México abarca de los 12° de latitud a 18° a 30°N y 17° de longitud a 81° a 98°W y es atravesado por el Trópico de Cáncer. Pertenece en su mayor parte a la región subtropical y cuenta con una precipitación anual por encima de 1000 mm, exceptuando al norte de México y Texas. La mayor parte del Golfo se encuentra bordeado por planicie costera, con excepción de Cuba y algunas regiones cercanas al estado de Veracruz (Green y Short, 2003).

El oleaje en el Golfo rara vez sobrepasa un metro de altura y tiene periodos de entre 3 y 8 segundos, sin embargo, se ve afectado por vientos intensos generados por dos sistemas meteorológicos: sistemas anticiclónicos, mejor conocidos en México como “Nortes” debido a su dirección y los sistemas de baja presión provenientes del Caribe, conocidos como “Ciclones Tropicales” (Appendini *et al.*, 2013).

En la región del estudio se encuentran las cuencas de los ríos Actopan y Nautla, la cual cuenta con la subcuenca del río Misantla (Fig. 28)

Fluvial

Existen cinco ríos perenes, cuatro al norte cerca de las localidades Istirichá y Lechuguillas y 1 al sur en la localidad de Chachalacas. El resto de los arroyos son intermitentes y se localizan al sur de Lechuguillas, El Morro y La Mancha.

Cuenca del Río Actopan

Se encuentra situada geográficamente entre los 19°20' y 19°46'N, y entre 96°20' y 97°08'W, con un área aproximada de 2000 km². Nace en las faldas del volcán Cofre de Perote a 3000 msnm. Durante su recorrido se le conoce primero como Río Sedeño, hasta que recibe aportes del Río Acatlán y cambia su nombre a Río Actopan. Posteriormente recibe afluencia del Río Ídolos y termina formando meandros hasta desembocar en la Barra de Chachalacas (Pereyra *et al.*, 2005).

Cuenca del Río Nautla

Se encuentra situada entre las coordenadas 19°29' y 20°15'N, y 96°46' y 97°27'W, con un área aproximada de 2376 km² (CONAGUA, 2005). Nace también en el volcán Cofre de Perote a 4150 msnm y es alimentado por los arroyos: Tenexpanoya, El Sauce, El Suspiro, Las Ánimas, Borregos y el Río Puerco. Los ríos convergen en la presa hidroeléctrica Las Minas, en donde el agua es drenada al Río Trinidad, que en cierto tramo pasa a ser conocido como Río Bobos y recibe aporte de los arroyos Xoxotla y Tepanapa. Finalmente, cambia su nombre a Río Nautla conforme se acerca a dicha comunidad y desemboca en el Golfo de México formando la Barra de Nautla (Pereyra *et al.*, 2005).

Subcuenca del Río Misantla

Se encuentra situada entre las coordenadas 19° 45' y 20° 10' N y 96° 45' y 97° 00' W dentro de la cuenca del Río Nautla y cuenta con un área aproximada de 585.58 km. Su corriente principal tiene una longitud de 71.63 km y se origina en las inmediaciones del cerro Quemado en el municipio de Misantla a una altitud de 2680 m, su cauce recibe aportaciones de corrientes que se forman en la parte oriental del Cerro Encinal, laderas occidentales del Cerro Verde, el Río Palcham y Arroyo del Pato (Gallardo-López, 2016).

Geología

La zona de estudio se ubica en el sector oriental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), la cual abarca aproximadamente 1000 km de longitud y una amplitud de entre 80 y 203 km. Atraviesa la República Mexicana en dirección E-W en su parte central, y WNW-ESE en su parte occidental. Cubre desde las costas del pacífico: San Blas, Nayarit y Bahía de Banderas; hasta Palma Sola, Veracruz, en el Golfo de México (Demant, 1978; Gómez-Tuena *et al.*, 2005). La FVTM es un arco continental con grandes variaciones en la composición y estilo de vulcanismo, la cual suele ser dividida en tres sectores: occidental, central y oriental. En la costa oeste del Golfo de México (WGM), la FVTM está caracterizada por vulcanismo de tipo máfico calcoalcalino (Gómez-Tuena *et al.*, 2007), con rocas del Mioceno (7.5 Ma) al Plioceno (3 Ma) y donde se formaron grandes estratovolcanes y una pequeña fracción de volcanes monogénéticos de composición basáltica (Ferrari, 2000).

El área de Palma Sola presenta vulcanismo de composición principalmente calcoalcalina del Cuaternario. Sin embargo, también en esta región se encuentran las rocas alcalinas sódicas más antiguas de la FVTM, en donde a partir del Mioceno tardío hasta el Plioceno temprano, los magmas emplazados fueron casi exclusivamente de esta composición (Fig. 28) (Arculus, 2003; Gómez-Tuena *et al.*, 2003; Gómez-Tuena *et al.*, 2005).

Tectónicamente, el Golfo de México se considera como una cuenca oceánica inactiva con basamento de corteza oceánica en la que no existen procesos de subducción ni de expansión (Allen y Allen, 2005).

La arena que conforma las playas del centro del Estado de Veracruz está compuesta por cuarzo (policristalino y monocristalino), calcita, clinocloro, ilmenita, albita, augita y fayalita; siendo la ilmenita el principal componente de los depósitos de minerales pesados y cuyo origen es probablemente una mezcla de procesos marinos, costeros y eólicos (Mendieta-Lora *et al.*, 2018).

Clima

En la región de estudio el clima dominante es cálido subhúmedo con temperatura promedio de 22°C. La precipitación es menor a 60 mm en el mes más seco y existe solo una ligera variación en la precipitación invernal. La zona sur tiene un tipo de clima Aw1 con un porcentaje máximo de lluvia invernal de 10.2 % del total anual, mientras que la zona norte tiene un clima Aw1(x¹) con lluvias invernales que sobrepasan el 10.2 % del total anual (García, 1998) (Fig. 29).

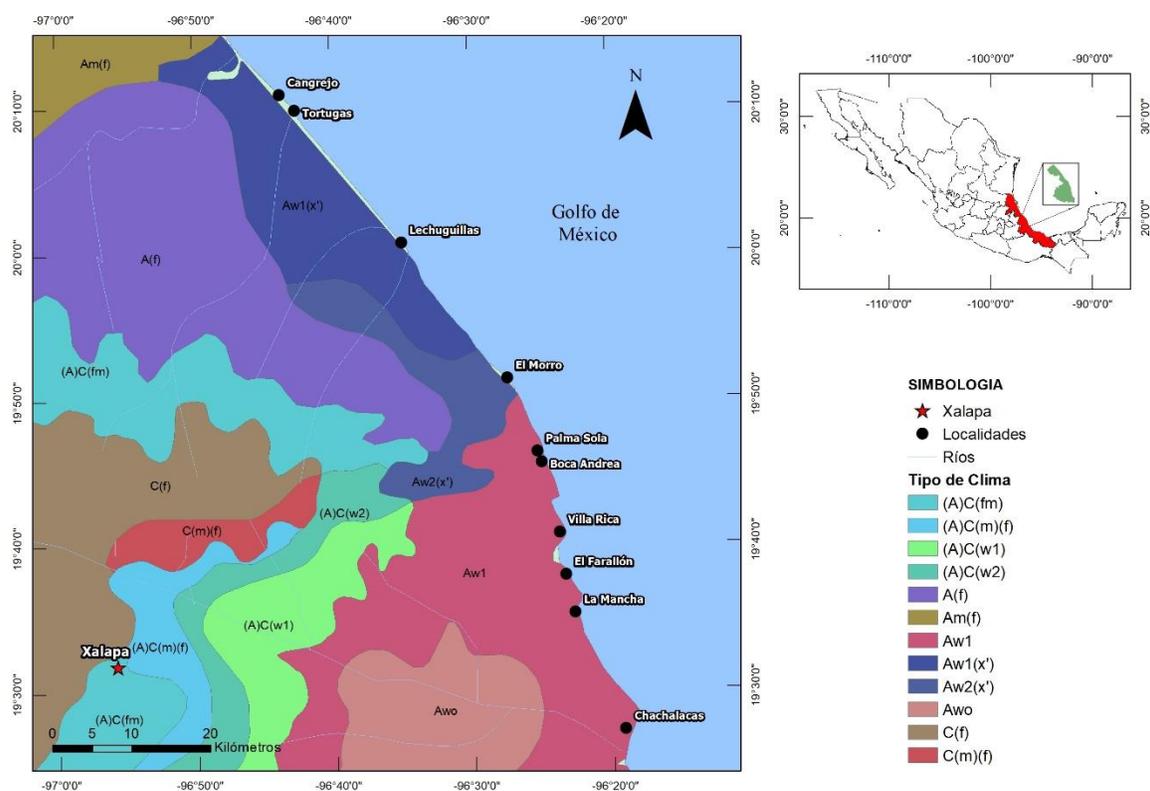


Fig. 29. Mapa de climas dominantes. Modificado de García (1998).

Campos de dunas

El centro de Estado de Veracruz cuenta con campos de dunas intermitentes distribuidos a lo largo de la costa con una tendencia a aumentar de tamaño hacia el sur. En los diferentes

campos de dunas se pueden observar dunas de tipo embrión, barján, parabólicas y transversales de diversos tamaños en relación al tamaño del mismo campo (Kasper-Zubillaga y Dickinson, 2001).

Los campos de dunas se originan debido al aporte mineral, cambios en la dirección e intensidad del viento, el cual varía a lo largo del año como durante la temporada de nortes, así como por la geomorfología de la costa y del continente, y finalmente a factores antropogénicos como los campos de cultivos y construcciones principalmente enfocadas a la actividad turística.

Debido a su disponibilidad y resolución, las imágenes satelitales son herramientas imprescindibles para el conocimiento y seguimiento de fenómenos naturales, acciones antrópicas y sus impactos en el planeta. A continuación, se muestran imágenes satelitales tomadas de LANDSAT 8, a través de World Imagery de ESRI de las 9 localidades muestreadas: (A) Istirinchá, (B) Lechuguillas, (C) El Morro, (D) Palma Sola, (E) Boca Andrea, (F) Villa Rica, (G) El Farallón, (H) La Mancha y (I) Chachalacas (Fig. 30).



Fig. 30. Localidades y campos de dunas: (A) Istirinchá; (B) Lechuguillas; (C) El Morro; (D) Palma Sola; (E) Boca Andrea; (F) Villa Rica; (G) El Farallón; (H) La Mancha; (I) Chachalacas.

Istirinchá

Es una playa que cuenta con asentamientos humanos orientados al turismo y a la agricultura. Estas actividades impiden el crecimiento de un campo de dunas, dejando únicamente un cordón de dunas de no más de 10 metros de ancho. Las dunas que se pueden encontrar en la localidad son de tipo barján y embrión de entre 1 metro y 1.5 metros y se extienden desde la barra de Nautla hasta Lechuguillas, siendo únicamente interrumpidos por la desembocadura del Río Misantla y la zona hotelera de Istirinchá (Fig. 31).



Fig. 31. Playa de la localidad Istirinchá. Se observan pequeñas dunas embrionarias vegetadas y actividad antropocéntrica al fondo.

Lechuguillas

Las dunas se encuentran alineadas de forma paralela a la línea de costa con un ancho menor a los 10 metros debido a la actividad agrícola. El cordón de dunas se extiende por aproximadamente 11 kilómetros hasta la llamada Laguna Grande, en donde el campo de dunas se divide en la desembocadura de la laguna. En el lado norte el campo de dunas ocupa un área aproximada de 50 hectáreas, mientras que la parte sur es aproximadamente de 92 hectáreas y limitando con la carretera Poza Rica-Veracruz, aproximadamente a 500 metros de la línea de costa. En ambos casos, se encuentran dunas embrionarias y de tipo barján de menos de 1 metro de altura, muchas de ellas con presencia de vegetación (Fig. 32).



Fig. 32. Duna barján vegetada(<1m) en la localidad Lechuguillas. La dirección del viento que moldeo la duna es perpendicular a la línea de costa.

El Morro

Cubre un área aproximada de 15 hectáreas con una extensión de 1.2 km de largo y un máximo de 150 metros. El campo de dunas presenta dunas mayoritariamente de tipo barján con tamaños de entre 1 y 1.5 metros de alto. El aumento en el tamaño de dunas se relaciona directamente con el aumento de tamaño en el campo de dunas, en este caso se debe a que es una localidad con bajo impacto antropológico, contando únicamente con un pequeño asentamiento humano enfocado al comercio de productos de granja. Además, en la localidad se pueden encontrar basaltos pertenecientes a la FVTM (Fig. 33).



Fig. 33. Dunas vegetadas (<1 m) en la localidad de El Morro.

Palma Sola

Es una localidad sin un campo de dunas desarrollado, en donde las únicas dunas encontradas se encuentran alienadas de forma paralela a la línea de costa. Se encontraron dunas de tipo barján de menos de 1.5 metros, dunas transversales de altura similar y dunas embrión de menos de 1 metro de alto. Es una localidad con abundantes asentamientos humanos enfocados a la vivienda, explotación turística y agricultura, razón por la cual la arena no cuenta con espacio para desarrollar un campo de dunas (Fig. 34).



Fig. 34. Dunas en la localidad de Palma Sola. Se puede observar la FVTM al fondo.

Boca Andrea

No cuenta con un campo de dunas, únicamente se encontraron dunas de tipo barján sin cresta y dunas transversales de menos de un metro de alto que se extienden a lo largo de la costa. Del mismo modo que en las localidades de Istirinchá y Lechuguillas, la falta de un campo de dunas se debe a la presencia de asentamientos humanos que impiden el paso de la arena y que cortan en algunas secciones la continuidad de las dunas transversales (Fig. 35).



Fig. 35. Dunas sin sotavento en la localidad de Boca Andrea.

Villa Rica

Es un campo de dunas de un área aproximada de 43 hectáreas con la característica morfológica de un tómbolo en el cual se extiende la sección más al sur del campo de dunas. Debido a la morfología de la localidad, se encontraron dunas parabólicas de hasta 3 metros de altura con el sotavento orientado en dirección norte. Cerca de la localidad existen asentamientos humanos enfocados en el turismo que no intervienen en el crecimiento del campo de dunas ni frenan el avance de la arena (Fig. 36).



Fig. 36. Dunas en la localidad de Villa Rica. Se puede observar la FVTM al fondo.

El Farallón

Es un campo de dunas de aproximadamente 70 hectáreas ubicado al sur de la laguna del mismo nombre. Se extiende por casi 4 kilómetros de largo en dirección hacia el sur y es detenido únicamente por la geomorfología presente. Cuenta con una gran cantidad de dunas de tipo barján de diferentes alturas (<5 metros), con sotaventos orientados hacia el norte y flancos cortos debido a la gran cantidad de dunas que se pueden encontrar. Debido a lo inaccesible del sitio, es el campo de dunas mejor preservado de los estudiados (Fig. 37).



Fig. 37. Campo de dunas de El Farallón.

La Mancha

Se encontraron dunas embrionarias y barján de hasta 1 metro de altura en la zona cercana a la laguna de La Mancha, las cuales se extienden por cerca de 3 kilómetros hacia el sur, donde el campo de dunas crece hasta abarcar cerca de 970 hectáreas. En el campo de dunas se encuentran principalmente dunas barján con alturas de más de 5 metros y una gran duna transversal de más de 10 metros de altura con el sotavento orientado hacia la costa. El campo de dunas se ve cortado por la desembocadura del Río Agua Fría, el cual, además sirve como límite político entre los municipios de Actopan y Úrsulo Galván (Fig. 38).



Fig. 38. Duna transversal (>10 m) en la localidad de La Mancha.

Chachalacas

Se encuentra al norte de la playa del mismo nombre y cuenta con un área aproximada de 600 hectáreas. Las dunas que se pudieron encontrar son principalmente de tipo barján con alturas de más de 15 metros, con sotaventos bien definidos y orientados hacia el norte. Si bien, el campo de dunas se encuentra alejado de asentamientos humanos, en la actualidad se ha popularizado para la práctica de deportes y la conducción de vehículos como cuatrimotos, las cuales han afectado la morfología de las dunas, haciendo difícil la identificación de componentes como los flancos (Fig. 39).



Fig. 39. Barlovento de una duna barján (>15 m) en la localidad de Chachalacas.

Tamaño de las dunas

La observación de los campos de dunas muestra que existe un aumento en el tamaño de los campos de dunas y de las dunas que los componen en dirección norte-sur. Se muestra un gráfico del tamaño promedio de las dunas en cada localidad (Fig. 40).

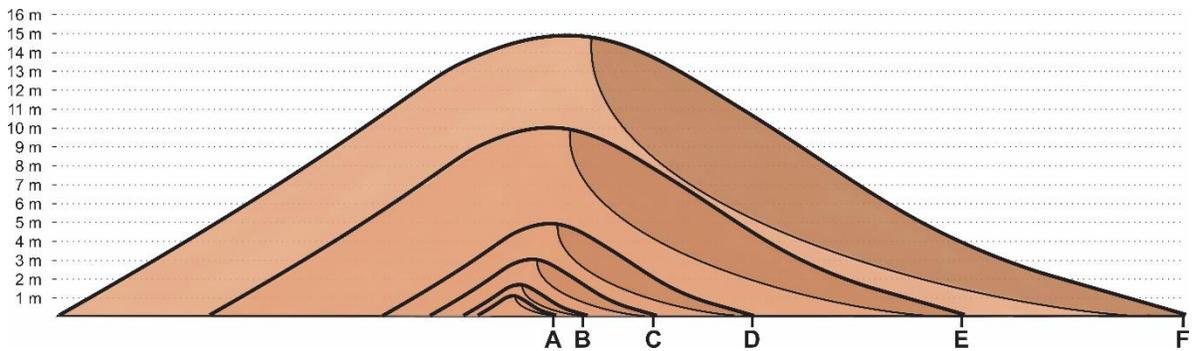


Fig. 40. Tamaño de dunas. (A) Lechuguillas, (B) Istirinchá, El Morro, Palma Sola y Boca Andrea; (C) Villa Rica; (D) El Farallón; (E) La Mancha; (F) Chachalacas.

Metodología y equipo

Recolección de muestras

La recolección de muestras se llevó a cabo del 24 al 27 de abril de 2017 siguiendo la línea de costa de norte a sur. Se recolectaron muestras de playa (infraplaya y mesoplaya) y de duna (barlovento, cresta y sotavento) de 9 localidades (Fig. 41).

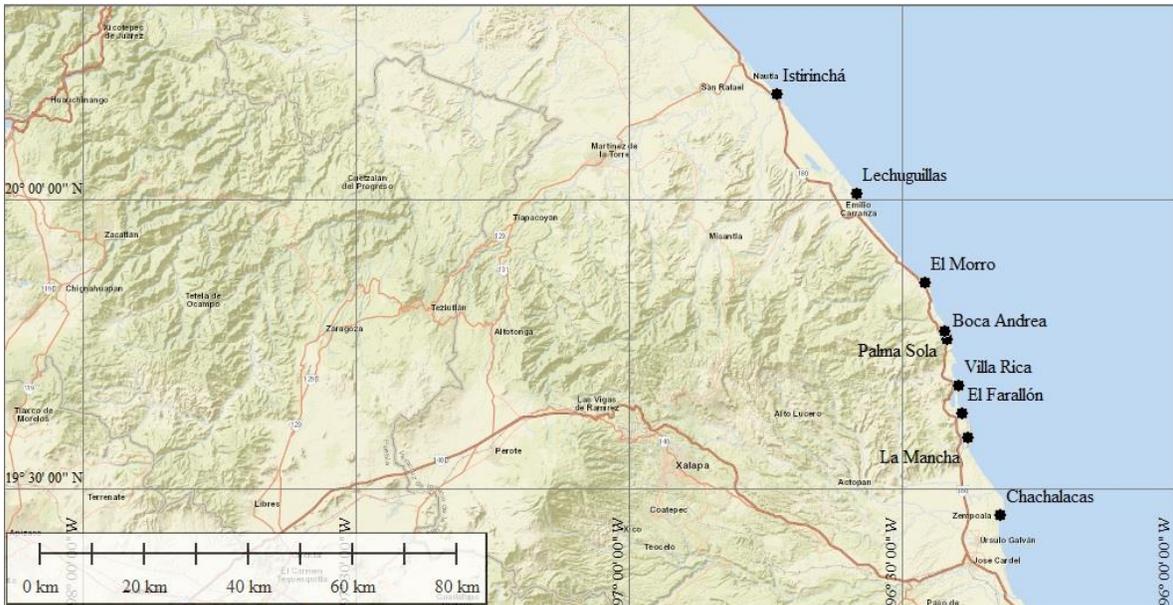


Fig. 41. Mapa topográfico de la zona de estudio.

Se recolectaron 80 muestras de arena, de las cuales 21 pertenecen a playas y 59 a dunas. Las muestras de playa se recolectaron para servir como un control granulométrico y mineralógico que influye en el transporte de arena hacia la duna y viceversa. Del total de muestras, se seleccionaron 20 muestras de cuarzo y 20 de ilmenita para la observación en el MEB.

Cada muestra fue tomada de la parte superficial (1 cm) de la playa o duna con la finalidad de evitar el fenómeno de la heterogeneidad en la laminación de la arena, el cual afecta el valor de la clasificación (sorting) (Pettijohn *et al.*, 1972; Emery, 1978; Kasper-Zubillaga *et al.*, 1999). Las muestras fueron tomadas con una cuchara de plástico para evitar la contaminación, colocadas en bolsas de plástico y etiquetadas para su posterior análisis en el

laboratorio. Cada muestra pesó entre 200 y 300 gramos con la finalidad de que el restante sirviera como material repositario.

Para la observación de microtexturas se seleccionaron al azar muestras de cada sub ambiente de duna por cada localidad y alternando una muestra de infraplaya y mesoplaya por localidad. De cada una de las muestras se seleccionaron granos al azar para su observación en el microscopio electrónico de barrido (MEB) y se etiquetaron con el patrón indicado en la Fig. 42. La lista de figuras analizadas se presenta en la tabla 2.

CH-C-B-4

1 2 3 4

Fig. 42. Formato de identificación para MEB. (1) corresponde a la localidad en donde fue recolectada la muestra; (2) tipo de mineral, siendo la letra "C" para el cuarzo e "I" para la ilmenita; (3) sub ambiente al que corresponde la muestra, "B" barlovento, "C" cresta, "S" sotavento, "M" mesoplaya e "I" infraplaya; (4) corresponde al número de la muestra.

Cuarzo	Ilmenita
I-C-B-2	I-I-B-2
I-C-C-1	I-I-C-1
I-C-S-3	I-I-S-3
LE-C-C-2	LE-I-C-2
LE-C-M-2	LE-I-M-2
LE-C-S-2	LE-I-S-2
EM-C-B-2	EM-I-B-2
EM-C-C-2	EM-I-C-2
PS-C-B-1	PS-I-B-1
PS-C-M-1	PS-I-M-1
BA-C-C-1	BA-I-C-1
BA-C-M-1	BA-I-M-1
VR-C-C-1	VR-I-C-1
VR-C-S-2	VR-I-S-2
EF-C-M-2	EF-I-M-2
EF-C-C-2	EF-I-C-2
LM-C-S-2	LM-I-S-1

LM-C-M-1	LM-I-F-1
CH-C-B-4	CH-I-B-4
CH-C-I-1	CH-I-S-1

Trabajo de laboratorio

Las muestras de arena fueron llevadas al laboratorio de geoquímica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, en donde fueron lavadas con agua destilada para eliminar partículas de sal. Posteriormente fueron secadas en una mufla modelo H-62 de la marca Riossa. Se realizó un tamizado en seco de cada muestra a un intervalo de 500 μm a 75 μm en tamices de la American Standard Test Sieve Series (American Society for Testing and Materials: ASTM). Se utilizó una cantidad inicial de 50 gramos de cada muestra en un equipo Ro-Tap Tyler RX-29 por 15 minutos. Posteriormente, se pesaron las fracciones que quedaron en cada tamiz y se vaciaron los resultados a una hoja de cálculo para su análisis.

Parámetros texturales

Con los datos obtenidos del tamizado se determinaron los parámetros texturales a partir de las fórmulas y límites propuestos por Folk (1968) a través del software Gradistat (Blott y Pye, 2001), con la finalidad de tener un control sobre la variación granulométrica de cada sitio muestreado.

Tamaño de grano ($Mz\phi$)

Es un parámetro estadístico que representa el diámetro medio del total de los granos de una muestra. Para ser medido es necesaria una escala como referencia, siendo la escala propuesta por Udden (1914) y Wentworth (1922) la más aceptada (Tabla 3).

Tabla 2. Tabla de tamaño de grano. Modificado de Udden (1914) y Wentworth (1922).

Tamaño de Grano		Término Descriptivo	
phi	mm		
-10	1024	Muy Grande	} Bloque
-9	512	Grande	
-8	256	Mediano	
-7	128	Pequeño	
-6	64	Muy Pequeño	
-5	32	Muy Grueso	
-4	16	Grueso	
-3	8	Mediano	
-2	4	Fino	
-1	2	Muy Fino	
0	1	Muy Grueso	} Arena
1	500 microns	Grueso	
2	250	Mediano	
3	125	Fino	
4	63	Muy Fino	
5	31	Muy Grueso	
6	16	Grueso	
7	8	Mediano	
8	4	Fino	
9	2	Muy Fino	
		Arcilla	

Desviación estándar (σ)

Representa el grado de homogeneidad granulométrica del sedimento. Está determinado por al menos tres parámetros: cantidad de sedimento aportado al ambiente de depósito, tipo de deposición y las características momentáneas del ambiente, como la intensidad de la marea y la velocidad del viento (Folk, 1968; Kasper-Zubillaga y Carranza Edwards, 2005). La Tabla 4 presenta los límites de la desviación estándar.

Tabla 3. Límites de la desviación estándar.

Muy Bien clasificado	<0.35
Bien clasificado	0.35 a 0.50
Moderadamente bien clasificado	0.50 a 0.71
Moderadamente clasificado	0.71 a 1.00
Mal clasificado	1.00 a 2.00
Muy mal clasificado	2.00 a 4.00
Extremadamente mal clasificado	>4.00

Skewness/Grado de asimetría (Sk_1) y Kurtosis (K_G)

El termino *skewnes* se refiere al grado de asimetría que se presenta en una curva de frecuencias granulométricas. Folk y Ward (1957) demostraron que un valor negativo en la curva es indicativo de una mezcla entre material grueso y fino, en donde predomina el material fino; mientras que, si el material grueso predomina, el valor será positivo (Tabla 5).

Tabla 4. Límites del grado de asimetría.

Muy asimétrico en tamaños finos	0.3 a 1.0
Asimétrico en tamaños finos	0.1 a 0.3
Simétrico	0.1 a -0.1
Asimétrico en tamaños gruesos	-0.1 a -0.3
Muy asimétrico en tamaños gruesos	-0.3 a -1.0

La kurtosis es una medida de la angulosidad y la forma de la curva de frecuencia, indica la cantidad de datos cercanos a la media (Folk, 1968) (Tabla 6).

Tabla 5. Límites de la kurtosis.

Muy platicúrtico	<0.67
Platicúrtico	0.67 a 0.90
Mesocúrtico	0.90 a 1.11
Leptocúrtico	1.11 a 1.50
Muy leptocúrtico	1.50 a 3.00
Extremadamente leptocúrtico	>3.00

McKee (1979) considera que los valores de skewness y kurtosis en ambientes eólicos son muy variables y por lo tanto no se consideran diagnósticos para la determinación puntual del ambiente de duna.

Análisis en MEB

Preparación de muestras

Con ayuda de un estereomicroscopio 4x-Velab VES1 y un pincel fino se separaron entre 12 y 24 granos de cuarzo e ilmenita de cada muestra seleccionada de diferentes partes de las dunas. Un total de 624 granos (350 de cuarzo y 274 de ilmenita), distribuidos en 37 muestras, fueron seleccionadas para el MEB. Los granos fueron separados al colocar una pequeña cantidad del total de muestra (~0.5 g) sin tamizar en una placa de Petri. Posteriormente, se utilizó un pincel de punta fina para separar grano por grano de forma aleatoria.

Los granos separados fueron montados en portaobjetos para ser observados en el MEB (Fig. 13). Cada portaobjeto fue recubierto con una delgada película de oro para una mejor resolución en comparación con la que ofrecen otros metales o el grafito (Kransley y Doorkamp, 1973). Las observaciones se realizaron al alto vacío, donde un filamento de tungsteno emite electrones con un voltaje de 10kV y requiere de una distancia de trabajo de 15 mm para alcanzar una magnificación de 200X.

Las observaciones a través de MEB se realizaron en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, México (Fig. 43).

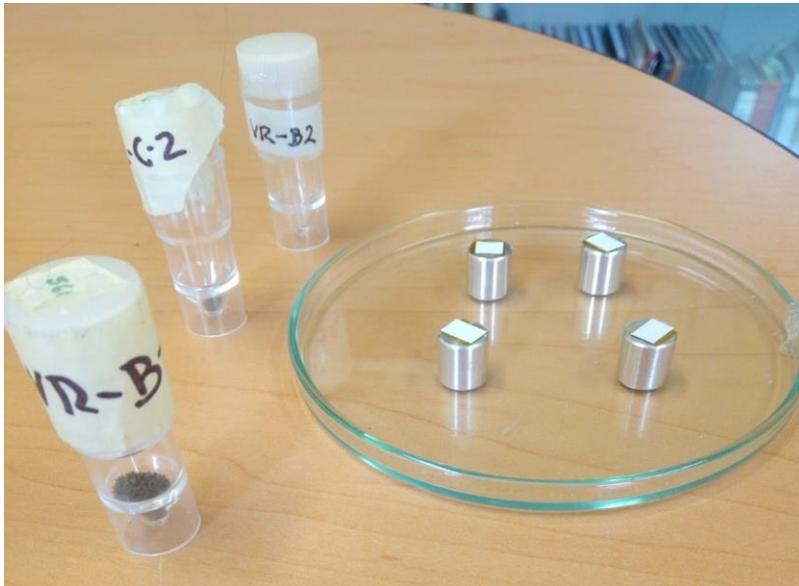


Fig. 43. Muestras y portaobjetos para MEB.

Observación

La clasificación de microtexturas se realizó con base en trabajos previos para el cuarzo y minerales pesados realizados por múltiples autores (Krinsley y Doornkamp, 1968; Mahaney, 2002; Moral-Cardona *et al.*, 2005; Madhavaraju *et al.*, 2006; Babu *et al.*, 2007; Vos *et al.*, 2014; Makvandi *et al.*, 2015).

Las microtexturas observadas fueron clasificadas, de acuerdo con su origen en mecánicas, químicas y mecánico-químicas. Además, se tomó en consideración que, debido a su naturaleza, no todas las microtexturas pueden ser observadas y clasificadas de forma cuantitativa, específicamente en el caso del contorno del grano y el relieve.

Análisis de agrupamiento (dendrograma)

Es una técnica estadística multivariable, que agrupa las variables con relación a su nivel de semejanza buscando la mayor homogeneidad posible en cada grupo. Para este trabajo se buscó agrupar las localidades de acuerdo con el tipo de microtextura predominante en cada mineral, para que, a partir de esto, se pueda hacer una comparativa con los factores geomorfológicos detectados en cada localidad.

Resultados

Análisis textural

Los parámetros texturales de los sedimentos de playas y dunas del centro del estado de Veracruz muestran tamaños de arena media a fina, moderadamente bien clasificada con promedio de $Mz = 2.19 \phi \pm 0.28$ y clasificación de $\sigma = 0.51 \pm 0.11$. A continuación se muestran los resultados de tamaño de grano (Fig. 44), desviación estándar (Fig. 45), asimetría (Fig. 46) y kurtosis (Fig. 47). La tabla completa del análisis textural se puede encontrar en anexos (pág. 70).



Fig. 44. Resultados de tamaño de grano.



Fig. 45. Resultados de desviación estándar.

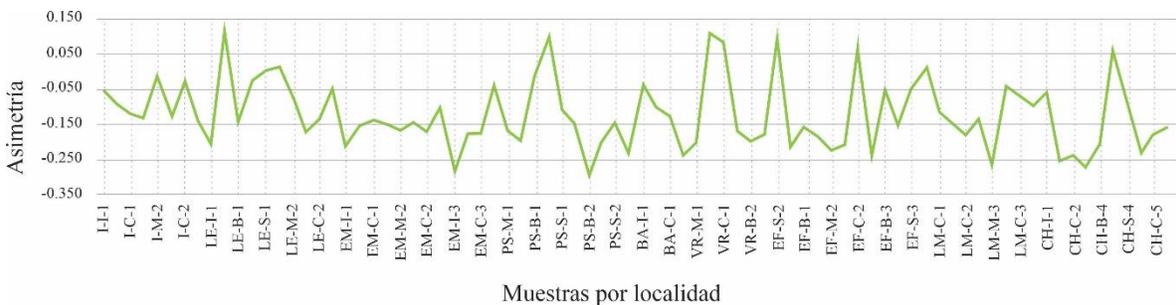


Fig. 46. Resultados del grado de asimetría.

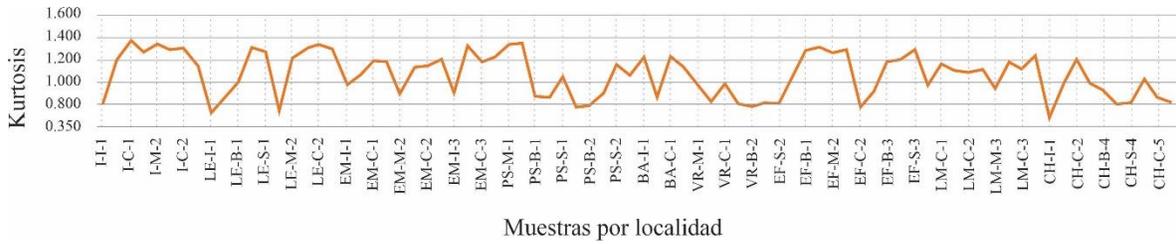


Fig. 47. Resultados de kurtosis.

Los resultados muestran variaciones en el valor de la media a lo largo de la costa con algunos picos hacia un tamaño de grano menor en las secciones correspondientes al barlovento en las dunas, estos picos coinciden también con los puntos de mayor clasificación de los granos siendo las arenas de menor tamaño las mejor clasificadas, lo cual se demuestra en una correlación significativa entre ambos parámetros tomando como referencia los valores de la media (Fig. 48). La distribución del tamaño de grano y clasificación coinciden con patrones encontrados y reportados en dunas costeras y playas de diferentes zonas del mundo (Ahlbrandt, 1979; Kasper-Zubillaga y Zolezzi-Ruiz., 2007).

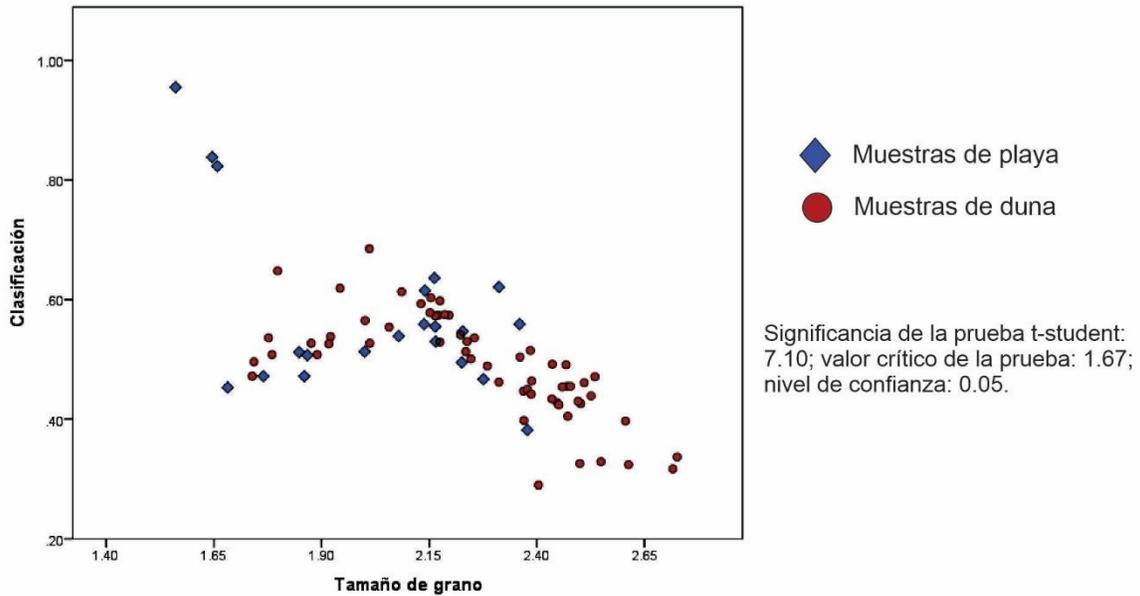


Fig. 48. Correlación entre tamaño de grano y clasificación.

Observación de imágenes MEB

Se muestran de forma textual y gráfica los resultados del conteo de microtexturas para cada localidad. Para la parte gráfica se estableció la escala del 0 al 4 para representar la abundancia de cada microtextura (Tabla 7).

Tabla 6. Escala de abundancia.

Escala	Abundancia
0	Nula
1	Rara
2	Escasa
3	Común
4	Abundante

Los resultados de la observación se presentaron en hojas de cálculo separadas por localidad y mineral (cuarzo e ilmenita), y pueden encontrarse completas en el área de anexos (pág. 72)

Para las microtexturas de contorno y relieve se decidió asignar el número 4 como indicativo de la microtextura presente, debido a que en ambos casos estas se subdividen en 3 opciones exclusivas entre ellas (contorno angular, subangular y redondeado; relieve alto, medio y bajo).

Los resultados del conteo fueron normalizados al 100% para poder ser expresados en valores de porcentaje y finalmente, se estableció la siguiente escala para facilitar la comparación entre los valores de abundancia (Tabla 8):

Tabla 7. Escala de abundancia.

Valores	Escala
0	Nula
< 5%	Rara
5~20%	Escasa
20~30%	Común
> 30%	Abundante

Compendio y comparación de imágenes entre cuarzo e ilmenita

Se muestra una imagen de cada microtextura en ambos minerales para su comparación visual. Todas las imágenes han sido editadas para eliminar las marcas de carga sobre el pegamento del portaobjetos respetando el contorno completo del grano y la escala. Las imágenes fueron seleccionadas de acuerdo a la claridad de las microtexturas que presentan, buscando que fueran fácilmente observables para servir como guía para trabajos de observación e identificación posteriores.

Microtexturas de origen mecánico

Contorno

(A) Contorno angular en un grano de cuarzo perteneciente a la cresta de una duna en la localidad de Istirinchá (I-C-Q-7). (B) Contorno angular en un grano de ilmenita perteneciente a un barlovento de la localidad de El Morro (EMR-B2-IL-2). (C) Contorno subangular en un grano de cuarzo recolectado en infraplaya en la localidad de chachalacas (CH-I-Q-3). (D) Contorno angular en un grano de ilmenita perteneciente a sotavento en la localidad de Villa Rica (VR-S2-IL-13). (E) Contorno redondeado en un grano de cuarzo perteneciente a una cresta en la localidad de Villa Rica (VR-C-Q-3). (F) Contorno redondeado en un grano de ilmenita perteneciente a sotavento en la localidad de Villa Rica (VR-S2-IL-1) (Fig. 49).

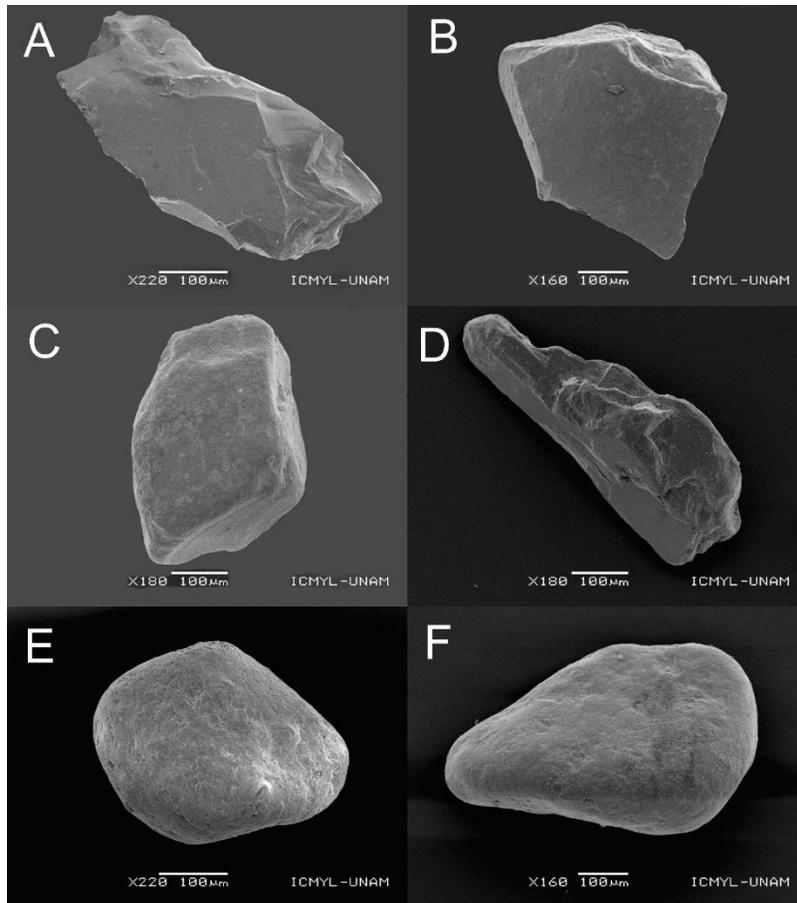


Fig. 49. Contorno.

Fracturas concoidales

Se muestran los tres tamaños de fracturas concoidales en ambos minerales. (A) Fracturas concoidales pequeñas en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Palma Sola (PS-B2-Q-4). (B) Fracturas pequeñas en un grano de ilmenita recolectado en el sotavento en la localidad de La Mancha (LM-S-IL-8). (C) Fracturas concoidales medianas en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya de la localidad de Boca Andrea (BA-M1-Q-8). (D) Fracturas concoidales medianas en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Lechuguillas (LCH-C2-IL-5). (E) Fracturas concoidales grandes en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Chachalacas (CH-B4-Q-8). (F) Fracturas concoidales grandes en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de El Farallón (EF-C2-IL-4) (Fig. 50).

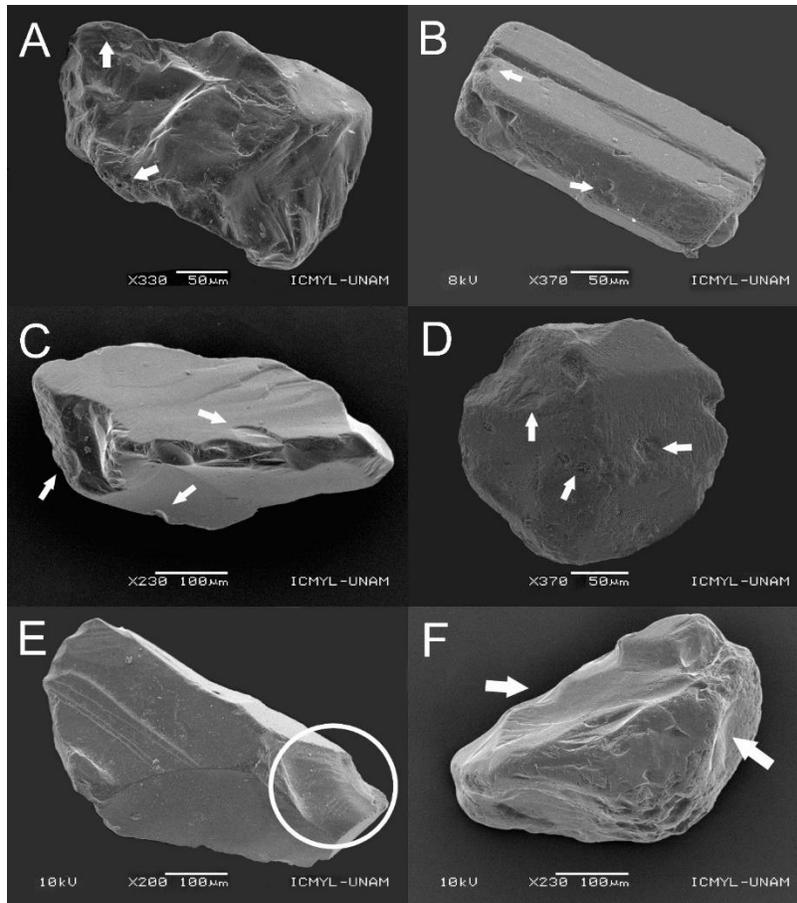


Fig. 50. Fracturas concoidales.

Escalones

(A) Escalones arqueados en un grano de cuarzo recolectado en un sotavento en la localidad de Istirinchá (I-S3-Q-9). (B) Escalones arqueados en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de El Morro (EM-C2-IL-8). (C) Escalones rectos en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya en la localidad de El Farallón (EF-M2-Q-4). (D) Escalones rectos en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya en la localidad de Boca Andrea (BA-M1-IL-8) (Fig. 51).

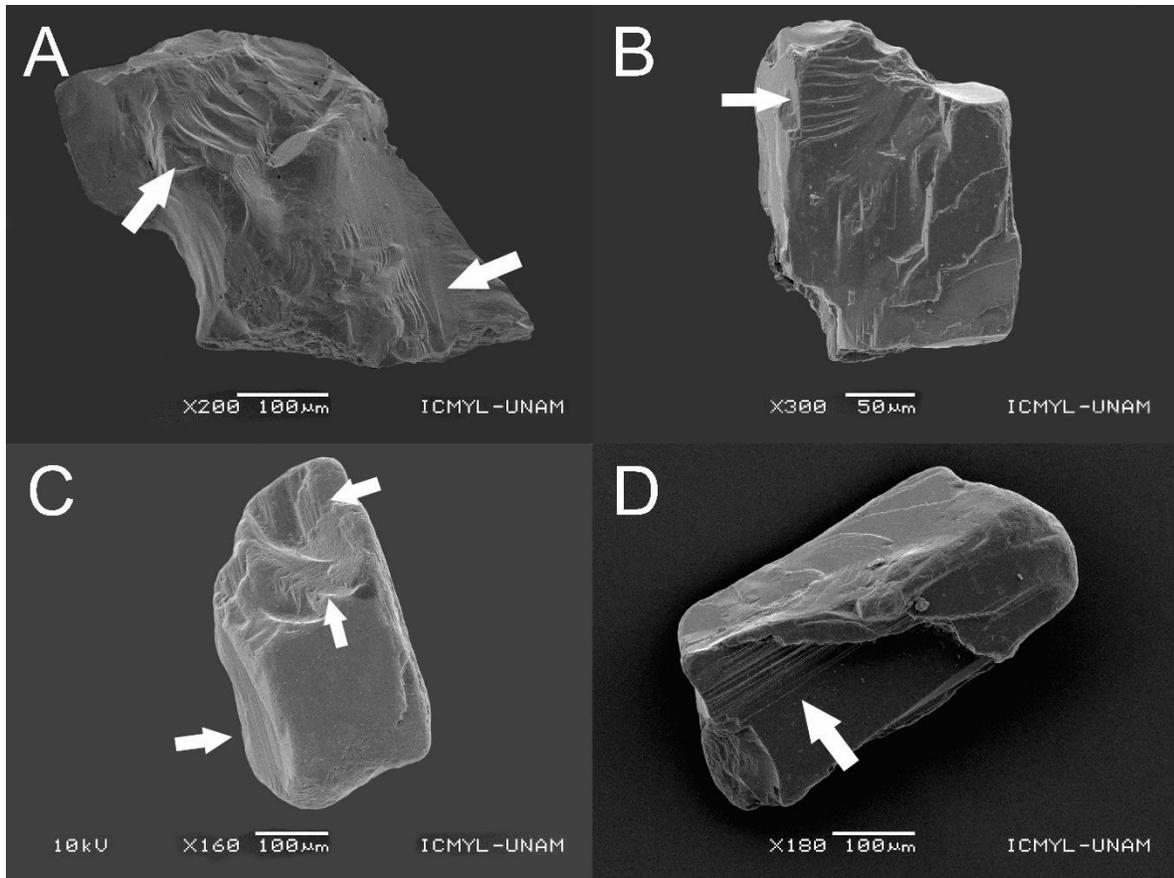


Fig. 51. Escalones.

Crestas meándricas, superficies planas por fractura y marcas en V

(A) Crestas meándricas en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya de la localidad de El Farallón (EF-M2-Q-2). (B) Crestas meándricas en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Istirinchá (I-C-IL-7). (C) Superficies planas por fractura en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de El Morro (EMR-B2-Q-15). (D) Superficie plana por fractura en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de El Farallón (EF-C2-IL-2). (E) Marcas en V en un grano de cuarzo recolectado en un sotavento en la localidad de Villa Rica (VR-S2-Q-16). (F) Marcas en V en un grano de ilmenita recolectado en la mesoplaya en la localidad de El Farallón (EF-M2-IL-6) (Fig. 52).

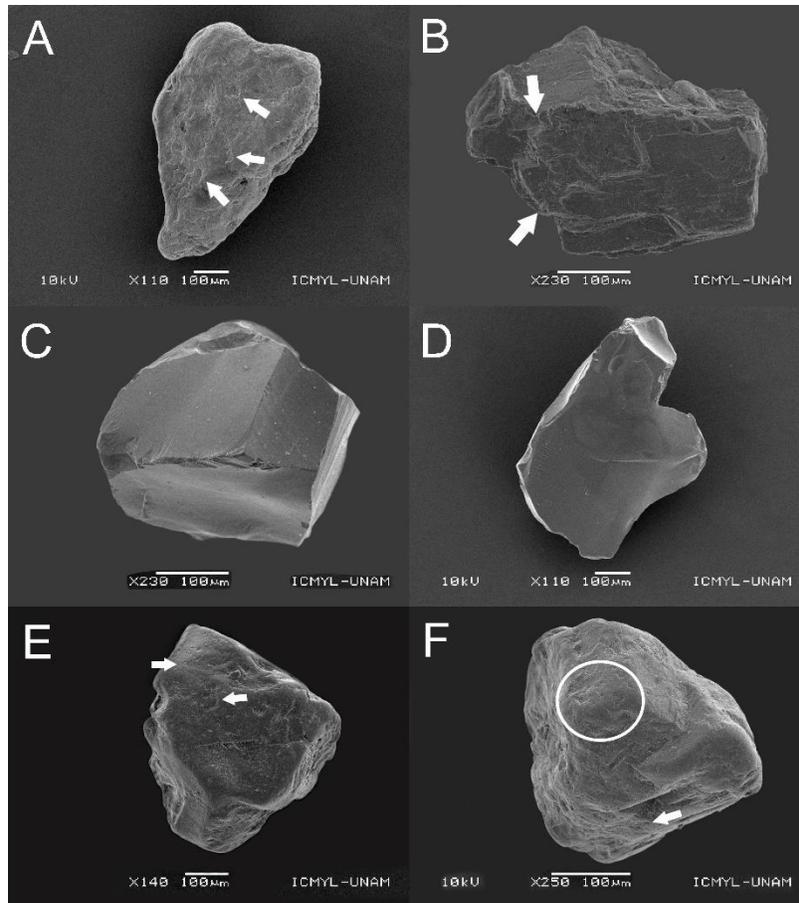


Fig. 52. Crestas meándricas, superficies planas por fractura y marcas en V.

Surcos y estrías, láminas invertidas y marcas concéntricas.

(A) Se muestran surcos en un grano de cuarzo recolectado en un sotavento en la localidad de Lechuguillas (LCH-S2-Q-21). (B) Estrías en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Lechuguillas (LCH-C2-IL-7). (C) Láminas invertidas en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Palma Sola (PS-B1-Q-15). (D) Láminas invertidas en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Lechuguillas (LCH-C2-IL-13). (E) Marcas concéntricas en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Istirinchá (I-B2-Q-14). (F) Marcas concéntricas en un

grano de ilmenita recolectado en la mesoplaya de la localidad de Palma Sola (PS-M-I-15) (Fig. 53).

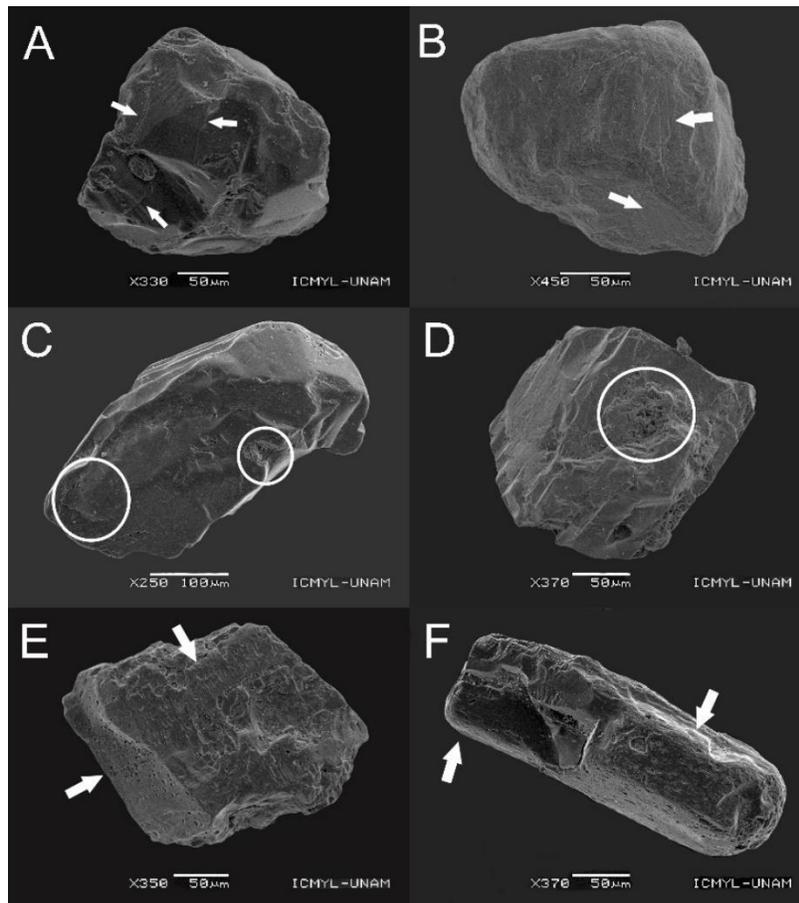


Fig. 53. Surcos y estrías, láminas invertidas y marcas concéntricas.

Bordes de bulbo, marcas de abrasión y estrías paralelas.

(A) Bordes de bulbo en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya de la localidad El Farallón (EF-M2-Q-5). (B) Bordes de bulbo en un grano de ilmenita recolectado en la mesoplaya de la localidad de La Mancha (LM-M-IL-12). (C) Marcas de abrasión en un grano de cuarzo recolectado de un barlovento en la localidad de El Morro (EMR-B2-Q-12). (D) Marcas de abrasión en un grano de ilmenita recolectado de una cresta en la localidad de Boca Andrea (BA-C1-IL-3). (E) Estrías paralelas en un grano de cuarzo recolectado de una cresta

en la localidad de Villa Rica (VR-C-Q-13). (F) Estrías paralelas en un grano de ilmenita recolectado en un sotavento en la localidad de La Mancha (LM-S1-IL-1) (Fig. 54).

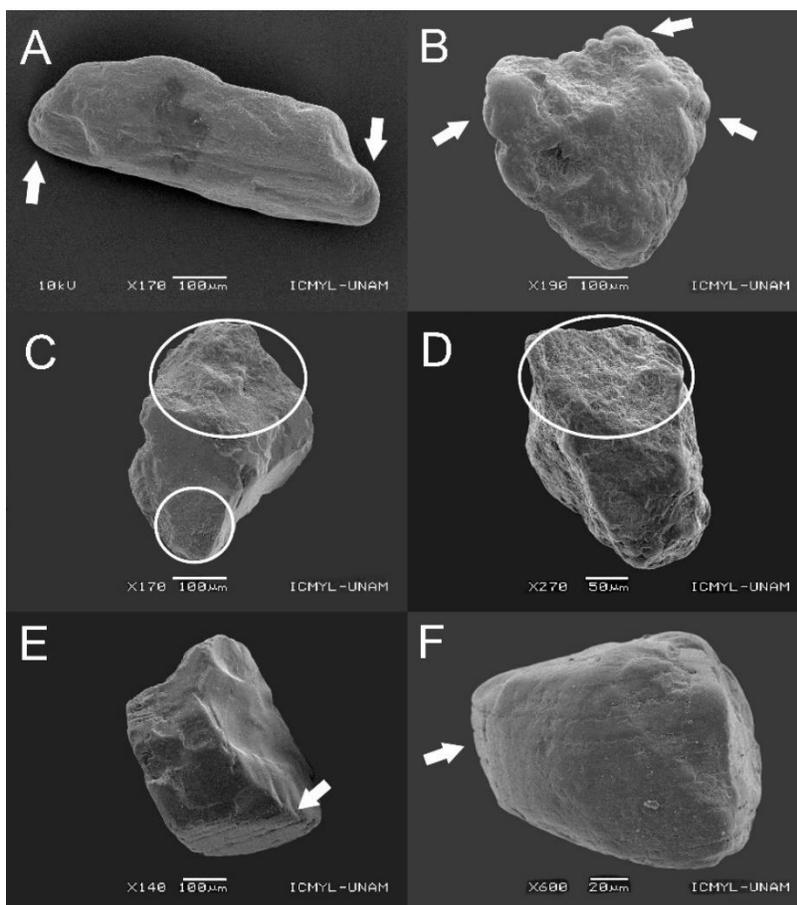


Fig. 54. Bordes de bulbo, marcas de abrasión y estrías paralelas.

Microtexturas de origen químico

Huecos orientados, huecos de disolución y grietas de disolución

(A) Huecos orientados en un grano de cuarzo recolectado en una cresta en la localidad de Lechuguillas (LCH-C2-Q-3). (B) Huecos orientados en un grano de ilmenita recolectado en un barlovento en la localidad de Chachalacas (CH-B4-IL-4). (C) Huecos de disolución en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Istirinchá (I-B2-Q-10). (D) Huecos de disolución en un grano de ilmenita recolectado en un barlovento en la localidad de Palma Sola (PS-B-IL-3). (E) Grietas de disolución en un grano de cuarzo recolectado en

una cresta de la localidad de Villa Rica (VR-C-Q-2). (F) Grietas de disolución en un grano de ilmenita recolectado en un sotavento en la localidad de Istirinchá (I-S3-IL-7) (Fig. 55).

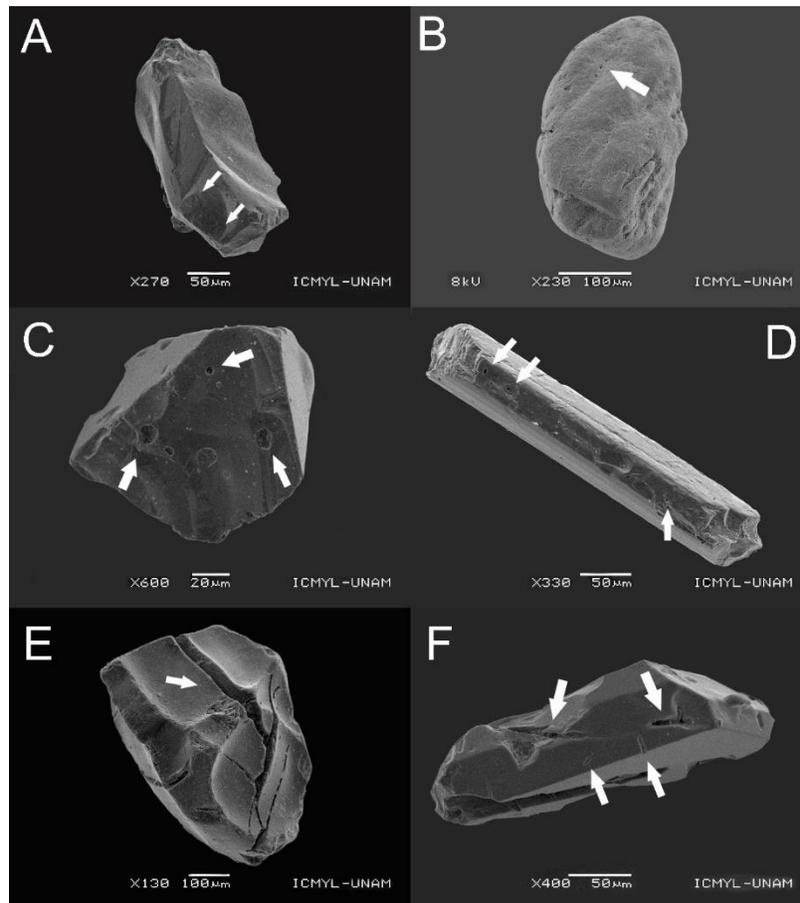


Fig. 55. Huecos orientados, huecos de disolución y grietas de disolución.

Glóbulos, flores y película mineral

(A) Glóbulos en un grano de cuarzo recolectado de una cresta en la localidad de Lechuguillas (LCH-C2-Q-15). (B) Glóbulos en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Boca Andrea (BA-C1-IL-24). (C) Flores en un grano de cuarzo recolectado en una cresta en la localidad de Boca Andrea (BA-C1-Q-12). (D) Flores en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Boca Andrea (BA-C1-IL-5). (E) Película mineral en un grano de cuarzo recolectado en un sotavento en la localidad de La Mancha (LM-S2-Q-

11). (F) Película mineral en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Boca Andrea (BA-C1-IL-12) (Fig. 56).

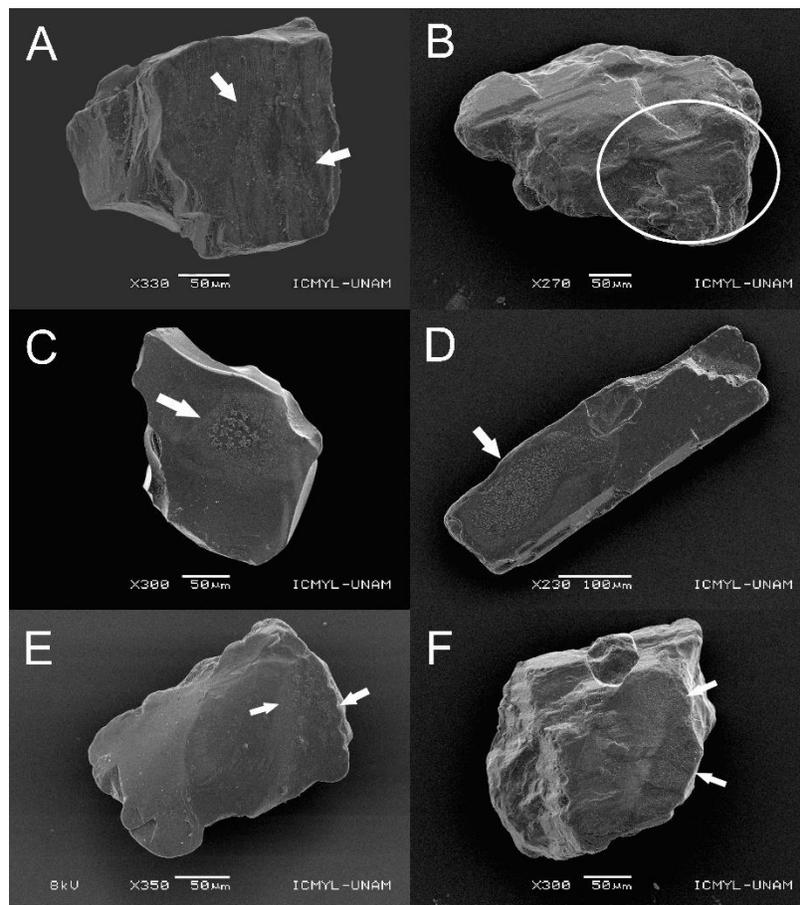


Fig. 56. Glóbulos, flores y película mineral.

Sobrecrecimiento mineral

(A) Sobrecrecimiento mineral en un grano de cuarzo recolectado en un sotavento en la localidad de Lechuguillas (LCH-S2-Q-16). (B) Sobrecrecimiento mineral en un grano de ilmenita recolectado en la mesoplaya de la localidad Boca Andrea (BA-M1-IL-4) (Fig.57).

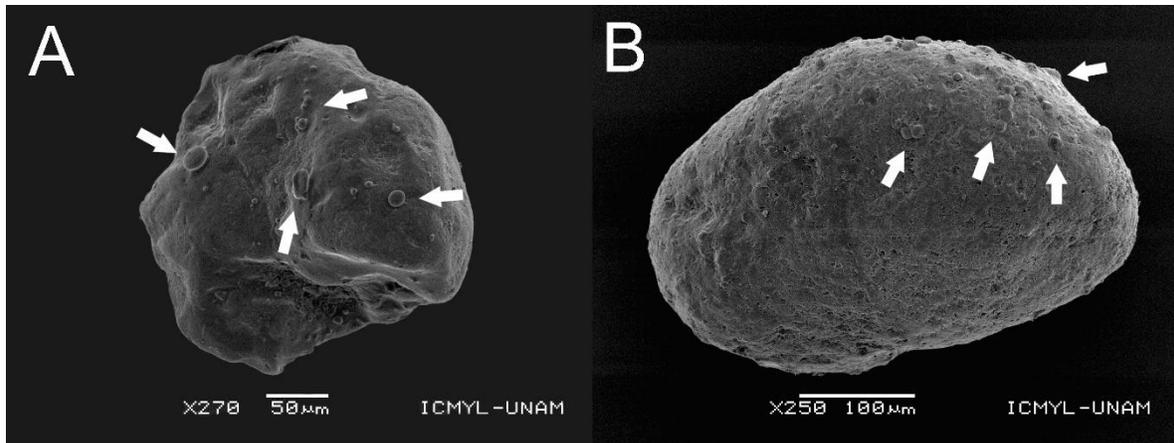


Fig. 57. Sobrecrecimiento mineral.

Microtexturas de origen mecánico-químico

Relieve

(A) Relieve bajo en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Chachalacas (CH-B4-Q-1). (B) Relieve bajo en un grano de ilmenita recolectado en la mesoplaya de la localidad de Palma Sola (PS-M1-IL-13). (C) Relieve medio en un grano de cuarzo recolectado en la mesoplaya de la localidad de El Farallón (EF-M2-Q-10). (D) Relieve medio en un grano de ilmenita recolectado en un barlovento en la localidad de Istirinchá (I-B2-IL-2). (E) Relieve alto en un grano de cuarzo recolectado en una cresta en la localidad de El Farallón (EF-C2-Q-11). (F) Relieve alto en un grano de ilmenita recolectado en una cresta en la localidad de Villa Rica (VR-C-IL-1) (Fig. 58).

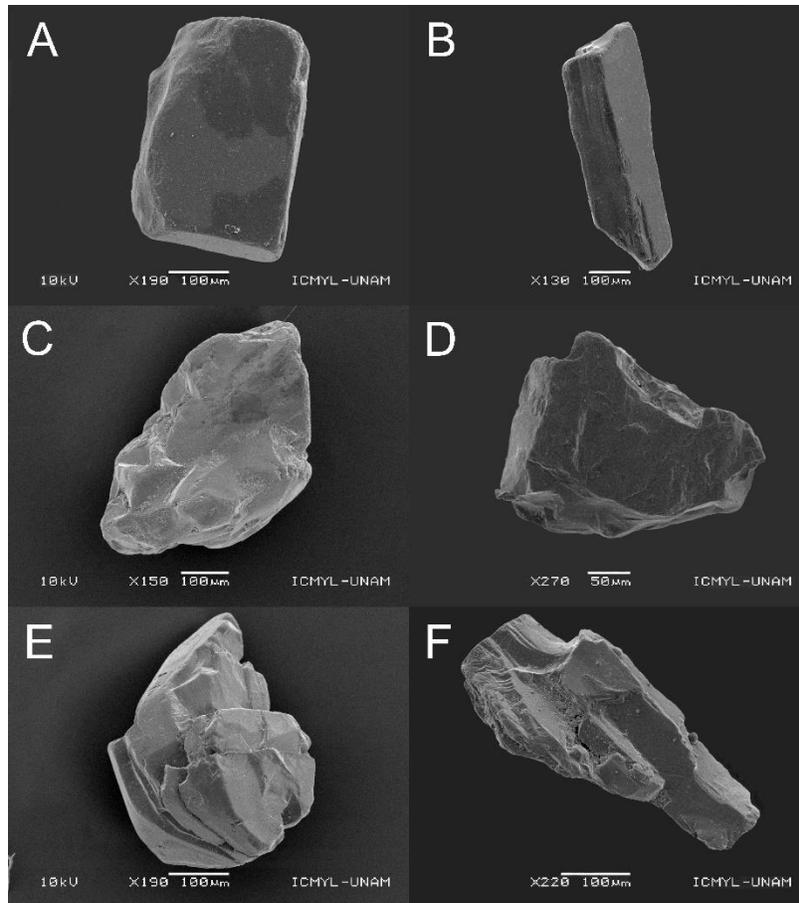


Fig. 58. Relieve.

Depresiones elongadas, partículas adheridas y fracturas

(A) Depresión elongada en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de El Morro (EMR-B2-Q-7). (B) Depresión elongada en un grano de ilmenita recolectado en un sotavento en la localidad de La Mancha (LM-S-IL-7). (C) Partícula adherida en un grano de cuarzo recolectado en un barlovento en la localidad de Istirinchá (I-B2-Q-4). (D) Partícula adherida en un grano de ilmenita recolectado en un barlovento en la localidad de Istirinchá (I-B2-IL-10). (E) (EF-C2-Q-1). (F) (LM-F-L-2) (Fig. 59).

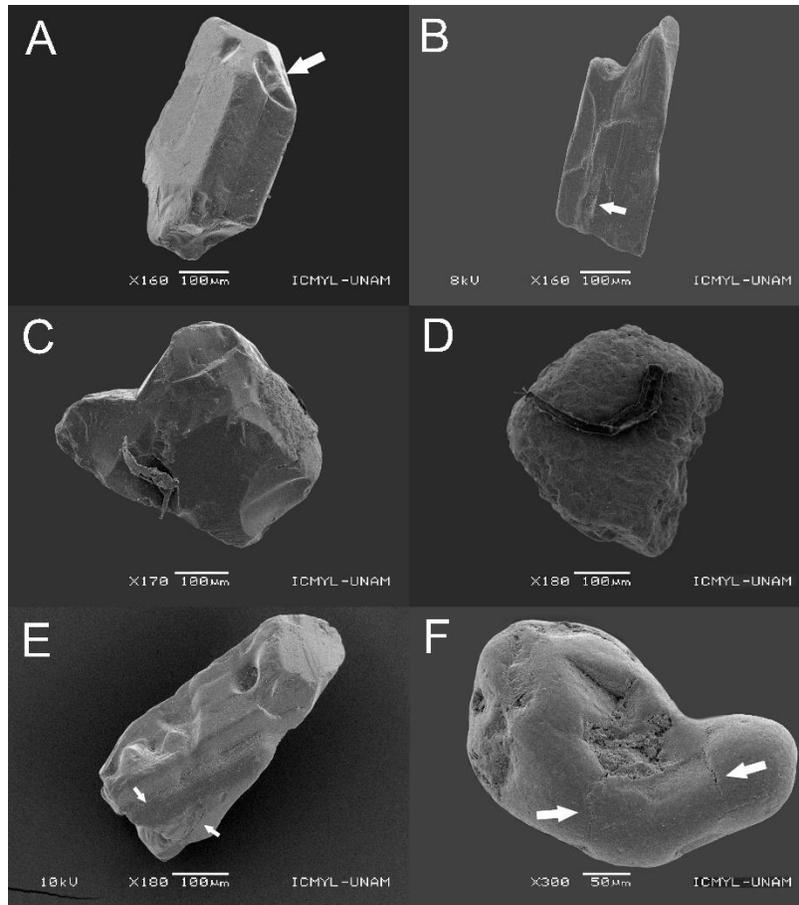


Fig. 59. Depresiones elongadas, partículas adheridas y fracturas.

Marcas de fricción

Únicamente se encontró en un grano de cuarzo perteneciente a la mesoplaya de la localidad de Lechuguillas. Si bien no es significativo, se muestra la imagen como constancia (Fig. 60).

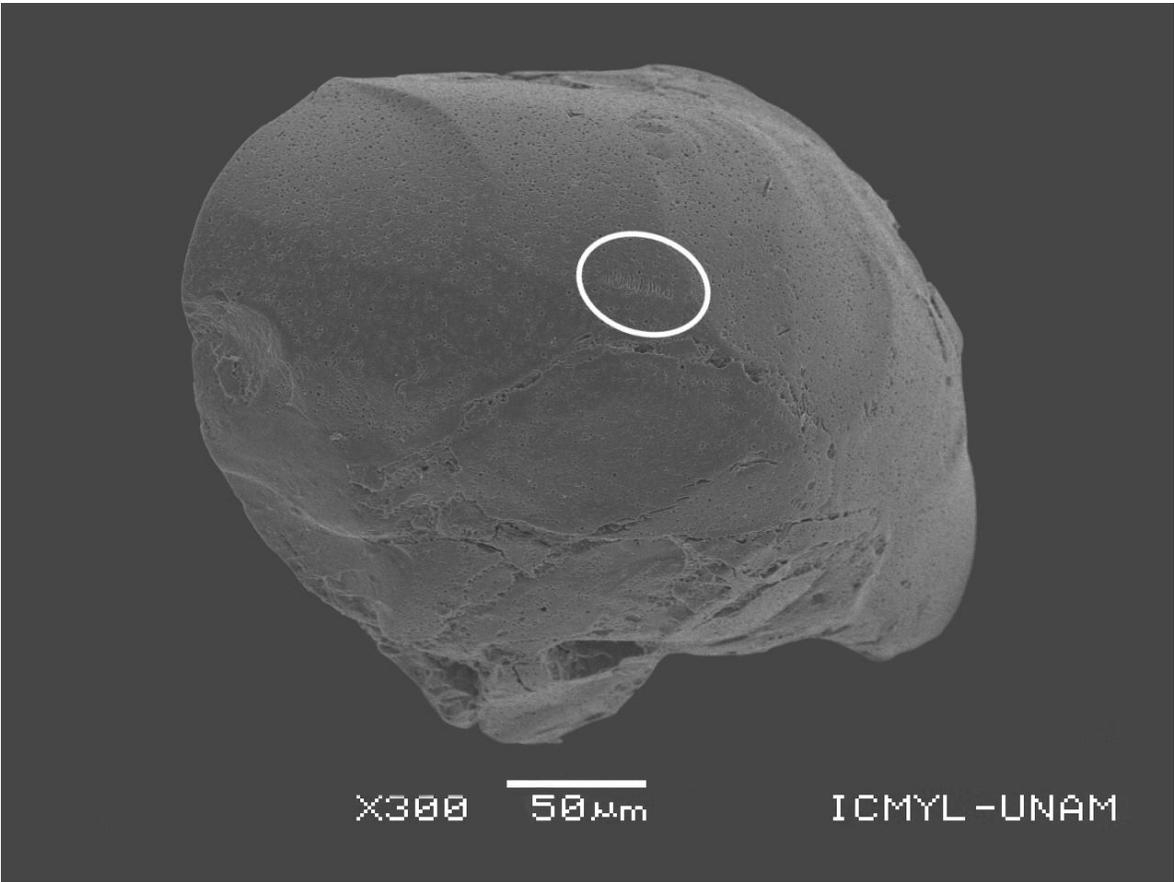


Fig. 60. Marcas de fricción.

Resultados por localidad

Se observaron a través del MEB un total de 624 granos de mineral, de los cuales 350 fueron de cuarzo y 274 de ilmenita correspondientes a los 5 tipos de sub ambientes (barlovento, cresta, sotavento, infraplaya y mesoplaya). A continuación, se muestra la distribución de granos de cuarzo y de ilmenita a lo largo de la línea de costa (Fig. 61), la gráfica fue realizada a partir de un análisis modal basado en Garzanti *et al.*, 2013 y publicado por Mendieta-Lora *et al.*, 2018.

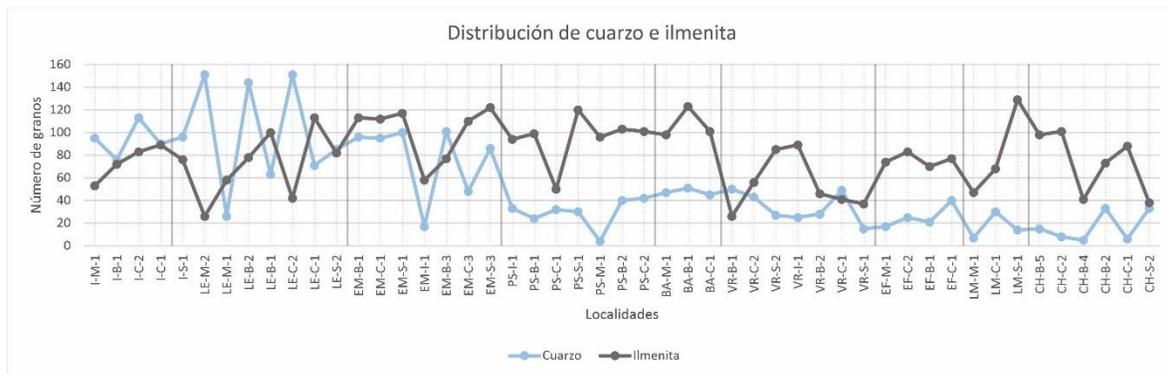


Fig. 61. Distribución de cuarzo e ilmenita a lo largo de la zona de estudio.

Istirinchá

Se observaron 65 granos de cuarzo (23 de barlovento, 20 de cresta y 22 de sotavento) y 45 granos de ilmenita (15 de barlovento, 15 de cresta y 15 de sotavento). En esta localidad predominan los granos angulosos en ambos minerales, mientras que los granos de contorno redondeado son minoría en ambos casos. No se encontraron fracturas concoidales pequeñas en ninguno de los dos minerales, mientras que, en el caso de las fracturas medianas y grandes, la abundancia es mayor en los granos de cuarzo en comparación con la ilmenita, siendo escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. En el caso de los escalones arqueados y rectos la abundancia en el cuarzo es común, mientras que en la ilmenita es escasa. En ambos minerales las marcas en V son raras, mientras que los surcos y estrías, láminas invertidas, marcas concéntricas y bordes de bulbo presentan una abundancia escasa en ambos minerales. Las marcas de abrasión son escasas en los granos de cuarzo, mientras que en la ilmenita son comunes y finalmente, las estrías paralelas son raras en ambos minerales.

En cuanto a las microtexturas de origen químico, se observa que los huecos y grietas de disolución, glóbulos, flores y película mineral son escasos en ambos minerales.

Las microtexturas de origen mecánico-químico en los granos de cuarzo cuentan con un relieve más abrupto, al ser los relieves altos y medios de abundancia común en comparación con los granos de ilmenita, en donde los relieves medios y bajos son los más comunes. En ambos minerales las depresiones elongadas, marcas de fricción y fracturas son raras, mientras que las partículas adheridas son abundantes en el cuarzo y comunes en la ilmenita.

Tabla 8. Porcentaje de microtexturas en *Istirinchá* (I) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

		De origen mecánico															De origen químico					De origen mecánico-químico											
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
I	C	52.3	32.3	15.4	0	13.8	5.77	24.6	22.3	21.9	12.3	2.31	8.46	5	9.62	9.62	13.8	0.38	0.77	0	11.2	12.3	15.8	8.46	6.54	2.69	23.1	36.9	40	1.92	1.54	31.2	3.85
	I	42.2	37.8	20	0	2.78	1.11	6.67	6.67	25	4.44	2.78	15.6	9.44	7.22	13.9	21.1	0.56	0	0	14.4	12.2	18.9	11.1	9.44	1.11	31.1	51.1	17.8	2.78	0	28.9	5

Lechuguillas

Se observaron 70 granos de cuarzo (23 de cresta, 22 de mesoplaza y 24 de sotavento) y 45 de ilmenita (15 de cresta, 15 de mesoplaza y 15 de sotavento). En esta localidad se determinó microtexturas de origen mecánico en ambos minerales, donde el contorno predominante es el anguloso, siendo en ambos casos una microtextura abundante, seguido por el contorno redondeado en el caso del cuarzo y el subanguloso en la ilmenita. En fracturas concoidales se encontró que son más comunes en el cuarzo siendo las pequeñas raras y las medianas y grandes escasas. En el caso de la ilmenita, las fracturas pequeñas son nulas y las medianas y grandes raras. Los escalones arqueados son comunes en el cuarzo, mientras que en la ilmenita son escasos y por su parte, los escalones rectos son escasos en ambos minerales. Las crestas meándricas son escasas en el cuarzo y comunes en la ilmenita. Las marcas en V son raras en ambos minerales, mientras que las estrías son raras en la ilmenita y nulas en el cuarzo. Los surcos y estrías son comunes en la ilmenita y las láminas invertidas y bordes de bulbo son escasas en el mismo mineral, mientras que en el cuarzo su abundancia es rara. Las marcas de abrasión muestran una abundancia escasa en ambos minerales y finalmente, las marcas concéntricas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita.

En las microtexturas de origen químico no se encontraron huecos orientados en la ilmenita y son raras en el cuarzo, mientras que tanto los huecos y grietas de disolución son microtexturas

escasas en ambos minerales. Los glóbulos minerales son comunes en ambos minerales, mientras que las flores y película mineral son escasos. Finalmente, el sobrecrecimiento mineral es raro en ambos casos.

Las microtexturas de origen mecánico-químico muestran que en ambos minerales son comunes los relieves altos y medios. No se encontraron depresiones elongadas en el cuarzo y son raras en la ilmenita, al opuesto que, en las marcas de fricción, en donde son nulas en la ilmenita y raras en el cuarzo. Las partículas adheridas son abundantes en ambos minerales y finalmente, se encontró que en ambos casos las fracturas son raras.

Tabla 9. Porcentaje de microtexturas en Lechuguillas (LE) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

LE		De origen mecánico															De origen químico					De origen mecánico-químico											
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectos o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de rituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
LE	C	49.28	26.09	24.64	0.362	11.59	6.159	23.19	17.75	19.57	7.246	1.812	3.986	3.986	12.68	9.42	15.22	0	0	0.362	8.696	15.94	23.91	12.68	7.609	4.348	26.09	40.58	33.33	0	1.087	32.25	3.986
	I	46.67	35.56	17.78	0	5	2.778	9.444	5	20.56	5	1.667	21.11	15	3.889	12.78	17.22	1.111	0	0	12.22	14.44	22.22	17.22	10.56	1.667	20	37.78	42.22	3.333	0	31.67	4.444

El Morro

Se observaron 46 granos de cuarzo (23 de barlovento y 23 de cresta) y 30 granos de ilmenita (15 granos de barlovento y 15 granos de cresta).

Las microtexturas de origen mecánico, como son los granos de contorno anguloso y sub anguloso son abundantes en ambos minerales, mientras que los redondeados son escasos en el cuarzo y comunes en la ilmenita. Las fracturas concoidales pequeñas son nulas en la ilmenita y raras en el cuarzo, las medianas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita y las grandes son raras en ambos minerales. Los escalones arqueados y rectos son escasos en ambos minerales. Las crestas meándricas son comunes en el cuarzo y escasas en la ilmenita. Las marcas en V son raras en ambos minerales, pero los surcos y estrías, láminas invertidas, marcas concéntricas y bordes de bulbo son escasos en ambos minerales. Las marcas de abrasión son comunes en el cuarzo y escasas en la ilmenita. Finalmente, las estrías paralelas son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita.

En las microtexturas de origen químico se observó que los huecos orientados son raros en el cuarzo y nulos en la ilmenita. Los huecos y grietas de disolución son escasas en ambos minerales. Los glóbulos son comunes en el cuarzo y escasos en la ilmenita, mientras que las flores, película y sobrecrecimientos minerales son escasos en ambos minerales.

En las microtexturas de origen mecánico-químico se encontró que en los granos de cuarzo el relieve medio es abundante, mientras que el relieve bajo y alto son comunes. Por su parte, en la ilmenita los tres tipos de relieve son abundantes. Se encontró que las depresiones elongadas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. Las marcas de fricción son nulas en ambos minerales, mientras que las partículas adheridas son abundantes en ambos. Finalmente, las fracturas son raras en ambos minerales.

Tabla 10. Porcentaje de microtexturas en El Morro (EM) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

EM		De origen mecánico																	De origen químico					De origen mecánico-químico									
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectos o curvados	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de rituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
EM	C	41.3	39.13	19.57	0.543	9.239	4.348	19.02	19.57	27.17	8.696	2.717	7.065	15.22	9.783	14.13	27.17	1.087	0.543	0.543	7.609	12.5	21.74	12.5	8.696	0.543	26.09	45.65	28.26	5.978	0	36.41	3.804
	I	46.67	33.33	20	0	4.167	0.833	10	8.333	15.83	4.167	1.667	10.83	12.5	8.333	14.17	17.5	0	0	0	15	13.33	18.33	14.17	8.333	1.667	36.67	30	33.33	0.833	0	31.67	4.167

Palma Sola

Se observaron 31 granos de cuarzo (18 de barlovento y 13 de mesoplaya) y 23 granos de ilmenita (8 de barlovento y 15 de mesoplaya). En microtexturas de origen mecánico se encontró que los granos de cuarzo subangulosos son abundantes, mientras que los angulosos y redondeados son comunes. En el caso de la ilmenita, el contorno redondeado es abundante, mientras que los granos angulosos son comunes y los subangulosos escasos. Las fracturas concoidales pequeñas y grandes en el cuarzo son raras y nulas en la ilmenita, mientras que las medianas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. Los escalones arqueados y rectos son comunes en el cuarzo y raros en la ilmenita. Las crestas meándricas son escasas en el cuarzo y comunes en la ilmenita, mientras que las superficies planas y marcas en V son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. Los surcos y estrías, láminas invertidas, marcas concéntricas y bordes de bulbo son escasos en ambos minerales, mientras que las marcas de

abrazión son escasas en el cuarzo, pero abundantes en la ilmenita. Finalmente, las estrías paralelas son nulas en ambos minerales.

En cuanto a las microtexturas de origen químico, los huecos orientados son nulos en ambos minerales. Los huecos de disolución son escasos en ambos minerales, pero las grietas son comunes en el cuarzo y abundantes en la ilmenita. Los glóbulos minerales son comunes en el cuarzo y escasos en la ilmenita, mientras que las flores y películas minerales son escasas en ambos casos. Finalmente, el sobrecrecimiento mineral es raro en ambos minerales.

En las microtexturas mecánico-químicas se observó, que en el cuarzo el relieve alto y medio es abundante, mientras que el bajo es escaso. Al contrario de la ilmenita, en donde el relieve bajo y medio son abundantes y el alto es escaso. En ambos minerales se encontró que las depresiones elongadas son raras al igual que las fracturas, mientras que las marcas de fricción son nulas en ambos minerales y las partículas adheridas comunes.

Tabla 11. Porcentaje de microtexturas en Palma Sola (PS) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

PS		De origen mecánico															De origen químico							De origen mecánico-químico									
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
PS	C	25.81	48.39	25.81	4.032	19.35	4.839	22.58	22.58	29.03	8.871	16.94	9.677	18.55	19.35	9.677	10.48	0	0	0	9.677	21.77	26.61	14.52	15.32	1.613	6.452	48.39	45.16	4.032	0	37.1	4.032
	I	21.74	17.39	60.87	0	2.174	0	4.348	3.261	30.43	2.174	2.174	13.04	15.22	8.696	15.22	22.83	0	0	0	11.96	42.39	15.22	15.22	7.609	1.087	56.52	34.78	8.696	3.261	0	31.52	5.435

Boca Andrea

Se observaron 24 granos de cuarzo (12 de cresta y 12 de mesoplaya) y 24 granos de ilmenita (11 de cresta y 13 de mesoplaya). Se encontró que, en las microtexturas de origen mecánico, el contorno redondeado es abundante en ambos minerales, mientras que el anguloso y subanguloso son comunes de igual manera. No se encontraron fracturas concoidales pequeñas en ninguno de los dos minerales, mientras que las medianas son escasas en ambos y las grandes únicamente en el cuarzo, siendo raras en el caso de la ilmenita. Los escalones arqueados y rectos son escasos en ambos minerales. Las crestas meándricas son comunes en ambos minerales y las superficies planas son escasas en el cuarzo, pero raras en la ilmenita. Las marcas en V son raras en ambos minerales al igual que las estrías paralelas, mientras que los surcos y estrías lo son únicamente en el cuarzo, y escasas en la ilmenita. Las láminas

invertidas y marcas concéntricas son escasas en los dos minerales, mientras que las marcas de abrasión son escasas en la ilmenita, pero comunes en el cuarzo.

No se encontraron huecos orientados en ningún mineral, los huecos de disolución son escasos en ambos casos y las grietas lo son solo en el cuarzo, siendo comunes en el caso de la ilmenita. Tanto los glóbulos, flores y película mineral son escasos en ambos minerales, mientras que el sobrecrecimiento es raro.

En las microtexturas mecánico-químicas, el cuarzo presenta relieve medio abundante, alto común y bajo escaso, mientras que en la ilmenita el relieve predominante es el bajo, seguido por el relieve medio y finalmente el alto. Las depresiones elongadas y fracturas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita, mientras que las marcas de fricción son nulas en ambos minerales y finalmente, se observó que las partículas adheridas son comunes.

Tabla 12. Porcentaje de microtexturas en Boca Andrea (BA) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

BA		De origen mecánico															De origen químico										De origen mecánico-químico						
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
BA	C	25	29.17	45.83	0	12.5	11.46	19.79	16.67	27.08	13.54	2.083	2.083	8.333	11.46	15.63	26.04	1.042	0	0	13.54	10.42	19.79	16.67	18.75	4.167	8.333	66.67	25	7.292	0	26.04	6.25
	I	25	25	50	0	5.208	4.167	9.375	6.25	20.83	3.125	3.125	7.292	11.46	8.333	25	19.79	1.042	0	0	15.63	20.83	18.75	10.42	6.25	4.167	54.17	29.17	16.67	2.083	0	21.88	2.083

Villa Rica

Se observaron 32 granos de cuarzo (14 de cresta y 18 de sotavento) y 28 de ilmenita (14 de cresta y 14 de sotavento). En las microtexturas de origen mecánico se observó que en el cuarzo los tres tipos de contorno son abundantes, mientras que, en el caso de la ilmenita, el contorno subredondeado y redondeado son abundantes y el contorno anguloso es común. Las fracturas concoidales pequeñas son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita, mientras que las medianas y grandes son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. Los escalones arqueados son escasos en ambos minerales, mientras que los rectos son escasos en el cuarzo y raros en la ilmenita. Se encontró que las crestas meándricas son comunes en el cuarzo y escasas en la ilmenita, mientras que las superficies planas, marcas en V, surcos y estrías, bordes en bulbo y marcas de abrasión son escasas en ambos minerales. Por su parte, las marcas concéntricas

son comunes en el cuarzo y escasas en la ilmenita, las estrías paralelas son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita.

En las microtexturas de origen químico, no se encontraron huecos orientados en ninguno de los granos, los huecos de disolución son escasos en ambos minerales y las grietas de disolución son comunes en el cuarzo y escasas en la ilmenita. Los glóbulos son comunes en el cuarzo y escasos en la ilmenita, las flores, película y sobrecrecimiento mineral son escasos en el cuarzo, mientras que en la ilmenita son escasas, raras y nulas, respectivamente.

En las microtexturas de origen mecánico-químico, el relieve alto y medio son abundantes en el cuarzo y el bajo es escaso. En el caso de la ilmenita, el relieve bajo y medio son abundantes, mientras que el alto es escaso. Se encontró que en ambos minerales las depresiones elongadas son raras, las fracturas son nulas en el cuarzo y raras en la ilmenita, mientras que las marcas de fricción son nulas en ambos casos. Finalmente, las partículas adheridas son comunes en ambos minerales.

Tabla 13. Porcentaje de microtexturas en Villa Rica (VR) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

		De origen mecánico															De origen químico										De origen mecánico-químico						
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meándricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Laminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
VR	C	31.25	43.75	25	0.781	11.72	13.28	16.41	10.94	21.09	10.16	9.375	8.594	10.94	21.88	7.031	13.28	1.563	0	0	7.813	22.66	24.22	12.5	7.813	13.28	15.63	46.88	37.5	3.906	0	28.91	0
	I	21.43	39.29	39.29	0	1.786	2.679	5.357	4.464	16.96	6.25	5.357	13.39	3.571	9.821	19.64	11.61	0	0	0	8.929	18.75	16.96	8.929	4.464	0	39.29	46.43	14.29	3.571	0	21.43	4.464

El Farallón

Se observaron 27 granos de cuarzo (11 de mesoplaya y 16 de cresta) y 30 granos de ilmenita (15 de mesoplaya y 15 de cresta). En las microtexturas de origen mecánico se observó que en el cuarzo los contornos subangulosos y redondeados son abundantes, mientras que el anguloso es escaso. En el caso de la ilmenita, los granos de contorno anguloso y redondeado son abundantes, mientras que los subangulosos son comunes. No se encontraron fracturas concoidales pequeñas en ningún grano, mientras que las medianas son raras en el cuarzo y escasas en la ilmenita, al contrario de las fracturas grandes, las cuales son escasas en el cuarzo, pero raras en la ilmenita. Se encontró que tanto los escalones arqueados como los rectos son escasos en ambos minerales. Las crestas meándricas son comunes tanto en el

cuarzo como en la ilmenita y las marcas en V raras en ambos. Por su parte, se encontró que los surcos y estrías, láminas invertidas, marcas concéntricas, bordes en bulbo y marcas de abrasión son escasas en ambos minerales. Finalmente, no se encontraron estrías paralelas en ningún grano.

En microtexturas de origen químico, no se encontraron huecos orientados en ningún grano. Los huecos de disolución son escasos en ambos minerales, mientras que las grietas son raras en el cuarzo y escasas en la ilmenita. Los glóbulos y flores son escasas en ambos minerales, mientras que las películas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita, al igual que el sobrecrecimiento mineral.

En las microtexturas de origen mecánico-químico, se encontró que, en el caso de cuarzo, el relieve medio es abundante, mientras que tanto el alto como el bajo son comunes. En la ilmenita, los tres tipos de relieve son abundantes. Tanto las depresiones elongadas como las fracturas son raras en el cuarzo y escasas en la ilmenita, mientras que las marcas de fricción son nulas. Finalmente, se encontró que las partículas adheridas son comunes en ambos minerales.

Tabla 14. Porcentaje de microtexturas en El Farallón (EF) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

		De origen mecánico															De origen químico							De origen mecánico-químico																																						
		C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I																																									
		14.81	30	37.04	26.67	48.15	43.33	0	0	3.704	6.667	5.556	4.167	9.259	10.83	7.407	10.83	28.7	23.33	1.852	6.667	1.852	2.5	6.481	8.333	18.52	11.67	6.481	7.5	19.44	14.17	9.259	13.33	0	0	0	0	10.19	15	4.63	19.17	18.52	9.167	14.81	5	5.556	1.667	7.407	0.833	29.63	36.67	48.15	30	22.22	33.33	5	1.852	0	21.3	25	3.704	5

La Mancha

Se observaron 30 granos de cuarzo (17 de sotavento y 13 de mesoplaya) y 25 granos de ilmenita (13 de sotavento y 12 de mesoplaya). En las microtexturas de origen mecánico se observó que, en el caso del cuarzo, los tres tipos de contorno son abundantes, mientras que en la ilmenita son abundantes los granos subangulosos y redondeados, pero los angulosos son comunes. Se encontró que, las fracturas concoidales pequeñas son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita. Las fracturas medianas y grandes son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. Los escalones arqueados son escasos en el cuarzo y raros en la ilmenita, mientras

que los escalones rectos son comunes en el cuarzo y raros en la ilmenita. Las crestas meándricas son comunes en ambos minerales, las superficies planas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita, las marcas en V son raras en ambos minerales, los surcos y estrías son nulas en el cuarzo y escasas en la ilmenita, y las láminas invertidas y bordes de bulbo son escasas en ambos minerales. Las marcas concéntricas son escasas en el cuarzo y raras en la ilmenita. No se encontraron estrías paralelas en los granos de cuarzo y fueron encontradas como raras en la ilmenita.

En las microtexturas de origen químico, se encontró que no hay huecos orientados en ninguno de los minerales, los huecos de disolución son escasos en ambos minerales, mientras que las grietas de disolución son escasas en el cuarzo y comunes en la ilmenita. Los glóbulos son comunes en el cuarzo y escasos en la ilmenita, las flores son escasas en ambos minerales y la película mineral es escasa en el cuarzo y rara en la ilmenita. Finalmente, el sobrecrecimiento mineral es raro en ambos minerales.

Dentro de las microtexturas de origen mecánico-químico, se encontró que en ambos minerales el relieve bajo y medio son abundantes, mientras que el alto es común. Las depresiones elongadas, como las fracturas, son raras en el cuarzo e ilmenita. No se encontraron marcas de fricción en ninguno de los minerales y finalmente, se encontró que las partículas adheridas son microtexturas comunes en ambos minerales.

Tabla 15. Porcentaje de microtexturas en La Mancha (LM) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

LM		De origen mecánico															De origen químico							De origen mecánico-químico									
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrías rectos o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Glóbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones elongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
LM	C	30	33.33	36.67	1.667	15.83	5	16.67	21.67	23.33	11.67	1.667	0	14.17	3.333	12.5	15.83	0	0	0	5.833	8.333	20.83	16.67	16.67	3.333	36.67	40	23.33	2.5	0	29.17	4.167
	I	20	32	48	0	3	1	4	2	21	2	13	9	6	17	23	2	0	0	0	14	23	11	7	3	3	36	44	20	4	0	24	3

Chachalacas

Se observaron 25 granos de cuarzo (14 de barlovento y 11 de infraplaya) y 25 granos de ilmenita (14 de barlovento y 11 de sotavento). En las microtexturas de origen mecánico, se observó que, en el cuarzo los contornos subangulosos y redondeados son abundantes, mientras que los granos angulosos son escasos. En la ilmenita, los contornos redondeados

son abundantes, los subredondeados comunes y los angulosos escasos. No se encontraron fracturas concoidales pequeñas en ninguno de los granos, las medianas son raras en el cuarzo e ilmenita y las grandes son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita. Los escalones arqueados y rectos son raros en ambos minerales y las crestas meándricas y superficies de fractura escasas. Se encontró que no hay marcas en V en los granos de cuarzo y que son raras en el caso de la ilmenita y los surcos y estrías son raros en ambos minerales. Tanto las láminas invertidas como las marcas concéntricas son raras en el cuarzo y escasas en la ilmenita, los bordes de bulbo son escasos en el cuarzo, pero abundantes en la ilmenita y las marcas de abrasión son comunes en ambos minerales. Finalmente, se encontró que las estrías paralelas son raras en el cuarzo y nulas en la ilmenita.

En las microtexturas de origen químico se encontró que los huecos orientados son raros en la ilmenita y nulos en el cuarzo, mientras que los huecos y grietas de disolución son microtexturas escasas en ambos minerales. Los glóbulos son comunes en ambos minerales y tanto las flores como la película mineral son escasas, finalmente, el sobrecrecimiento mineral es raro en ambos minerales.

En las microtexturas mecánico-químicas, se encontró que en ambos minerales el relieve medio es abundante, mientras que los relieves bajos y altos son comunes. Las depresiones elongadas son raras en el cuarzo y escasas en la ilmenita, mientras que las fracturas son raras en ambos minerales y las marcas de fricción nulas. Finalmente, se observó que en ambos casos las partículas adheridas son abundantes.

Tabla 16. Porcentaje de microtexturas en Chachalacas (CH) de cuarzo (C) e ilmenita (I).

CH		De origen mecánico																De origen químico						De origen mecánico-químico									
		C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I	C	I												
		16	48	36	0	3	2	4	4	9	8	0	4	4	1	15	25	3	0	0	10	16	25	13	8	3	24	48	28	3	0	31	1
		16.67	29.17	54.17	0	2.083	0	3.125	1.042	10.42	5.208	1.042	4.167	5.208	7.292	32.29	22.92	0	0	1.042	11.46	16.67	20.83	12.5	8.333	2.083	20.83	54.17	25	7.292	0	34.38	3.125

Finalmente, se juntaron los resultados de cada una de las localidades en un compilado total (Tabla 18), en el cual, se sustituyeron los números por figuras con la finalidad de facilitar su observación e identificación:

En donde: Abundancia nula (~), Rara (■), Escasa (▲), Común (●) y Abundante (■).

Tabla 17. Abundancia de microtextura

De origen mecánico-químico	Fracturas	■	◀	■	■	■	■	■	◀	◀	■	?	■	■	◀	■	■	■	■
	Partículas adheridas	■	●	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	●	●	●	■	■	■
	Marcas de fricción	■	?	■	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
	Depresiones enlongadas	■	■	?	■	◀	■	■	■	◀	■	■	■	■	◀	■	■	■	◀
	Relieve alto	■	◀	■	■	●	■	■	◀	●	■	■	◀	●	■	●	●	●	●
	Relieve medio	■	■	■	■	■	■	■	■	■	●	■	■	■	■	■	■	■	■
	Relieve bajo	●	■	●	●	●	■	◀	■	◀	■	■	■	■	■	■	■	●	●
De origen químico	Sobrecrecimiento mineral	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Película mineral	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	■	◀	■	◀	■	◀	◀
	Flores	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀
	Glóbulos	◀	◀	●	●	●	◀	●	◀	●	◀	●	◀	◀	◀	◀	●	◀	●
	Grietas de disolución	◀	◀	◀	◀	◀	◀	●	■	◀	●	●	◀	◀	◀	◀	◀	●	◀
	Huecos de disolución	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀
	Huecos orientados	?	?	?	?	■	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	■
"Imbricated grinding features"	■	?	?	?	■	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	
De origen mecánico	Estrías paralelas	?	■	?	■	■	?	?	?	■	■	■	?	?	?	?	■	■	?
	Marcas de abrasión	◀	●	◀	◀	●	◀	◀	●	●	●	◀	◀	◀	◀	◀	●	●	●
	Bordes de bulbo	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	●	◀	●	◀	◀	◀	◀	◀	■
	Marcas concéntricas	◀	◀	◀	■	◀	◀	◀	◀	◀	◀	●	◀	◀	◀	■	◀	■	◀
	Láminas invertidas	◀	◀	■	◀	◀	◀	◀	◀	◀	◀	■	◀	◀	◀	◀	◀	■	◀
	Surcos y estrias rectas o curvadas	◀	◀	■	●	◀	◀	◀	◀	■	◀	◀	◀	◀	◀	◀	?	◀	■
	Marcas en V	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	?
	Superficies planas por fractura	◀	■	◀	◀	◀	■	◀	■	◀	■	◀	◀	■	◀	◀	■	◀	◀
	Crestas meandricas	●	●	●	●	●	◀	●	■	●	●	●	◀	●	●	●	●	●	◀
	Escalones rectos	●	◀	◀	◀	●	◀	●	■	◀	◀	◀	■	◀	◀	◀	●	■	■
	Escalones arqueados	●	◀	●	◀	◀	◀	●	■	●	◀	◀	◀	◀	◀	◀	■	■	■
	Fracturas concoidales grandes	◀	■	◀	■	■	■	◀	?	◀	■	◀	■	◀	■	◀	■	■	?
	Fracturas concoidales medianas	◀	■	◀	◀	◀	■	◀	■	◀	◀	◀	■	■	◀	◀	■	■	■
	Fracturas concoidales pequeñas	?	?	?	?	■	?	■	?	?	?	■	?	?	?	■	?	?	?
	Contorno redondeado	◀	●	●	◀	●	●	●	■	■	■	●	■	■	■	■	■	■	■
Contorno sub anguloso	■	■	●	■	■	■	■	◀	●	●	■	■	■	●	■	■	■	●	
Contorno anguloso	■	■	■	■	■	■	●	●	●	●	■	●	◀	■	■	●	◀	◀	
		Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita	Cuarzo	Ilmenita
	Istrinchá	Lechuguillas		El Morro		Palma Sola		Boca Andrea		Villa Rica		El Farallón		La Mancha		Chachalacas			

Análisis multivariado

Se realizaron dos series de dendrogramas a partir de 3 microtexturas de cada origen para observar la semejanza existente entre cada localidad. Los primeros se realizaron a partir de las microtexturas que se consideró influyen en la morfología general del grano, las elegidas para ambos minerales fueron: contorno angular, contorno redondeado y cuestas meándricas para las microtexturas mecánicas; huecos de disolución, grietas de disolución y glóbulos de sílice para las microtexturas químicas; y relieve bajo, alto y depresiones elongadas para las de origen mecánico-químico. En el caso de las microtexturas mecánicas de contorno y mecánico-químicas de relieve se evitó usar los parámetros medios (contorno sub redondeado y relieve medio)

Por su parte, la segunda serie de dendrogramas se realizó a partir de las microtexturas más abundantes en cada localidad. Las microtexturas utilizadas se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Microtexturas más abundantes por localidad.

	Cuarzo	Ilmenita
I	Escalones arqueados	Crestas meándricas
LE	Glóbulos minerales	Glóbulos minerales
EM	Crestas meándricas	Glóbulos minerales
PS	Crestas meándricas	Grietas de disolución
BA	Crestas meándricas	Bordes de bulbo
VR	Glóbulos minerales	Bordes de bulbo
EF	Crestas meándricas	Crestas meándricas
LM	Crestas meándricas	Fatiga de abrasión
CH	Fatiga de abrasión	Bordes de bulbo

Debido a que en ambos minerales las microtexturas más abundantes son de origen mecánico o químico, se agregaron al dendrograma las microtexturas mecánico-químicas de depresiones elongadas y fracturas arqueadas, rectas o poligonales.

Comparación espacial de distribución de microtexturas

Se contabilizó el total de microtexturas de origen mecánico, químico y mecánico-químico de ambos minerales y los resultados se normalizaron al 100%, posteriormente se graficaron los valores obtenidos para comparar la abundancia entre ambos minerales.

Los valores cuantificados de microtexturas de origen mecánico muestran mayor abundancia en el caso del cuarzo sobre la ilmenita en las localidades de Istirinchá, Lechuguillas, El Morro, Palma Sola, Boca Andrea, Villa Rica y La Mancha; mientras que en las localidades de El Farallón y Chachalacas el valor es mayor en el caso de la ilmenita (Fig. 62).

En el caso de las microtexturas de origen químico se observó predominancia en el caso de la ilmenita, siendo más abundante en las localidades de Istirinchá, Lechuguillas, El Morro, Palma Sola, Boca Andrea y La Mancha; mientras que, en el caso de Villa Rica, El Farallón y Chachalacas, el cuarzo es más abundante (Fig. 63).

Para las microtexturas de origen mecánico-químico se observó que al igual que en el caso de las microtexturas químicas, existe predominancia en por parte de la ilmenita sobre el cuarzo, siendo más abundantes en todas las localidades con excepción de Boca Andrea (Fig. 64)

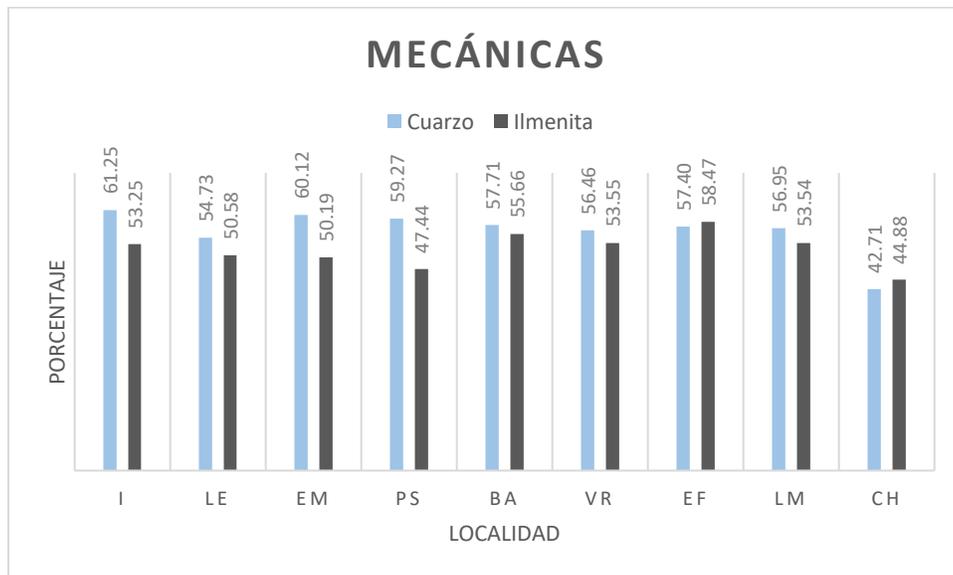


Fig. 62. Comparación de abundancia de microtexturas mecánicas.

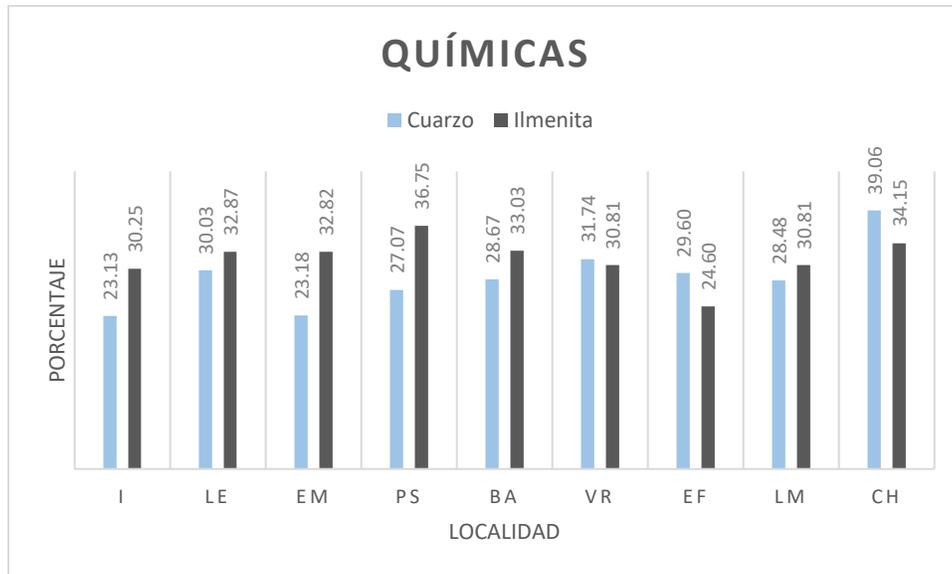


Fig. 63. Comparación de abundancia de microtexturas químicas.

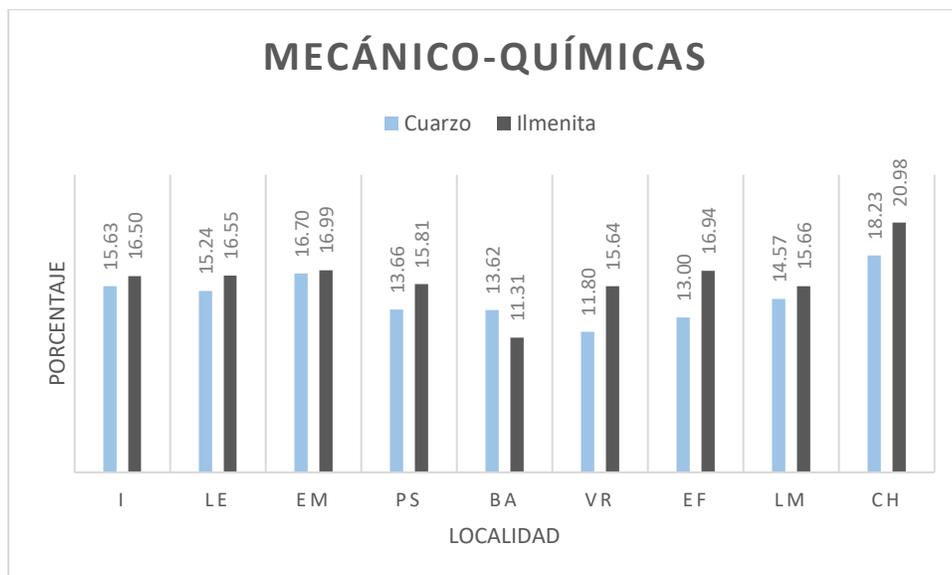


Fig. 64. Comparación de abundancia de microtexturas mecánico-químicas.

Comparación de distribución de microtexturas más abundantes

Con la finalidad de comparar la distribución de las microtexturas a lo largo de la línea de costa, se graficaron los resultados del conteo de las microtexturas más abundantes de cada origen: contorno angular, contorno redondeado, escalones arqueados y crestas meándricas para el origen mecánico; huecos de disolución y glóbulos para las de origen químico; y relieve alto y bajo para las mecánico-químicas. Se compararon las microtexturas relacionadas

entre sí para observar su distribución, generando 4 gráficas: contorno angular (CA) con contorno redondeado (CR) (Fig. 65), escalones arqueados (EA) con crestas meándricas (CM) (Fig. 66), huecos de disolución (HD) con glóbulos (G) (Fig. 67) y relieve bajo (RB) con relieve alto (RA) (Fig. 68).

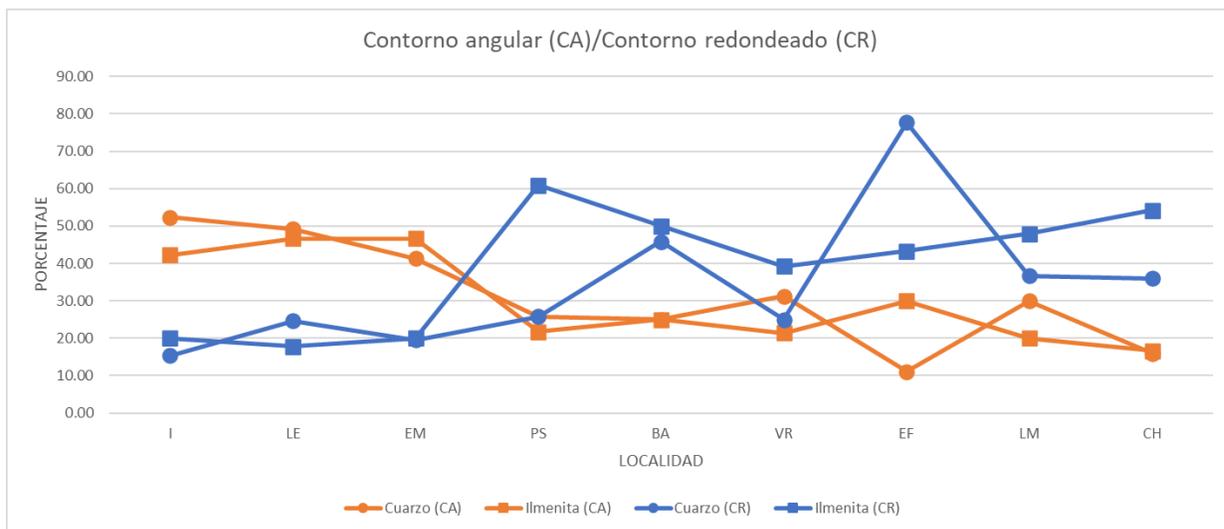


Fig. 65. Distribución de contorno angular y contorno redondeado.

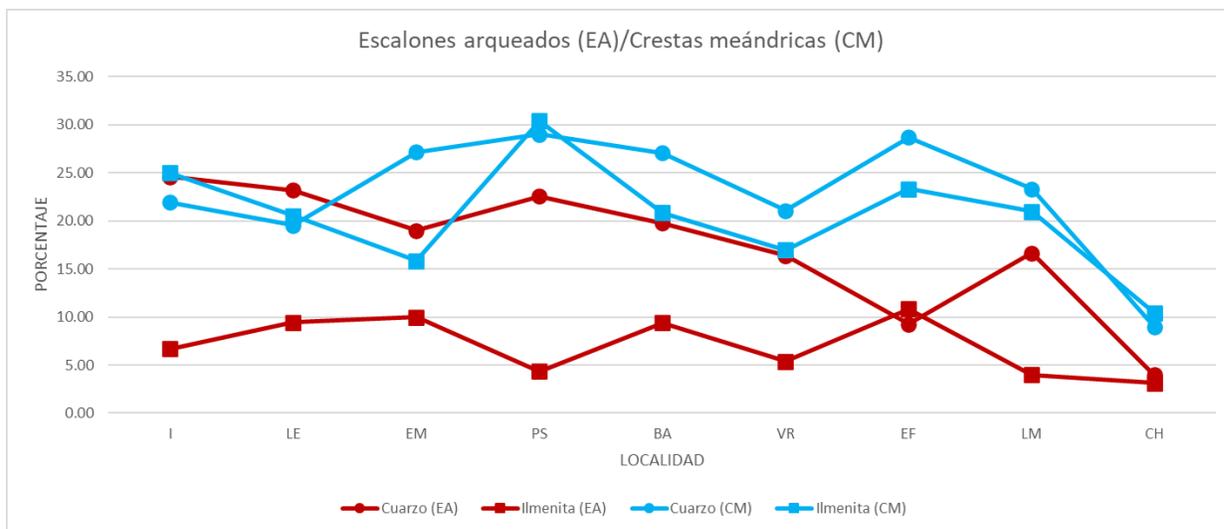


Fig. 66. Distribución de escalones arqueados y crestas meándricas.

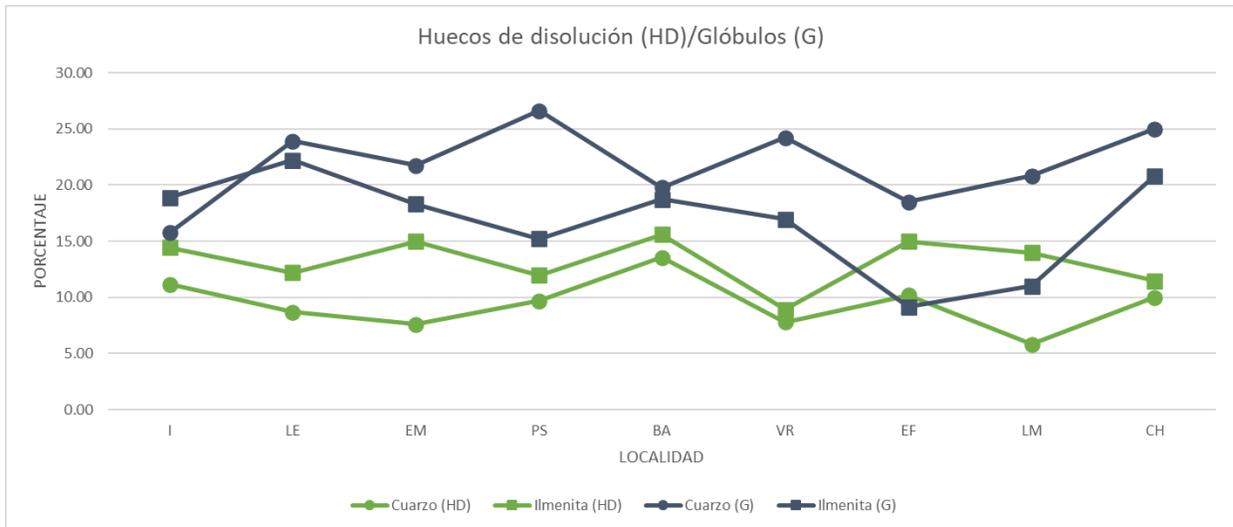


Fig. 67. Distribución de huecos de disolución y glóbulos.

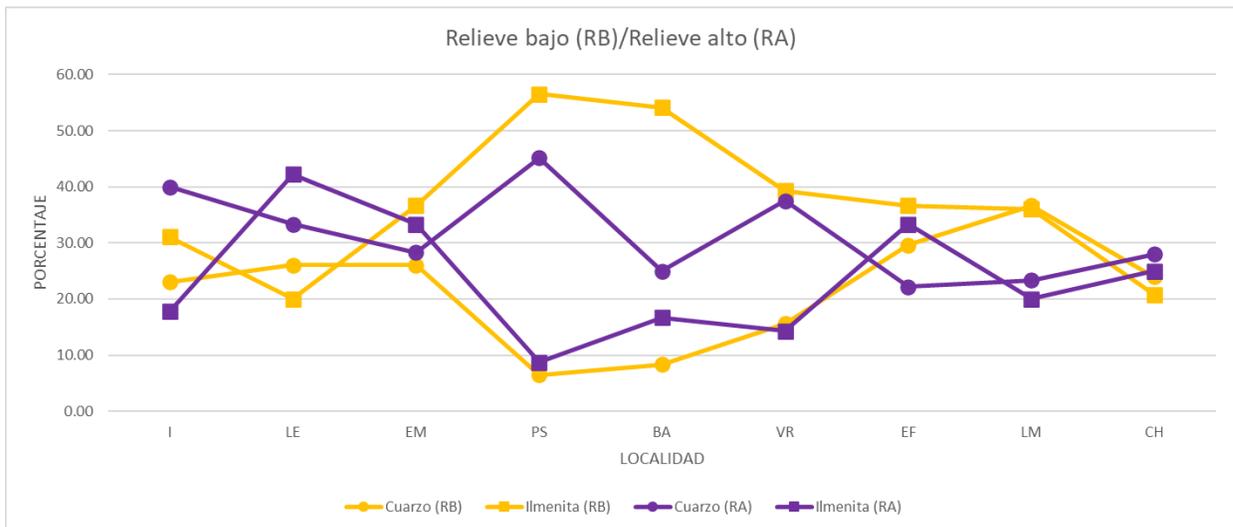


Fig. 68. Distribución de relieve bajo y relieve alto.

La comparación entre la distribución del contorno angular y contorno redondeado muestra una gradual inversión entre la predominancia en ambos minerales. El contorno angular es predominante en ambos minerales en las localidades de Istirinchá (52% en cuarzo y 42% en ilmenita), Lechuguillas (49% en cuarzo y 46% en ilmenita) y El Morro (41% en cuarzo y 46% en ilmenita); posteriormente, en la localidad de Palma Sola el porcentaje de abundancia del contorno angular decrece en ambos minerales a la par que el contorno redondeado aumenta, en el caso del cuarzo en ambas microtexturas la abundancia es del 25%, mientras que la ilmenita de contorno redondeado llega hasta el 60% y la angular al 21%. A partir de

la localidad de Boca Andrea el no hay grandes variaciones en porcentaje de contorno angular en ambos minerales, manteniéndose entre el 20% y 30%, con excepción de cuarzo en la localidad de El Farallón, donde el porcentaje disminuye hasta el 11%. Mientras que en el caso del contorno redondeado existen variaciones en la distribución en ambos minerales a partir de la localidad de El Farallón, en donde la distribución del cuarzo redondeado es del 77%, mientras que en el caso de la ilmenita redondeada el porcentaje es del 43%.

En la distribución de los escalones arqueados se puede observar predominancia en el caso del cuarzo con porcentajes de entre el 15% y el 25% por sobre la ilmenita, donde el porcentaje de abundancia esta entre el 3% y 10% en todas las localidades, con la excepción de la localidad de El Farallón, los escalones arqueados en la ilmenita son más abundantes que en el cuarzo, con el 10% y el 9% respectivamente. De igual manera, se puede observar que el decrecimiento en la abundancia de los escalones arqueados en el cuarzo comienza en la localidad de Villa Rica. Finalmente, se puede observar que en la localidad de Palma Sola existe la mayor brecha entre la abundancia de ambos minerales, siendo la abundancia de ilmenita de 4% contra 22% del cuarzo.

Por su parte, la distribución de crestas meándricas es similar en ambos minerales, siendo más abundantes en el cuarzo en todas las localidades con excepción de Istirinchá, Lechuguillas, Palma Sola y Chachalacas, en donde la abundancia en ilmenita es de 25%, 21%, 31% y 10% respectivamente contra 21%, 20%, 30% y 9% en el cuarzo.

En el caso de la distribución de los huecos de disolución, se puede observar una distribución similar en ambos minerales, siendo la ilmenita más abundante en todas las localidades y sólo mostrando una diferencia de más del 5% en la abundancia en las localidades de Palma Sola con 7% de diferencia y La Mancha con 9%. En el caso de los glóbulos minerales la abundancia es mayor en el cuarzo en todas las localidades con excepción de Istirinchá, donde la abundancia de la ilmenita es del 18% contra 15% del cuarzo, y en donde, la diferencia más marcada entre la abundancia en ambos minerales se da en las localidades de Palma Sola y El Farallón, con una diferencia entre minerales de 11% y 9% respectivamente.

En la distribución del relieve alto se puede observar que la abundancia es mayor en el caso de la ilmenita en todas las localidades con excepción de Lechuguillas, donde la abundancia del cuarzo es del 26% contra 20% de la ilmenita. Se puede observar una gran diferencia entre

la abundancia entre ambos minerales a partir de la localidad de Palma Sola, en donde la abundancia del cuarzo es de 8% contra el 56% de la ilmenita. Esta diferencia tan grande entre la abundancia entre ambos minerales continua en las localidades de Boca Andrea (8% para el cuarzo y 54% para la ilmenita) y Villa Rica (15% para el cuarzo y 37% para la ilmenita). Posteriormente la diferencia entre la abundancia se reduce a 29% en cuarzo y 36% en ilmenita en la localidad de El Farallón., para continuar con una diferencia mínima en las localidades de La Mancha y Chachalacas.

Clasificación con microtexturas morfológicas

Cuarzo

En la Fig. 69 se puede observar que se forman los grupos primarios A y B con un nivel de semejanza de 77.63% y 79.87% respectivamente. El grupo A se divide en los subgrupos A1, conformado por las localidades Istirinchá, Lechuguillas y El Morro, con una similitud del 95.97%; y A2, conformado por Palma sola y Villa Rica, con una similitud de 95.52%. Por su parte, el grupo B se divide en los subgrupos B1, conformado únicamente por la localidad de Boca Andrea; y B2, conformado por El Farallón, La Mancha y Chachalacas, con una similitud del 86.36%.

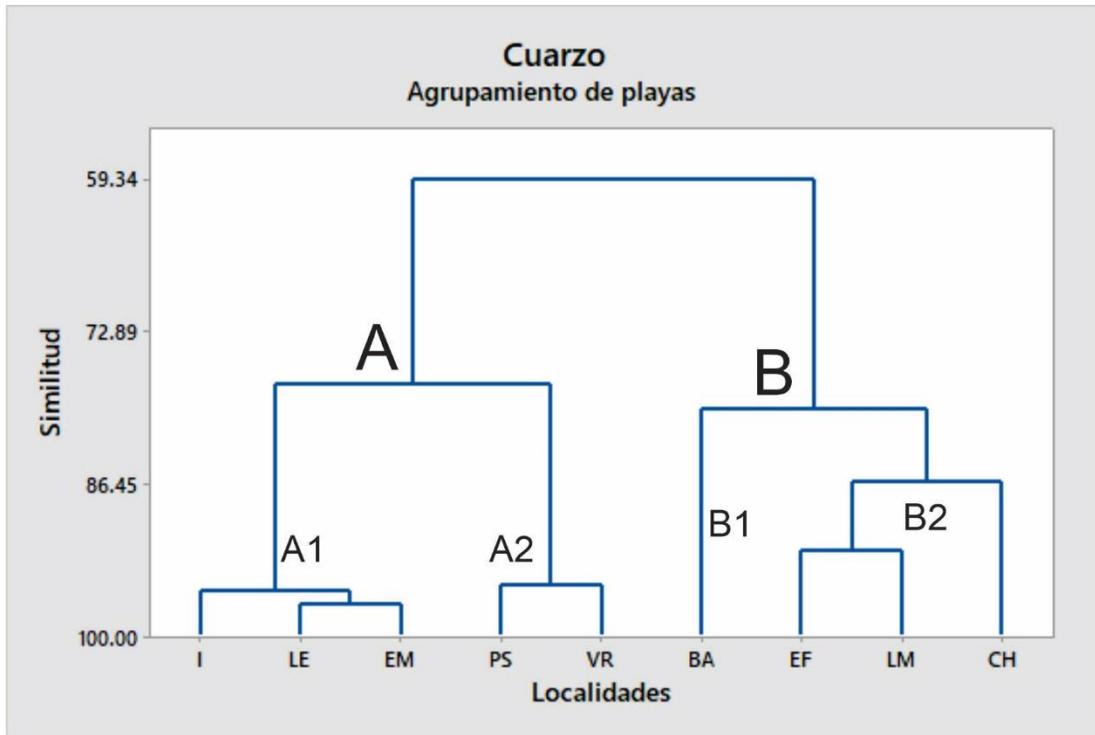


Fig. 69. Agrupamiento a partir del cuarzo.

Ilmenita

Al igual que en el caso de cuarzo, en la Fig. 70 se puede observar que las localidades se dividen en dos grupos primarios llamados C y D, con semejanzas de 85.93% y 80.80% respectivamente. El grupo C se divide en el subgrupo C1, el cual está conformado por las localidades de Istirinchá y El Morro, con una similitud del 94.18%; y el subgrupo C2, en el cual solo se encuentra la localidad de Lechuguillas. Por su parte, el grupo D se divide en D1, conformado por las localidades de Palma Sola, Boca Andrea, Villa Rica y La Mancha, con una similitud del 95.14%; y D2, conformado por El Farallón y Chachalacas, con una similitud del 85.68%.

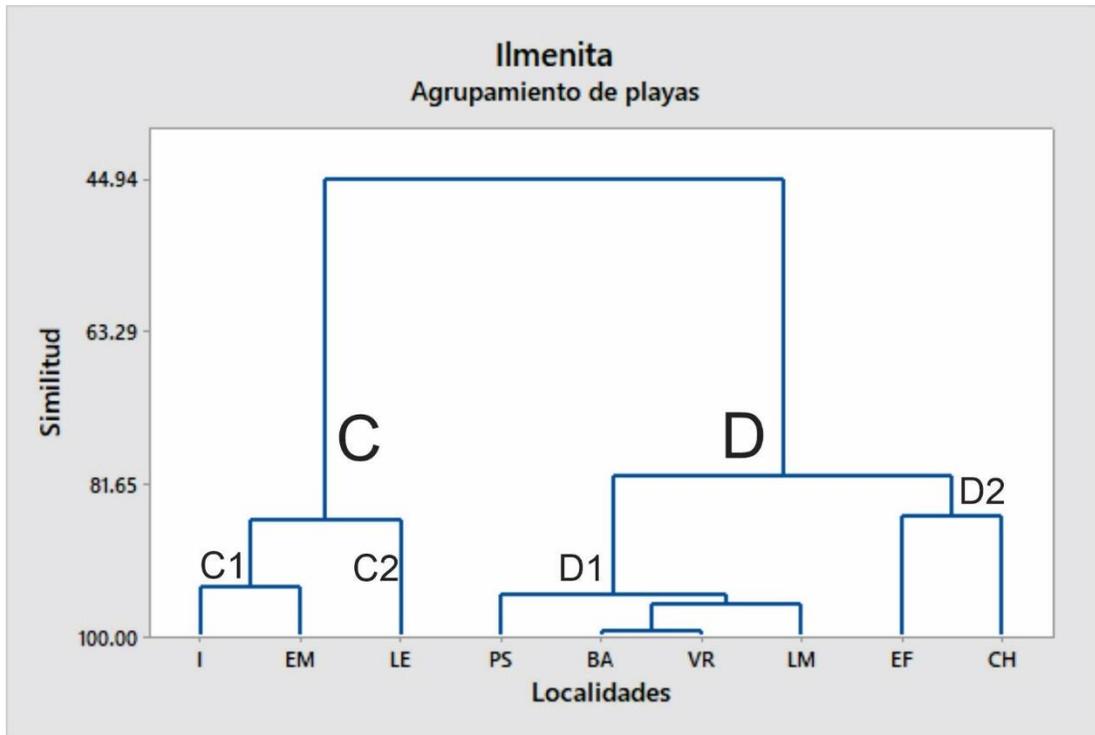


Fig. 70. Agrupamiento a partir de la ilmenita.

Clasificación a partir de microtexturas más abundantes

Cuarzo

Se formaron tres grupos primarios E, F y G (Fig. 71), donde el grupo E tiene un nivel de similitud del 73.62% y se divide en los subgrupos E1 y E2, el primero formado por las localidades de Istirinchá y Lechuguillas con una similitud del 95.82%, mientras que el segundo está conformado por Palma Sola y Villa Rica con una similitud de 96.77%. El grupo F tiene una similitud del 84.16% y se subdivide en F1, con una similitud del 95.89% y se compone por El Morro, Boca Andrea y La Mancha; mientras que F2 está únicamente conformado por El Farallón. Finalmente, se encontró que la localidad de Chachalacas únicamente cuenta con una semejanza del 60.82% con el resto de las localidades, por lo cual se decidió asignarla a un grupo separado, siendo la única localidad del grupo G.

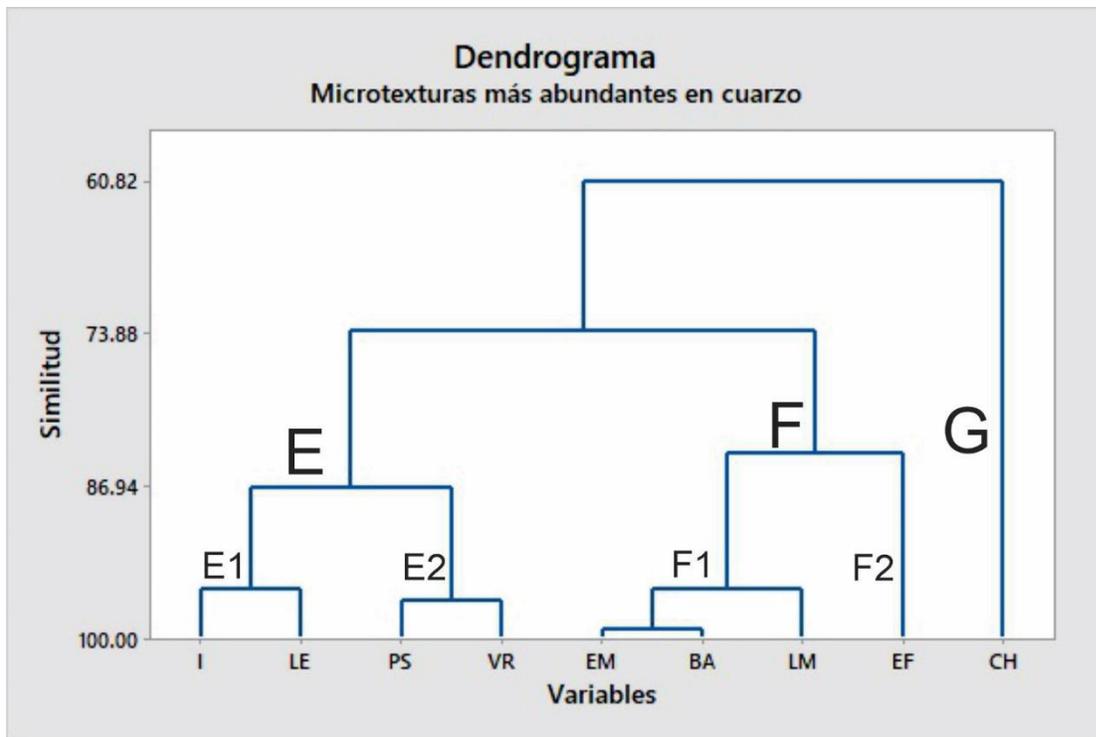


Fig. 71. Agrupamiento a partir de microtexturas más abundantes en el cuarzo.

Ilmenita

Se formaron los grupos H e I (Fig. 72), el primero dividido en los subgrupos H1 y H2, el primero con un nivel de similitud de 94.58% y conformado por Istirinchá, Lechuguillas y El Morro; por su parte, el subgrupo H2 está conformado por Palma Sola, La Mancha y El Farallón, con un nivel de similitud del 91.68%. El grupo I está formado por las localidades de Boca Andrea, Villa Rica y Chachalacas y cuenta con una similitud del 88.27%, la cual se considera lo suficientemente alta como para considerar que forman parte de un solo grupo, sin embargo, entre las localidades de Boca Andrea y Villa Rica existe una similitud del 97.06% y se muestra como subgrupo I1, dejando a Chachalacas como única localidad del subgrupo I2.

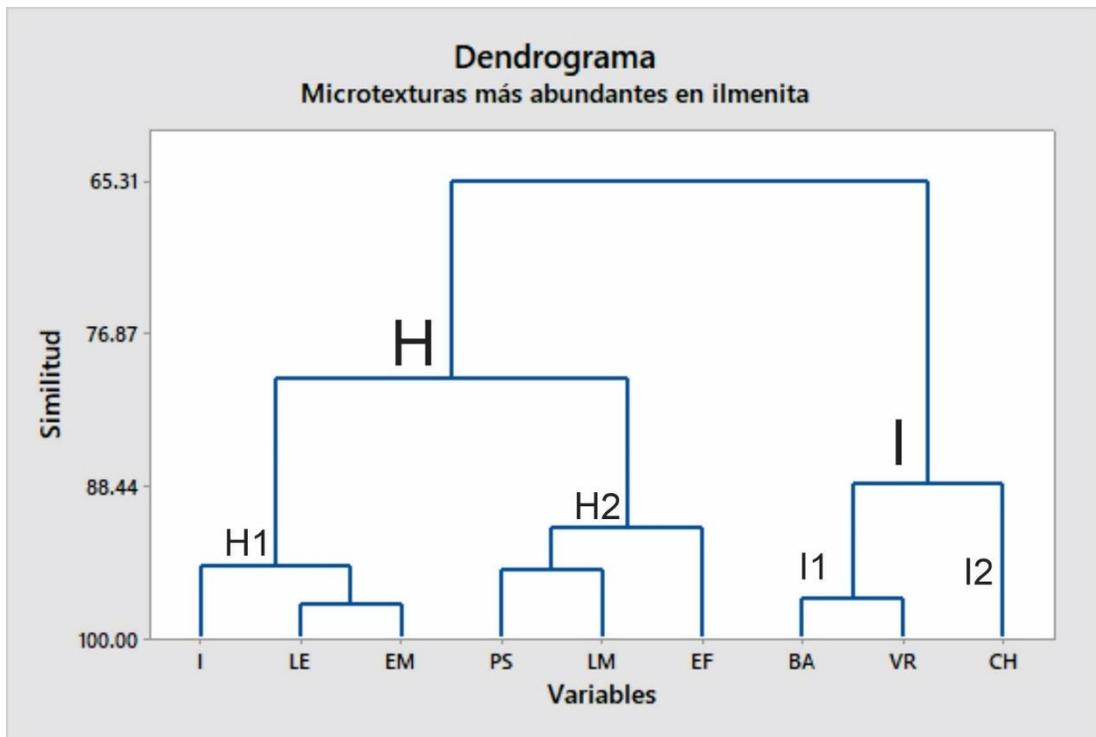


Fig. 72. Agrupamiento a partir de microtexturas más abundantes en la ilmenita.

Discusión

La observación en campo y a través de imágenes satelitales muestra que los campos de dunas en la región sur (a partir de la localidad de Villa Rica) son de mayor tamaño que los campos de dunas del norte. Esta diferencia de tamaño está relacionada con la geomorfología y la presencia de actividad antropocéntrica como campos de cultivo y construcciones, los cuales impiden el avance de las dunas hacia el continente. El tamaño de las dunas es proporcional al tamaño del campo en el que se encuentran.

El análisis textural muestra homogeneidad en todos los parámetros en las muestras de playa y variaciones en las muestras de duna debido a la presencia de la FVTM, la cual, además de aportar sedimentos, funge como barrera geomorfológica para el paso del viento proveniente del norte. Se puede observar un ligero aumento en el tamaño de grano en la localidad de Villa Rica (Primera después de la FVTM) debido a que la roca madre de la cual se desprenden los granos está directamente sobre la localidad, en este caso los basaltos de la FVTM, esto hace que los granos de mineral no sufren un transporte largo hasta su lugar de depósito.

La distribución de microtexturas de acuerdo a su origen (mecánico, químico y mecánico-químico) en ambos minerales muestra en el caso de las microtexturas mecánicas que existe una transición en la predominancia en cuarzo con dirección hacia el sur en las localidades muestreadas. Se puede observar que las microtexturas mecánicas en el cuarzo son predominantes en todas las localidades, con excepción de El Farallón y Chachalacas por muy poca diferencia (1% y 2% respectivamente), con respecto a la ilmenita, mientras que la diferencia en las localidades de Istirinchá, Lechuguillas, El Morro y Palma Sola es de 8%, 4%, 10% y 12% respectivamente, finalmente en las localidades de Boca Andrea, Villa Rica y La Mancha las diferencias son de 2%, 3% y 3%. Esta distribución permite clasificar las localidades en 3 grupos: el primero formado por las 4 primeras localidades (I, LE, EM y PS), en donde la diferencia de la abundancia es mayor; posteriormente el segundo grupo está conformado por las dos localidades siguientes (BA y VR), en donde la abundancia en el cuarzo con respecto a la ilmenita es menor; finalmente el tercer grupo está conformado por las tres últimas localidades (EF, LM y CH), donde si bien existe predominancia en el cuarzo en La Mancha, es apenas del 3% y está en medio de las dos localidades donde la predominancia en la ilmenita es mayor.

Esta distribución se relaciona con la morfología de la zona de estudio, siendo el primer grupo conformado por las localidades antes de la FVTM. El segundo grupo de localidades se ubica directamente sobre la influencia de la FVTM y comparte características con el primer grupo, como el tamaño de los campos de dunas, los cuales a través de la visita en campo al recolectar muestras y confirmando a través de la observación de imágenes satelitales se puede observar que cuentan con un mayor desarrollo antropológico, existiendo complejos hoteleros, residenciales, turísticos y agronómicos. Estos factores en conjunto con la geomorfología, han frenado el avance de los campos de dunas hacia el continente, limitándolos a una franja angosta en comparación con los campos más al sur, en donde las dunas son vegetadas por especies locales quedando fijas. Este proceso provoca que la única exposición a procesos mecánicos es cuando los granos de mineral se depositan en las dunas y no durante su estancia en el campo. Finalmente, el grupo de localidades del sur son las que tienen los campos de dunas más grandes y por lo tanto mejor desarrollados, lo cual, aunado a una mayor influencia de la ilmenita debido a la presencia de la FVTM y a una menor dureza del mineral, permite que los minerales puedan ser retrabajados de forma constante por acción del viento, dando paso a que las microtexturas sean más abundantes en la ilmenita que en el cuarzo.

Para las microtexturas de origen químico se puede observar que la distribución es opuesta a la de las microtexturas mecánicas, siendo las microtexturas químicas más abundantes en la ilmenita que en el cuarzo con excepción de las localidades de Villa Rica y Chachalacas. A diferencia de las microtexturas mecánicas, en este caso no se pueden observar tendencias en el porcentaje de distribución, siendo el único detalle resaltable que el porcentaje más alto encontrado es el del cuarzo en la localidad de Chachalacas, mientras que el porcentaje más alto en la ilmenita está en Palma Sola.

La abundancia de microtexturas mecánico-químicas muestra mayor abundancia en el caso de la ilmenita en todas las localidades con la excepción de Boca Andrea, donde la abundancia es mayor en el cuarzo con una diferencia entre ambos de apenas el 2%. De igual manera, esta localidad es la de menor distribución en ambos minerales, más allá de eso, no se encontraron mayores tendencias en la abundancia.

La observación de microtexturas muestra predominancia en las microtexturas de origen mecánico, seguido de las microtexturas de origen químico y, finalmente, las de origen

mecánico-químico. La observación y comparación entre las microtexturas muestra en los cuatro casos que las tres primeras localidades (Istirinchá, Lechuguillas y El Morro) se encuentran separadas del resto. Posteriormente, se puede observar que los cambios más abruptos en la distribución de las microtexturas se dan en las localidades de Palma Sola, Boca Andrea y Villa Rica, siendo especialmente marcado el aumento en el contorno redondeado, disminución en contorno angular en ambos minerales; el aumento del relieve bajo en la ilmenita y disminución en el cuarzo; y disminución en la ilmenita de relieve alto y aumento en el cuarzo. Estas características hacen que estas tres localidades se puedan considerar como un punto de transición, idea que será desarrollada más adelante dentro de esta discusión. Finalmente, las últimas tres localidades, El Farallón, La Mancha y Chachalacas muestran distribuciones similares, con la excepción de un aumento abrupto en el caso del cuarzo redondeado en la localidad de El Farallón. Esta similitud coincide con el tamaño de los campos de dunas presentes en estas localidades.

El agrupamiento a partir de las microtexturas morfológicas muestra que, tanto en el caso del cuarzo como con la ilmenita, las tres primeras localidades se agrupan juntas, esto se debe a que son las tres localidades con mayor influencia fluvial y, por lo tanto, las que cuentan con contornos más angulosos entre los granos observados, debido a que la intensidad del caudal hace que los granos de mineral choquen entre sí provocando fracturas que dan lugar a granos de mineral irregulares (Garzanti, 2017). De igual manera, en ambos minerales se muestra que, tanto El Farallón como Chachalacas, se agrupan juntas con un alto nivel de similitud, debido a que, en caso contrario a las primeras localidades, estas dos, son las que cuentan con el mayor número de granos con contorno redondeado, indicativo de un mayor control eólico debido al tamaño de los campos de dunas en estas localidades. Por su parte, se considera que las localidades restantes, en especial los casos de Palma Sola y Villa Rica se agrupan con altos niveles de similitud, debido a que son zonas de transición entre los grupos anteriores, lo cual se explica por el aporte mineral de la FVTM, la cual al aportar material in situ, cuentan con una mezcla entre minerales angulosos y redondeados.

Por su parte, el agrupamiento a partir de las microtexturas más abundantes muestra concordancia con la agrupación morfológica al ubicar las localidades de Istirinchá y Lechuguillas juntas, debido a que, en ambos casos, las microtexturas más abundantes son

características de ambientes fluviales y de contacto con fluidos ricos en minerales. De igual manera se presenta el caso de la localidad de Chachalacas, en donde en ambos casos, muestra cierto nivel de similitud con otras localidades, pero siendo lo suficientemente diferente para considerarse un subgrupo separado, de igual manera, debido al tamaño de los campos de dunas, los cuales permiten la presencia de microtexturas características de ambientes desérticos en lugar de litorales en ambos minerales. Una vez más se muestra la tendencia de las localidades Palma Sola y Villa Rica a agruparse juntas en el caso del cuarzo, mientras que en el caso de la Ilmenita, se puede observar que Palma Sola se agrupa con las localidades más al sur de El Farallón y La Mancha, las tres teniendo en común la abundancia de la microtextura de crestas meándricas, las cuales son características de ambientes eólicos, tanto litorales, como desérticos, lo reafirma la idea de que son localidades de transición entre ambientes completamente influenciados por los ríos y la acción del oleaje (localidades más al norte) y una localidad que a pesar de encontrarse en un ambiente litoral, debido a su tamaño permite el retrabajo de los granos de mineral dando como resultado la presencia de microtexturas características de ambientes desérticos.

Conclusiones

Se concluye que el estudio de microtexturas respalda la determinación de ambientes y los medios de transporte predominantes a partir de granos de mineral, sin embargo, requiere del uso de una amplia cantidad de granos que permitan el uso de análisis estadísticos que permitan determinar la predominancia de microtexturas y contrastar los resultados obtenidos.

Se encontró que las microtexturas más abundantes a lo largo de la zona de estudio fueron el contorno angular (CA), contorno redondeado (CR), escalones arqueados (EA), crestas meándricas (CM), huecos de disolución (HD), glóbulos minerales (G), relieve alto (RA) y relieve bajo (RB), además de las partículas adheridas, las cuales debido a la metodología determinada para este trabajo se encuentran presentes de forma entre común y abundante en todas las muestras encontradas. En el caso de las microtexturas de contorno (angular y redondeado), se explica su abundancia a partir de los granos de mineral ya retrabajados encontrados en las dunas y de los nuevos granos de mineral que se depositan en la zona de estudio, dando como resultado el contraste entre el contorno. Por su parte, los escalones arqueados y crestas meándricas son microtexturas características de ambientes de alta energía, en los cuales los granos de mineral chocan entre sí generando en ellos marcas de impacto, por lo cual, su presencia en la zona de estudio se explica a partir del aporte de granos de mineral por los ríos en la zona norte y posteriormente por acción del oleaje en las localidades más al sur. En el caso de los huecos de disolución y glóbulos minerales, su presencia se explica de igual manera por haber estado en un medio acuoso, tanto en el caso de los ríos y en el mar, además de la alta humedad y temperatura de la zona de estudio. Finalmente, la abundancia de las microtexturas de relieve (alto y bajo) se explica de igual manera, por el constante aporte de minerales tanto a las playas como a las dunas por acción de los ríos, oleaje y viento. Estos diferentes medios de transporte para los granos, aunado al tiempo que pasan en cada uno de ellos, permite que el relieve de los granos sea variado a lo largo de la zona de estudio.

Las microtexturas de origen mecánico son las más determinantes en la clasificación de las localidades en este trabajo debido a los cambios que las localidades presentan a lo largo de la línea de costa, siendo localidades con campos de dunas pequeños y formados de forma paralela a la línea de costa en las localidades del norte y del centro, y de gran extensión en las localidades ubicadas en la zona sur.

Las microtexturas encontradas muestran que las localidades se dividen en tres grupos, el primero conformado por las localidades más al norte y en las cuales se observa predominancia de microtexturas asociadas al transporte fluvial (contorno anguloso y sub redondeado) que concuerdan con la geomorfología e hidrología de la zona, al estar cerca de la roca madre y de un caudal de alta energía que hace que los granos de mineral choquen entre sí, dando lugar a contornos irregulares y angulosos (Garzanti, 2017). El segundo grupo se encuentra conformado por las localidades de Palma Sola, Boca Andrea y Villa Rica, las cuales debido a que se ubican sobre la FVTM y que comparten características geomorfológicas con las localidades del norte y de abundancia de ilmenita con las del sur, se consideran como un punto medio o de transición entre las localidades del norte y del sur, pudiendo encontrar microtexturas relacionadas tanto con el transporte fluvial como eólico. Finalmente, el tercer grupo se compone por las localidades de El Farallón, La Mancha y Chachalacas, en donde se pueden encontrar campos de dunas de gran extensión y que sobrepasan la línea de costa adentrándose hacia el continente, por lo cual, en estas localidades se encuentran en mayor abundancia las microtexturas indicativas de retrabajo, como es el caso del contorno redondeado, mientras que el relieve alto, se explica debido a que al tener más espacio para poderse retrabajar por acción del viento, los granos chocan entre ellos dando lugar a fracturas que modifican el relieve del grano.

Se muestra que las microtexturas encontradas en un mineral de características tanto físicas como químicas diferentes al cuarzo, como es la ilmenita, se muestran y forman a través de los mismos procesos que el cuarzo, a pesar de las diferencias de dureza y hábito cristalino entre ambos minerales. Sin embargo, es necesario señalar que, en el caso específico de los escalones rectos y curvos, se debe de tener cuidado en su clasificación debido a que el hábito cristalino tabular de la ilmenita puede llegar a ser confundido como escalones. Con lo anteriormente descrito, se concluye que la ilmenita si puede ser utilizada como mineral análogo al cuarzo en la identificación de microtexturas.

Finalmente, se hace mención de que este trabajo ha generado una base de datos significativa tanto descriptiva como visual sobre microtexturas en dos minerales con propiedades físicas diferentes.

Referencias

- Ahlbrandt, T.S., 1979, Textural parameters of eolian deposits. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*. Geological Survey Professional Paper 1052. Washington, D.C. pp, 21-58.
- Allen, P.A. y Allen, J.R., 2005, *Basin Analysis: principles and applications*: Blackwell Scientific Publication. 2, 549.
- Appendini, C., T.F.A., Fernando, O., Paulo, S., Jose, L., and Tonatiuh, M., 2013, Wave modeling performance in the Gulf of Mexico and Western Caribbean: Wind reanalyses assessment: *Applied Ocean Research*. 39, 20–30.
- Arche, A., 2010, *Sedimentología: Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1287.
- Arculus, R. J., 2003, Use and Abuse of the Terms Calcalkaline and Calcalkalic: *Journal of Petrology*. 44, 929–935.
- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Eby, G.N., Garcia, D., Carranza-Edwards A., Balam, V., Cruz-Ortiz, N.L., 2012, Geochemical composition of beach sands from the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance: *Chemie Der Erde, Geochemistry*. 72, 345– 362.
- Armstrong-Altrin J.S., Madhavaraju, J., Vega-Bautista, F., Ramos-Vazquez, M.A., Pérez-Alvarado, B.Y., Kasper-Zubillaga, J.J., Ekoa-Bessa, A.Z., 2021, Mineralogy and geochemistry of Tecolutla and Coatzacoalcos beach sediments, SW Gulf of Mexico: *Applied Geochemistry*. 134.
- Babu, N.S., Babu, D.S., Mohan Das, P.N., 2007, Impact of tsunami on texture and mineralogy of mayor placer deposits in southwest coast of India: *Environ. Geology*. 52, 71-80.
- Blott, S.J., Pye, K., 2001, Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments: *Earth Surface Process and Landforms*. 26, 1237-1248.
- Cartaya, S., Méndez, W., González, L., 2005, *Geomorfología y sedimentología de los ambientes depositacionales recientes del complejo estuarino de los ríos Hueque y Curarí, Estado Falcón, Venezuela*: *Investigaciones geográficas*, 58, 7-33.
- Costa, P.J.M., Andrade, C., Mahaney, W.C., Marques da Silva, F., Freire, P., Freitas, M.C., Janardo, C., Oliviera, M.A., Silva, T., Lopes, V., 2013, Aeolian microtextures in silica spheres induced in a wind tunnel experiment: comparison with aeolian quartz: *Geomorphology*. 180–181, 120–129.
- Costa, P.J.M., Rasteiro da Silva, D., Figueirinhas, L., Lario, J., 2019, The importance of coastal geomorphological setting as a controlling factor on microtextural signatures of the 2010 Maule (Chile) tsunami deposit: *Geologica Acta* 17. 4, 1-10.
- Demant, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: *Revista Instituto de Geología*. 2, 172-187.

- Emery, K.O., 1978, Grain size in laminae of beach sand: *Journal of Sedimentary Petrology*. 48, 1203-1212.
- Ferrari, L. 2000, Avances el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. LIII, 84-92.
- Ferrari, L., Tagami, T., Eguchib, M., Orozco-Esquivel, M.T., Petrone, C.M., Jacobo-Albarrán, J.J., Lopez-Martínez, M., 2005, Geology, geochronology and tectonic setting of late Cenozoic volcanism along the southwestern Gulf of Mexico: The Eastern Alkaline Province revisited: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 146, 284-306.
- Folk, R.L. y Ward, W.C., 1957. Brazos River bar – A study in the significance of grain-size parameters: *Jour. Sed. Petrology*. 27 (1), 3-27.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill. 170.
- Itamiya, H., Ritsuko-Sugita, R., Toshihiko-Sugai, T., 2019, Analysis of the surface microtextures and morphologies of beach quartz grains in Japan and implications for provenance research: *Progress in Earth and Planetary Science*. 6-43.
- Kasper-Zubillaga J.J., Carranza Edwards A. y Rosales-Hoz L., 1999, Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of Mexico: implications for provenance and tectonic setting: *Journal of Sedimentary Research*. 69, 1002-1010.
- Kasper-Zubillaga J.J. and Dickinson W.W., 2001, Discriminating depositional environments of sands from modern source terranes using modal analysis. *Sedimentary Geology*. 143, 149-167.
- Kasper-Zubillaga, J.J. y Carranza-Edwards, A., 2005, Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwestern Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 22, 383-390.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Dickinson, WW, Carranza-Edwards, A., Hornelas-Orozco, Y., 2005, Petrography of quartz grains in beach and dune sands of Northland, North Island, New Zealand: *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. 48, 649-660.
- Kasper-Zubillaga, J.J. y Zolezzi-Ruiz, H., 2007, Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from the El Vizcaino Desert, B. C. México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 24, 423-438.
- Kasper-Zubillaga, J.J. y Faustinos-Morales, R., 2007, Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis of quartz grains in dune sands, NW Mexico: *Ciencias Marinas*. 33 (1), 11-22.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano-Torres, E., Álvarez-Sánchez, L.F., Carlos-Delgado, L., Martínez-Serrano, R., Baltazar-Jiménez, P., 2022, Implications of polymodal distributions in the grain size parameters of coastal dune sands (Oaxaca, Mexico): *Sedimentary Geology*.
- Krinsley, D.H. y Doornkamp, J.C., 1968, *Atlas of quartz sand surface textures*: Cambridge University Press, Cambridge, England. 91, P.

- Krinsley, D.H. y Donahue J., 1968, Environmental Interpretation of Sand Grain Surface Textures by Electron Microscopy: GSA Bulletin. 79, 743–748.
- Krinsley, D.H., Cavallero, L., 1970, Scanning electron microscopic examination of periglacial eolian sands from Long Island, New York. J: Sediment. Res. 40, 1345–1350.
- Krinsley, D.H., Friend, P.F., Klimentidis, R., 1976, Eolian transport textures on the surfaces of sand grains of Early Triassic age: Geol. Soc. Am. Bull. 87, 130–132.
- Krinsley, D.H. & Marshall, J.R., 1987, Sand grain textural analysis: an assessment In: Marshal, John R. (Ed.), *Clastic Particles: Scanning Electron Microscopy and Shape Analysis of Sedimentary and Volcanic Clasts*: Van Nostand Reinhold Company, New York, New York.
- Gallardo-Lopez, F. (Editor), 2016, *Inovando el agro veracruzano (2016). Frente a los retos de la relación Sociedad-Naturaleza*: Colegio de postgraduados, Veracruz, México. 1052.
- García, E., 1978, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*: UNAM.
- García-Prieto F., Hernández-Calvento L., Hernández-Cordero A.I., Sanjaume E., Flor-Rodríguez G., 2009, *Dunas Móviles Embrionarias: Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España*: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. pp, 44.
- Garzanti, E., Ando S., Vezzoli, G., Lustrino M., Boni, M., Vermeesch, P., 2012, Petrology of the Namib Sand Sea: Long-distance transport and compositional variability in the wind-displaced Orange Delta: *Earth-Science Reviews*. 112, 173-189.
- Garzanti, E., Vermeesch, P., Andó, S., Vezzoli, G., Valagussa, M., Allen, K., Kadi, K.A., Al-Juboury, A.I.A., 2013, Provenance and recycling of Arabian desert sand: *Earth Sci. Rev.* 120, 1-19.
- Garzanti, E., Resentini, A., Ando, S., Vezzoli, G., Pereira, A., Vermeesch, P., 2015, Physical controls on sand composition and relative durability of detrital minerals during ultra-long-distance littoral and aeolian transport (Namibia and southern Angola): *Sedimentology*. 62, 971-996.
- Garzanti, E., 2017, The maturity myth in sedimentology and provenance analysis: *Journal of Sedimentology Research*. 87, 353-365.
- Garzanti, E. y Ando S., 2019, Heavy minerals for junior woodchucks: *Minerals*, 19, 148.
- Gómez-Tuena, A., LaGatta, A., Langmuir, C., Goldstein, S., OrtegaGutiérrez, F., Carrasco-Núñez, G., 2003, Temporal control of subduction magmatism in the Eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: mantle sources, slab contributions and crustal contamination: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 4(8), 1-33.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, Ma.T., Ferrari, L., 2005, Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 3, 227-283.
- Gómez-Tuena, A., Orozco-Esquivel, Ma.T., and Ferrari, L., 2007, Igneous petrogenesis of the Trans-Mexican Volcanic Belt, in Alaniz-Álvarez, S.A., and Nieto-Samaniego, Á.F.,

- eds., *Geology of México: Celebrating the Centenary of the Geological Society of México: Geological Society of America Special Paper*. 422, 129-181.
- Green, E.P. and Short, F.T., 2003, *World Atlas of Seagrasses: University of California Press, Berkeley, USA*. 324.
- Madhavaraju, J., Lee, Y.I., Armstrong-Altrin, J.S., Hussain, S.M., 2006, Microtextures on detrital quartz grains of upper Maastrichtian-Danian rocks of the Cauvery Basin, Southeastern India: implications for provenance and depositional environments. *Geosc. J.* 10, 23-34.
- Madhavaraju, J., García y Barragan, J.C., Hussain, S.M., Mohan, S.P., 2009, Microtextures on quartz grains in the beach sediments of Puerto Peñasco and Bahía Kino, Gulf of California, Sonora, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 26, 367-379.
- Mahaney, W.C., 2002, *Atlas of Sand Grain Surfaces Textures and Applications: Oxford University Press, New York*. 237.
- Makvandi, S., Beaudoin, G., McClenaghan, B. M., Layton-Matthews, D., 2015, The surface texture and morphology of magnetite from the Izok Lake volcanogenic massive sulfide deposit and local glacial sediments, Nunavut, Canada: Application to mineral exploration: *Journal of Geochemical Exploration*. 150, 84-103.
- McKee, E., 1979. A study of global sand seas: United States Geological Survey, Professional Paper. 1052, 429.
- Mendieta-Lora, M., Mejía-Ledezma, R.O., Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano-Torres, E., Álvarez Sánchez, L.F., 2018, Mineralogical and geochemical implications of weathering rates in coastal dunes and beach sands close to a volcanic rock source in the western Gulf of Mexico, Mexico: *Chemie Der Erde, Geochemistry*. 78, 323-329.
- Mejía-Ledezma, R.O., Kasper-Zubillaga, J.J., Álvarez Sánchez, L.F., Mendieta-Lora, M Arellano-Torres, E., Tetlalmatzi-Marínez, A., González-Bermúdez, Patiño-Andrade, D., 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.
- Moral-Cardona, J.P., Gutiérrez, Mas, J.M., Sánchez, Bellón, A., Dominguez-Bella, S., Martínez-López, J., 2005, Surface textures of heavy-mineral grains: a new contribution to provenance studies: *Sed. Geol.* 174, 223-235.
- Nordstrom, K.F. y Mauriello N.M., 2001, Restoring and Maintaining Naturally-Functioning Landforms and Biota on Intensively Developed Barrier Islands Under a No-Retreat Alternative: *Shore and Beach*. 69 (3), 19-28.
- Pereyra, D. y Pérez, J.A., 2005, Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. In: Tejada Martínez, A. and Welsh Rodriguez, C., Eds., *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz: Universidad Veracruzana. Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología*, Xalapa. 81-99.
- Pettijohn. F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1972, *Sand and Sandstones: New York, Springer-Verlag*. 618.

- Priego A.G., Insunza E., Luna N. y Perez J.L., 2007, Cuencas Hidrográficas de México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Servicio Geológico Mexicano, 2002, Carta geológico-minera: Veracruz E14-13.
- Servicio Geológico Mexicano, 2004, Carta geológico-minera: Poza Rica F14-12.
- Tourtelot, H.A., 1968, Hydraulic equivalence of grains of quartz and heavier minerals and implications for the study of placers, *Geology Geological Survey Professional Paper*. 594-F.
- Udden, J.A., 1914, Mechanical Composition of Clastic Sediments: *Geological Society of America Bulletin*. 25, 655-744.
- Velbel, M.A., McGuire, J.T., Madden, A.S., 2007. Scanning electron microscopy of garnet from southern michigan soils: etching rates and inheritance of preglacial and pre-pedogenic grain-surface textures: *Developments in Sedimentology*. 58, 413-432.
- Vos, K., Vandenberhe, N., 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.
- Wasson R.J. y Hyde R., 1983, Factors determining desert dune type: *Nature*. 304, 337-339.
- Wentworth C.K., 1922, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments: *The Journal of Geology*. 30, 377-392.

Anexos

Anexo 1: Muestras y análisis textural

	Mz0	s0	Sk0	K_G		Mz0	s0	Sk0	K_G
PCJ-I-1	1.848	0.512	-0.055	0.798	BA-I-1	2.378	0.382	-0.042	1.228
PCJ-B-1	2.468	0.491	-0.093	1.185	BA-B-1	2.549	0.329	-0.100	0.860
PCJ-C-1	2.255	0.536	-0.119	1.368	BA-C-1	2.378	0.450	-0.129	1.222
PCJ-S-1	2.171	0.574	-0.130	1.274	VR-I-1	2.228	0.547	-0.243	1.132
PCJ-M-2	2.360	0.559	-0.009	1.333	VR-M-1	2.162	0.636	-0.204	0.961
PCJ-B-2	2.164	0.573	-0.132	1.289	VR-B-1	1.777	0.536	0.108	0.826
PCJ-C-2	2.385	0.515	-0.026	1.303	VR-C-1	1.798	0.648	0.085	0.989
PCJ-S-6	2.152	0.578	-0.145	1.149	VR-S-1	1.921	0.538	-0.169	0.807
LCH-I-1	1.860	0.472	-0.212	0.727	VR-B-2	1.876	0.527	-0.199	0.790
LCH-M-1	1.682	0.453	0.119	0.868	VR-C-2	1.917	0.526	-0.180	0.813
LCH-B-1	2.131	0.593	-0.147	1.004	VR-S-2	1.743	0.496	0.094	0.813
LCH-C-1	2.388	0.464	-0.026	1.303	EF-I-1	2.164	0.555	-0.215	1.053
LCH-S-1	2.436	0.492	-0.001	1.270	EF-B-1	2.312	0.462	-0.157	1.288
LCH-I-2	1.765	0.472	0.013	0.742	EF-C-1	2.235	0.513	-0.186	1.309
LCH-M-2	2.312	0.621	-0.070	1.218	EF-M-2	2.165	0.530	-0.225	1.256
LCH-B-2	2.238	0.530	-0.172	1.292	EF-B-2	2.175	0.529	-0.208	1.285
LCH-C-2	2.285	0.489	-0.136	1.328	EF-C-2	1.739	0.472	0.063	0.771
LCH-S-2	2.369	0.447	-0.047	1.302	EF-S-2	2.012	0.527	-0.241	0.919
EMR-I-1	2.138	0.559	-0.216	0.981	EF-B-3	2.451	0.424	-0.048	1.174
EMR-B-1	2.606	0.397	-0.149	1.062	EF-C-3	2.361	0.504	-0.159	1.203
EMR-C-1	2.470	0.455	-0.140	1.193	EF-S-3	2.370	0.398	-0.048	1.283
EMR-S-1	2.478	0.455	-0.151	1.177	LM-M-1	1.646	0.838	0.013	0.971
EMR-M-2	1.658	0.823	-0.166	0.893	LM-C-1	2.435	0.434	-0.115	1.172
EMR-B-2	2.502	0.426	-0.148	1.126	LM-B-2	2.526	0.439	-0.148	1.110
EMR-C-2	2.535	0.471	-0.174	1.147	LM-C-2	2.196	0.574	-0.185	1.080
EMR-S-2	2.459	0.454	-0.100	1.199	LM-S-2	2.496	0.430	-0.132	1.108
EMR-I-3	2.000	0.513	-0.287	0.890	LM-M-3	2.140	0.615	-0.269	0.936
EMR-B-3	2.247	0.501	-0.176	1.322	LM-B-3	2.510	0.461	-0.047	1.179
EMR-C-3	2.716	0.317	-0.176	1.176	LM-C-3	2.472	0.405	-0.074	1.120
EMR-S-3	2.726	0.337	-0.040	1.221	LM-S-3	2.387	0.442	-0.096	1.240
PS-M-1	2.276	0.467	-0.169	1.327	CH-I-1	1.561	0.955	-0.061	0.671
PS-I-1	2.226	0.495	-0.201	1.340	CH-B-2	2.154	0.603	-0.258	0.973
PS-B-1	2.500	0.326	-0.022	0.868	CH-C-2	2.223	0.541	-0.236	1.197
PS-C-1	2.404	0.290	0.097	0.859	CH-S-2	2.175	0.598	-0.274	0.992
PS-S-1	2.613	0.324	-0.110	1.052	CH-B-4	2.057	0.554	-0.209	0.928
PS-I-2	1.867	0.507	-0.151	0.778	CH-C-4	1.785	0.508	0.060	0.795

PS-B-2	1.890	0.508	-0.297	0.783	CH-S-4	1.943	0.619	-0.103	0.812
PS-C-2	2.001	0.565	-0.199	0.890	CH-B-5	2.186	0.575	-0.229	1.030
PS-S-2	2.447	0.428	-0.147	1.154	CH-C-5	2.086	0.613	-0.177	0.855
BA-M-1	2.079	0.539	-0.233	1.058	CH-S-5	2.011	0.685	-0.157	0.827

Anexo 2: Conteo de microtexturas del cuarzo
Istirinchá

		De origen mecánico										De origen químico							De origen mecánico-químico																	
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas mean dricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estías rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Floras de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones entonadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas			
B2	1			4			1	1	1																									1		
	2	4				1	1	2	1				1									1											1			
	3	4				1	2	1	1							1												4					1			
	4		4			2	1	2	2	1						1																	2			
	5		4				3			1													1	1									1			
	6			4				1		1												1											1			
	7		4				1	2	2	2	1		2			1							1	1	1								1			
	8		4				1	1	1	2	2		2										1	1	1								1			
	9		4				1	1	2	2	3		3										1	1	1					4			1			
	10		4							1			1									4	2										1			
	11			4			1	1	1							1	1						2								1		1			
	14		4						3			1				4	1					4	1										1			
	15			4			1		1	1						1							1	1									4	1		
	16		4				1		2	1						1							1	1	1									1		
	17		4				1	1	1	1						1							1		1	1	1							1		
	18			4				1	1	2	2		2									1	1											2		
	19		4				1	2	2	1	1												1											4	1	
	20			4				1	1				4			3						1	2	1	1									1		
	21		4				1		2														1												1	
	22			4			1	2	2		1		1			1	1						3	1										2		
	23			4				3	1	3			1			1	1					1	3	1										2		
	22		4				1	2	2		3	2	2	2		2	1	1				2	2											3		
23			4			2	1	1	2	1	1	2	2		2	1	1				3	3											2			
C	1			4			1	3							1	2						2											2			
	2	4					2	2				1	1	2		1						1												1		
	3	4					2					2			1							1												3		
	4		4																			1	4											1		
	5		4					2															4											2		
	6		4				2	2	3	1	1											1		2	1	1								3		
	7		4				1	1	2	1																								1		
	8		4				2																												1	
	9			4				2				1																							1	
	10				4											2	1	2																	1	
	11			4				2	1							1	1																		1	
	12			4				4	4														1	1	1										1	
	13			4				1	2																										1	
	14				4			2	2														1												1	
	15					4						1				1	2	1					2	2	1										1	
	16			4				1	2	1	1	2										1	1	1											2	
	17			4					2				1			1																			1	
	18				4																															1
	19					4			2																											1
	20							3	1	2													1	1												1
	19												1																							1
	20							2	1	2	3	1	2	1									1		1	1										1
1							1	2																											1	
2				4							1																								1	
3					4			4	4	1																									1	
4						1			2																										1	
5				4			2	1	2	1	1																								1	
6					4																														1	
7							1																												1	
8					4			2																											1	
9							1	1	4	4																									1	
10							2		1		2																								1	
11				4							3																								1	
12					4																														1	
13																																			1	
14							1	2																											4	
15							1	1																											4	
16																																			4	
17																																			3	
18																																			1	
19																																			1	
20																																			1	
21																																			1	
22																																			2	

Lechuguillas

		De origen mecánico											De origen químico						De origen mecánico-químico															
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas	
C2	1		4			1	1	1	1	1				1								2	2	1		4						1		
	2	4			1		1	1			1			1							1					4	4					1		
	3	4			1	1	1	1												1						4	4					1		
	4		4											2												4						1		
	5		4			1	1	1							1						2	1			1	3		4	4			2		
	6	4				2	3	2			1			1									1				4	4				1		
	7	4									1												1	1	1		4					1		
	8			4		1	2		2	1													1	1					4			2		
	9		4			1	1	2	1																					4			1	
	10	4				1	2		1					1								1		1					4			2		
	11	4				1	1																2	2	1				4			1		
	13	4				1	1	1															4	2	2				4			2		
	14			4											1	1											4						3	
	15	4						4	1														4	1			4	4					2	
	16	4					1	1	2	1													2	2	2								2	
	17		4																			4											2	
	18	4						3	2		1	1		1									1							4			1	
	19			4						2	1	1		1								1		1	2	1		4	4				2	
	20		4							1	1		1																				2	
	21	4				2	3																				4		4				1	
	22			4						1					2	1											4						2	
	23	4						1	1	1				1								1	2	1	1	1		4					1	
	24			4											4								1		1			4						1
	M2	1		4						1					3	2												4					1	
2		4							3																		4	4					1	
3			4			1		1	2		1																4						1	
4		4							1	2				1									1	2	1								1	
5		4					1															1	2	1									1	
6			4				4	3	1																		4						1	
7																							4	3				4					1	
8		4					1	3	4																					4			1	
9				4						1																	4							1
10				4						1																	4							2
11		4				2		2	2													2	1				4	4					1	
12				4						2			1										2				4							1
13		4				2		2	2	1				2	2							1	1	2	1	1		4					1	
14				4						1													1	1			4							1
15		4						1	2													1	2	1			4	4						1
16		4						1		2												2					4		4					1
17		4				2			1	1	1		2	1									1					4						1
18		4						1	1	1													1	1				4						1
19		4								1													1	4	2	1	1	4						1
20				4			1						2										1		1			4						2
21			4				1	2	3	1													1					4						1
22		4				2	1	2	1	2													1	1				4	4					1
S2		1		4			1		1		1	1			1	2							4	1				4					3	
		2			4					2														1				4						1
	3	4							2		1														2	1		4					2	
	4	4													1												4						1	
	5			4																			1	1									1	
	6			4						2	1	2											1	2									3	
	7				4						1	1																					1	
	8	4								2	1	1											1	3			4						2	
	9	4									1																							1
	10			4						1	1																2	1						2
11			4						1																	3							1	
12	4					1		1																		2	1						2	
13	4					2	1	1		4												1					4						1	
14			4						1	1	2	1															4						1	
15	4					1				1	1															4							2	
16				4																		2					4							1
17	4							1																			4							2
18				4						1		1															4							1
19	4							1	2	1	1																4							1
20			4									1															4							2
21			4							3	2																4							3
22	4								1		2	3	1									2	2	1	1	2		4					1	
23	4								2																		4							1
24				4								4															4							2

El Morro

		De origen mecánico											De origen químico							De origen mecánico-químico														
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas	
B2	1	4			1	1		2				1											1									2		
	2		4				1	2						2		2												4				1		
	3		4			1	1	4								3						1						4				2		
	4		4				2	1		1	1		1	1		4					1						4				2	2		
	5		4				1	4													1							4		1		1		
	6		4			1	2		1		1	1		1					1		1		1	1			4				1	1		
	7		4			1	1	2																			4				1			
	8		4						2	1				2													4		4			2		
	9		4				1	1	2	1	2										1		1	1			4					2		
	10		4				1	1	1					1							1		1					4				2		
	11		4				2	3	1	2				1						1	1	1	1					4				1		
	12			4			2	2		1										1		1						4				1		
	13		4					1	1	1				1						1		1	1					4				1		
	14		4					1	1					1						1		1	2	1	1			4		1		1		
	15		4					2	1		1																4			1		1		
	16			4								4				2					1	2	2	1					4		4		3	1
	17			4			1			1								1			1	2	2	1	1		4					2		
	18			4					1	1		4	1	2	2						1	1	1	1	1		4		4			1		
	19			4					4																								3	
	20		4				1		2		1										1		1				4					1		
	21				4			1				1				2						1	4							4			1	
	22			4			1		2	2			4									1	1	2	2	3			4				2	
	23			4			1	2							1	1						1	1						4				1	
C2	1		4			1			1	1				1	1						1	1						4				1		
	2		4				2		4			3		1	1	2				1	1				2			4				1		
	3			4					1					1													4			2		2		
	4		4		1	1	1	3	1		1		1		2							2	2				4					1		
	5		4					2						2		2						1						4				3		
	6			4				1	1				1		1							1	1	1			4					2		
	7			4				1	2	1			1		1							1					4					2		
	8			4				1	1				1		1							1					4					1		
	9			4				1	1	1			1	1	1							1	1				4					2		
	10		4				1	1	1	1												1	1					4				2	1	
	11		4				1		1		4	1										1	1	1	1			4				2		
	12			4					1		1			1		1					1	1						4				1		
	13				4				4					2	1						1	2	1	1	1			4				1		
14				4		1		1			3	1									1	2	1	1	1		4				1			
15		4					3	1					1								1	1				4				1		1		
16		4				1		2				1			1						1	1	2	1	1		4			4		3		
17		4				1		2		1											2	3	2	1	1						1	2		
18				4					1				1	2	1							2	2				4			2		1		
19		4				1		1	4				2								3	1	1	1			4				2			
20		4						4	1		2	2									1						4				1			
21				4					1				1	1	1						1						4				1			
22		4					1					4									1				2	1	4				1			
23		4				1			1				1								2	2					4				1			

Palma Sola

		De origen mecánico											De origen químico						De origen mecánico-químico													
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas
B1	1	4			1			2					1	1	1						1	2	2	1							3	
	2		4		1	1		1		3			1	1	1							2	2	1	1	1	4	4			2	
	3			4		1	1	2						2	2	1						1	1	1			4				1	
	4		4		3	1	2	2	2		1	2		2	1							1	1	1	1			4			1	
	5		4						4													2	1	1	1						1	
	6		4							2	3	2		1	1						1	1	1	1				4			3	
	7	4				1	1			1												1	1	1							1	
	8	4				1	2	1	2	2		1	2		2						1	1	1	1				4			1	
	9		4			1	1	3	2	2		2	2		2							1	1	1					4		2	
	10	4				2	2	1		1	1	1		2	2							2	2	1	1					4	2	
	11			4					3		1	1	2		1	1					3			2					4	1	1	
	12		4			1	1	2	2			2	2		1	2					2	2	1	1				4			1	
	13	4				1	1	1				1									2	2	2	2	2			4			2	
	14			4																	4							4				2
	15		4						2		2	2	1	2	2						1	4	2	1	1			4			1	
	16			4				1	1		1	1		1	1						1	1	1	1				4			1	
	17	4				3	3	4	3	2	1		1	2	2						1		2	1	2				4		1	
	18		4			1	1	1	1	1	2											2	2	3	3			4			4	4
M1	1	4			1	1	2	1	2				1	1							1	3					4				2	
	2		4				1	1	1				1	1							2										1	
	3		4				1	2	1				1	1							2						4				2	
	4		4			1	1	2													2										1	
	5		4			1	3	1	2				4	1								2	2	1	1					4	1	
	6		4			2	2	4	3		2	1	1	2	1	1					1	1	1	1	1			4			1	
	7		4					2			2			1	1						2	2	2	1	1			4	1		2	
	8			4		2			2			1	2									1						4			1	
	9		4			1	1	1	1	2		2		1	1							1				1		4			1	
	10		4					2	2				2			1						2	1					4			1	
	11			4					2													2							4			1
	12		4					1	1		1	2	1		2							1						4			1	
	13			4						4	1		1	3	1												4				1	

Boca Andrea

		De origen mecánico											De origen químico						De origen mecánico-químico													
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas
C1	1	4				1		3				1	1		1						1						4		1		1	
	2	4				2	3	1	1			1	1								1				1		4				1	
	3						1	1	1						3	4						1	2	1			4				1	
	4		4			1					1		1		1	2					1	1	2	1				4	1		2	
	5		4				1		2	1												2	1	1							1	
	6		4						1				2	2		2						1	1	1				4			1	
	7			4			1						1	1		2					1	1	1					4			1	
	8	4				1	2	1	2		2			2		1						1	1		2				4		1	
	9		4				2	1	3	2				1	1							1	1						4		1	
	10			4		1		1	3				2	4								2	4					4			1	
	11			4					2				2			1						1				1			4			1
	12		4				2	1		1												2	2	1	1		4				1	
M1	1		4				2		2			1	1		1	1					2	1						4	1		1	
	2		4			1	1	1		2			2		1	1					1	1			1			4			1	
	3		4					4							3						1	1	1	1			4			1		
	4		4				1			1			1		1						2	2		1	1			4	1		2	
	5		4			1	1	1	1	3	2		1		1						1			2				4			1	
	6	4				1		1		1		1									1	1	1	2				4			2	
	7		4			2	1	2	1	1	1		1		1							1						4			1	
	8		4			3		1	2		1	2		1	1							1		1				4			1	
	9		4				1	2	1		1		1	1		1						1	1	1	2			4			2	
	10			4		1		1	1	2			1	1	2							2	1	1	1	1		4			1	
	11		4				1		1	1		1									1		4	4	2			4			1	
	12			4					1		1		1	1	1						2	1	2	2	1	3		4		1	1	

Villa Rica

	De origen mecánico															De origen químico							De origen mecánico-químico											
	Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandrinas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas		
C	1								1			1			1				1													1		
	2	4											2		1					4							4					1		
	3								1			1		3	1				1	1						4						1		
	4	4				1	2	1	1				1							1	1		1				4					1		
	5																			1													1	
	6											1	1							2	2												1	
	7									2										1	1		1	1									1	
	8												2							1	2		1	1									1	
	9	4								1				1						1	1		2	1	1								1	
	10																			2	1		2	1									1	
	11									1	2			1	1					1	1		1										1	
	12												4		4					2	2		2							4			1	
	13									1	1		2	1	2					2	2		2										1	
	14	4								2	1		1	1						2	2		2										1	
S2	1								2	1	2		1						1	3		1	1									2		
	2	4							1			1		1					2	2		2	2				4					4		
	3								1	1									1	1		1	1									2		
	4	4							3	2	1	1	1		1				1	1	1	1	1				4					1		
	5								1	1					1					1	1		2				4						2	
	6								1	1													2				4	4						
	7									1	1												1	1	1	1	4						2	
	8									1	2	2	1	1	1					2	1		2	1									1	
	9	4								2	1		2	1						1	2		2	1	1								1	
	10													4						1	2						4						1	
	11									1	2		1	1									1	1				4					1	
	12																						1					4						1
	13	4								2										1			2	2	2	4	4						1	
	14																						2	2	2	4	4	4						1
15	4								4					1					1	2		4	1	1								1		
16									1			1	1		1				1	2		1	1				4					2		
17	4								4				1						1	1		1	1	1	4		4							
18																						1	1	1	1			4					2	

El Farallón

	De origen mecánico															De origen químico							De origen mecánico-químico											
	Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandrinas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas		
M2	1								4						2																		1	
	2								4						2																			1
	3								1	1				1	1					2	1												1	
	4								4					1	1						1	1		1									1	
	5																																	1
	6											1																						1
	7																																	1
	8									2																								1
	9									2																								1
	10												1																					1
	11									1						3												4						2
C2	1												1							2		1	1		4							1		
	2																																1	
	3								1	2			2	1																			1	
	4																																1	
	5	4																															1	
	6																																1	
	7																																1	
	8									2																								1
	9									3																								2
	10									1																								1
	11	4																																1
12																																	1	
13	4								4	1	1	1																					1	
14																																	1	
15																																	1	
16																																		1

La Mancha

		De origen mecánico										De origen químico						De origen mecánico-químico														
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Floras de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas
S2	1	4			1	1	1	1	1	1					1	1					1	1	1								1	1
	2	4			1	1	1	1	1	1										2		1	1	1	2		4				1	1
	3	4				1					1					1	1				1	1	1				4		1		2	1
	4	4				1	1	1	1	1						1	1				1	1	1	3		4					1	1
	5		4	1		1	2	1	1	1																4					1	1
	6	4				1	4	1	2	1	2			1										2				4			1	1
	7		4			2	1	3	1	1	1			3										1			4				1	1
	8		4			1	1	2	1	1	1			1	2	2						1					4		4		1	1
	9	4				1	1	1	1	1	1			1		1					3		1	1	1						1	1
	10			4			1	1	1	1	1			1		2							1	1	1		4				1	1
	11			4						1	1			1									1	1	2	1	4				1	1
	12	4					1			1	1			1			1						1	1		4					2	2
	13		4				1		3	1	1			1							1	2	2				4				1	1
	14	4					2	1	1	1	1																4				2	2
	15		4				1	1	2	1	1						1	1						1			4				1	1
	16			4		4								1		1	1									4					1	1
	17		4				2	1								1	1					1	1			4					1	1
M1	1	4			2	1			1											3	2	1		1		4				1	1	
	2			4				1					1	1	2						1	1	1			4				1	1	
	3			4	2	2	1		1				1	1	2						1	1	2			4				1	1	
	4			4	1	1		1					1	1							1	1				4				1	1	
	5			4						1				3	2							1	1	1						1	1	
	6		4			1	1	1	1	1	1				1	1						1	1	1			4			1	1	
	7	4					1	4	1	1	4			2		1	1					1	1				4		4		1	1
	8	4						1	1	1	1			1	1	1						1	1			4				1	1	
	9		4				1	1	4	1	1			1								1	1				4		4		2	2
	10	4			1		1	1	1	1	1			1							1	2	2	2	1		4			1	1	
	11	4							1					1								1	1	2			4			2	2	
	12			4				2						1							1	1	1			4				1	1	
	13			4		1	1	3	1					1							1	1	1			4				1	1	

Chachalacas

		De origen mecánico										De origen químico						De origen mecánico-químico															
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Floras de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
B4	1			4					1														1			4					1	1	
	2		4						1		1													1	1	1		4			1	1	
	3				4								1										2	2	2		1				1	1	
	4			4									1										2	2	2			4			2	1	
	5			4																			1	1	1						1	1	
	6				4					1		1										1						4				1	1
	7			4																			1	1							1	1	
	8	4					2	1	1	1	1			1	1							1						4			1	1	
	9		4					1		1	1			1									1	1				4			1	1	
	10		4					1		1	1			1								2	2	1				4		1	1	1	
	11		4						1	1	1											1	1				4				1	1	
	12				4					1													1					4			2	2	
	13			4						1				1								1	1					4			1	1	
	14	4												1		2	2					1	1		1		4				1	1	
I	1		4								1				1	1					1									1	1		
	2		4							1					1	3						2	1					4			1	1	
	3				4										2	2						1	1	1			4			1	1		
	4			4							1				1	1						1	1				4			2	2		
	5			4																		4				1		4			2	2	
	6			4												3	3					2	3	1			4			2	2		
	7		4									1				1	1										4			2	2		
	8		4							1						1						1	2	1			4		4		2	1	
	9			4						1							1					1					4				1	1	
	10			4																		1	2	1			4				1	1	
	11			4						1							1					4	3	2	2		4				1	1	

Anexo 3: Conteo de microtexturas de la ilmenita Istirinchá

		De origen mecánico										De origen químico						De origen mecánico-químico															
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meantricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Floras de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones entonadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
B2	1			4									1			2																	1
	2		4						2			1		1														4					1
	3			4										1		3											4					1	
	4	4						1	1			1		3		1					1	1	1				4					1	
	5		4					1	1	1		1				1					2	1					4					1	
	6			4												1					1							4					2
	7		4									1	1	1	1	1					1	4					4					2	
	8		4							2				1		1											4					2	
	9	4																			2	1					4					1	
	10		4							2						4					3						4					4	
	11		4					1	1	1		1	1	1	1	1					2	2	2				4					1	
	12	4						1	1		1		1	1	1	1						2	2	1	1		4					1	
	13			4						1				1							1		2	1	1		4					1	
	14	4								1		4		2		1								1	1		4					2	
	15	4						1	1	3	1	1									1	1	1				4					3	
C	1		4						4		1		1		1						1	2	1	2			4					1	
	2	4										1										1	1									1	
	3	4							1		1											1	1									4	
	4		4					1	1				1										1	1	1							1	
	5			4				1				4		4		1							1	1	1							1	
	6	4						1			1	1	3		4		1						1	1	1		4					1	
	7		4							4		2	2		1		1						1	1	1							1	
	8	4								1		1			1							1	1	1	1		4					1	
	9			4						1				1	4				1			4		1	1	1							1
	10		4							1	1			1									1				4						1
	11			4						2				1		1											4						2
	12	4								4											2						4						1
	13		4									1									1	1	1	1		4							1
	14	4									3															4							1
	15			4					1			3		3		1	1						2	1	1		4						1
S3	1		4						2				1		1								1	1								2	
	2		4						2		2		1		1								1	1									1
	3	4										1		1		1						1	1	1		4						1	
	4	4						1	1	2	1			1		1					2		1	1	1							1	
	5	4											1		1		1					1	1	1								1	
	6		4						1					1									1				4						1
	7	4																				4	2				4						1
	8	4											1	1		1					1	4	1	1	1		4					1	
	9		4											1		1									1		4						1
	10			4						3		1				1					1						4						2
	11	4								1													1				4						1
	12	4											1			1					1		1	1	1								1
	13		4									2											1				4						1
	14	4											2	1		1						1		1	1		4						2
	15		4						1	1	2	1		1		1						1	1	1		4							1

Lechuguillas

		De origen mecánico											De origen químico							De origen mecánico-químico																		
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandríticas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas					
C2	1	4				1	1	1	1						1							2	1	1								1	1					
	2	4									1					1						1	1	1						4			1	1				
	3	4				3		1	3		2		1			1	1												4	1			1	1				
	4	4							1		1		2		1	1	1				1	1	1	1				4				2	1					
	5	4							2		1	1	1		2	1					1	1	1	1				4				1	1					
	6		4						2		2	1	2	1							1	1	1	1				4					1	1				
	7		4			1					3	3			1												4						1	1				
	8		4								2	2			1	1	1				2	1	1	1				4					1	1				
	9		4						1			2	2	1		1	1					1	1	1				4					1	1				
	10		4									1											1				4							1	1			
	11	4										1										2	1	1	1	1								1	1			
	12	4					1				1										4		1	1	1	1			4					2	1			
	13	4					1		1		2	1										1	1	1	2				4	1				1	1			
	14	4																				4	4	4	4	1									1	1		
	15	4				1		1			2	2	1	2		1	1	1				1	1	1	1			4						1	1			
M2	1	4						1	2		1	1		1	1			1			1	1	1				4						1	1				
	2	4				2	2	1		1											1	1	1	1				4	2					1	1			
	3		4			1	1		1	1	1	1		2						1	1	1	1				4						1	1				
	4		4						1	1	2				1	1					1	1	1	1				4	1					1	1			
	5	4				2	1	2			2	2			1	1					1	1	1	1				4	1					1	1			
	6		4								2	1			1	1					2	1	1	1	1			4						1	1			
	7		4						4												1	1	1	1				4						2	1			
	8		4								1				1							1						4							1	1		
	9		4				1	1	1	1	1	1			1	1					1		1	1				4						1	1			
	10		4						1													1					4								1	1		
	11	4				1						1									1	2	1	1	1			4							1	1		
	12		4						1		2					2	1					1	1	1				4							1	1		
	13		4				2					1				1						1	1					4							1	1		
	14	4					1	1	1	1	1	1	2			1	2					1	1	1				4							1	1		
	15	4					1	1	1	1	1	1	1			1						1	1	1			4								1	1		
S2	1	4						1	1	1	1			1	3					1	2	1	1	1			4							1	1			
	2	4				1			1	4				1	1						1	1	1	1				4							2	1		
	3	4				1			1	1	1			1	1						2	2	1				4								2	1		
	4	4				1			1	1											2						4								1	1		
	5		4								4				1	4					2						4									2	1	
	6		4				1					1			1						1						4									2	1	
	7		4						1		1	1			1	2					2	1	1	1	1			4							1	1		
	8		4						1	1	1	1			1	1					2	2	2	2				4							2	1		
	9		4								2											2	2	2	2			4								2	1	
	10			4											1	1											4									1	1	
	11	4							3		2	1			1	1						3	1		2			4								1	1	
	12	4									1	2										1						4									2	1
	13	4					1	1	1	1	1	1			1	1					1	1	1	1				4								1	1	
	14	4					2	1	2			2			2							4	4	3	2	2			4								2	2
	15		4						1	2		1			1	1						4	4	3	2	1			4								2	2

El Morro

		De origen mecánico										De origen químico							De origen mecánico-químico															
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	Marcas de trituración	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas	
B2	1		4				1	2		1	1	1	1	1	1												4	4				1	1	
	2	4					1	1	1	1	1	1	1	1	1												4	4				1	1	
	3	4					1	1	1	1	1	1	1	1	1							1	1	1				4	4		2	1		
	4			4		1																										1	1	
	5			4																		2	1	1								1	1	
	6	4																				1	1									2	2	
	7				4																												1	1
	8	4						1	2	1												4	3	2	2	1						4	4	
	9		4																														1	1
	10		4					1	4	4		2										1										2	2	
	11			4																													1	1
	12	4																															1	1
	13		4							1			1									2	1										1	1
	14	4																				1		1									1	1
	15			4						1													3										2	2
C2	1		4				1					1	1	1	1						2	1	1								1	1		
	2		4						1		2	1	1	1	1							1	2	2	1							1	1	
	3	4																			1	1	1				2	4				1	1	
	4	4							4			1										1	1	1								2	2	
	5	4									1											1	1	1								1	1	
	6	4								1												1											2	2
	7	4										2																					1	1
	8	4						2	1		1											2											1	1
	9	4						1				2										4	2	1	1							1	1	
	10		4							1													1	1									1	1
	11	4						1		1	1											1											2	2
	12			4						1												1											2	2
	13		4							1			2	1	1								4	4	2								1	3
	14		4					1		1			2	1																			1	1
	15		4							1			1	1	1							1						4					1	1

Palma Sola

		De origen mecánico										De origen químico							De origen mecánico-químico																
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas		
B1	1	4							2			1	1	1	1	1					1	1	1	1			4	4				1	1		
	2			4																								4	4				1	1	
	3	4										2	2	1	1	1	1				4		1	1	1							1	1		
	4			4																													1	1	
	5			4																													1	1	
	6		4							2		1	2	2	1	1						1	1	1								2	2		
	7	4											4	4								1	1	1								1	1		
	8	4						2		1												3	2	2	2	2						4	4		
M1	1			4					4		1										4											1	1		
	2			4																		2											1	1	
	3		4						1		1											1	1	1									1	1	
	4			4																		4											1	1	
	5			4																		3											2	2	
	6			4						4		4										1	2	1	1								2	2	
	7			4																		4	1	1									1	1	
	8			4																		4	1	1									1	1	
	9			4																														1	1
	10			4																			3	2	2	1							3	3	
	11			4																			2	1										2	2
	12			4																		1	4											2	2
	13			4																														1	1
	14		4																															2	2
	15			4					2	2		1										1	3	2	1	1							1	1	

Boca Andrea

		De origen mecánico													De origen químico								De origen mecánico-químico										
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Góbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
C1	1		4			1						1			1	2																	1
	2	4									2				1	1		1			2	1	2					4				1	
	3			4							3				1	4				1								4				1	
	4		4								1				2	1				1								4				1	
	5	4				1		1	1	1	1			1	1	1				1	3	2	2	2		4					1		
	6	4				1		1	1	1	1			1	1	1				2	2	2	2	1		4					1		
	7	4				1		1	1	1	1			1	1	1				2	1	1	1		4						1		
	8			4																1	1	1	1					4				1	
	9				4						1									1	1	3	2	1				4				1	
	10				4															1	1	3	2	1				4				1	
	11	4							1	1				1	1	1				1	1	1	1	2				4				1	
M1	1			4											2	1										4					1		
	2	4					4	1	1		1				1	1					1						4				1	1	
	3			4							1				1	1											4				1	1	
	4			4											1	1									3		4				1	1	
	5			4						1					1	1				1	2					4					1	1	
	6			4											2	2										4					1	1	
	7		4			1		1	1	2		1	1	1	1	1					1	1	1	1				4			1	1	
	8		4					1		1			1	1	1	1						1			1			4			1	1	
	9				4					2						2	1										4					1	1
	10				4											2	1												4			1	1
	11				4					1		1				1	1				1	1	1					4				1	1
	12				4						1					2	2				1	3	2					4				1	1
	13				4					1						1	1				1	1	1					4				1	1

Villa Rica

		De origen mecánico													De origen químico								De origen mecánico-químico										
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrías paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Góbulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas
C	1	4					2														3	2	2	2							1	1	
	2	4																			1	3	1									1	1
	3				4								3			1					1	1	1	1				4				1	1
	4	4											1	1		1					1	1	1	1				4				1	1
	5					1				2					1	1					2	1	1	1				4				1	1
	6									2						1					2	1	1	1				4				1	1
	7			4												4					1	1	1				4				2	1	1
	8			4												1					1	1	1				4				1	1	
	9			4						3	1					1	1										4		4			1	1
	10			4			1	1					2			1	2	1				2	1	1				4				1	1
	11			4						3						1						1	1	1				4				1	1
	12			4												1						1	1	1				4				1	1
	13			4						2			1			1						1	1	1				4				1	1
	14			4				1	1		1					2						1	1	1				4				1	1
S2	1			4						1					1	1					1	2					4				1	1	
	2			4						1	1				1	1					1	2					4				1	1	
	3			4						1					1	1					1	1	1				4				1	1	
	4			4											1	1					1	1	1				4				1	1	
	5			4											1	1					2	1	1				4				1	1	
	6			4										4		2					4	4					4				1	1	
	7			4						1				1		1					1	1	1				4				1	1	
	8			4						1				1		1					1	1	1				4				1	1	
	9			4						2	1		2		1	1					1	1	1				4				2	1	4
	10			4						1					1	1					1	1	1				4				1	1	4
	11			4			1	1	1		1				1	1					1	1	1				4				1	1	4
	12			4						1					1	1					1	1	1				4				1	1	4
	13			4											1	1					1	1	1				4				1	1	4
	14			4						1					1	1					1	1	1				4				1	1	4

El Farallón

	De origen mecánico														De origen químico							De origen mecánico-químico												
	Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas		
M2	1	4			1	1	1	1	1	1	1	2							1	1	1					4	4			1	1			
	2		4				1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1				4				1	1			
	3		4		2		1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1					4	4			1	1			
	4		4			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1				4				1	1			
	5		4							1	1	1	1	1	1						1	1	1				4	4			1	1		
	6		4							1	1	1	2	2	1	1					1	1	1				4	4	1		1	1		
	7	4								1	1	2	1	1	1	1				4	3	1	1				4	4			2	1		
	8		4		1					3	3	2	2	1	1	1				1	1	1					4	4			1	1		
	9		4							1	1	2	2	1	1	1				1	1	1				4			1		1	1		
	10		4				1		1	1	1	1	1	1	1				1	1	1					4	4		1		1	1		
	11		4							1	1	1	1	1	1					1	1	3				4				1	1			
	12		4													2				1	1					4						1	1	
	13		4						1	1	1	1	1	1	1					1	1					4						1	1	
	14		4									1	2	1	1	2					1	1					4		4				1	1
	15		4							3	3	1	1	1	1	1				1	2						4	4	1				1	1
C2	1	4			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1			4	4			1	1			
	2	4			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1			4				1	1			
	3	4			2							1			1					1						4	4			1	1			
	4		4		1	1	1						1	1	1					1	1	1	1			4	4	1		1	1			
	5		4										1	1	1					1						4				1	1			
	6	4							1	1	1	1				1				1	1					4				1	1			
	7	4				1				2	3									1	1	1	1			4	4			1	1			
	8		4						1	1	1	1								1	1	1				4	4			1	1			
	9	4					1			1	1	1							1	1	1				1		4	4			1	2		
	10			4					1	1	1	1	1	1	1					1	1	1				4	4		1		1	1		
	11			4					1	1	1	1	1	1	1					1	1	1				4	4		1		1	1		
	12	4				1	1	2	1	2	2									2	1	1	1	1		4		4	1		1	1		
	13	4							4											2	2					4				1	1	1	1	
	14		4			1	2	1												2	2					4	4					1	1	
	15	4					3	1		1		1								2	1	1	1	1			4	4			1	1		

La Mancha

	De origen mecánico														De origen químico							De origen mecánico-químico											
	Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas	
S1	1		4								4			1			2			1						4				1	1		
	2	4			1	1	1		2				1	1	1	1				1	2	1	1	2				4			1	1	
	3	4			1		1						1	1	1	1				1	1	1	1				4	4			2	2	
	4		4							1					1	1	1				2	1	1	1		1		4			2	2	
	5		4							1					1	1	2				1	1	1				4	4			1	1	
	6		4							1					1	1	1				1	1	1				4				1	1	
	7		4							1					1	1	1				2	2	1				4	4	1		1	1	
	8	4										1			1	1	2				1	1	1			1	4				1	1	
	9		4							4											2	2					4				1	1	
	10		4							1	1				1	2	1				1	1	1				4	4		1		1	1
	11		4							1					1	1	1				1	1	1			4				1	1	1	1
	12		4						2				4	1	1	1	1				1	1	1	1			4	4			2	1	1
	13		4									2				2					1	1	1				4				1	1	1
F1	1		4												1	2				1	1	1				4				1	1	1	
	2		4												1	2				2	3	1	1	1		4		4			1	1	
	3		4						2						1	2				1	1					4						1	1
	4		4								1					1				1	1					4						1	1
	5		4			1					1									1	1					4	4		1			1	1
	6		4													1					1					4	4					1	1
	7		4				1	1								1	1				1					4	4					1	1
	8	4														1	1				1		1			4	4					1	1
	9		4						1	1			2	2							2	4				4				1		1	1
	10		4							2						1	1				1	1				4	4					1	1
	11		4							4						1	1				2	1	1			4	4					1	1
	12		4													4	1				2	1	1			4	4					1	1

Chachalacas

		De origen mecánico											De origen químico						De origen mecánico-químico															
		Contorno anguloso	Contorno sub anguloso	Contorno redondeado	Fracturas concoidales pequeñas	Fracturas concoidales medianas	Fracturas concoidales grandes	Escalones arqueados	Escalones rectos	Crestas meandricas	Superficies planas por fractura	Marcas en V	Surcos y estrias rectas o curvadas	Láminas invertidas	Marcas concéntricas	Bordes de bulbo	Marcas de abrasión	Estrias paralelas	"Imbricated grinding features"	Huecos orientados	Huecos de disolución	Grietas de disolución	Globulos de sílice	Flores de sílice	Película de sílice	Sobrecrecimiento mineral	Relieve bajo	Relieve medio	Relieve alto	Depresiones enlongadas	Marcas de fricción	Partículas adheridas	Fracturas	
B4	1		4					1					1							1													1	
	2		4				1		1												1							4		4			1	
	3		4						1																				4				1	
	4		4									1								1	2	2							4		1		1	
	5		4								1										1	1	2	2	2				4				2	
	6		4							1			1							1	1	1	1						4				2	
	7		4											1							1	1							4				1	
	8		4					1					1								2		1	1	1					4	2		2	
	9			4						1											1	1	2	2							4		1	
	10		4							1											1	1	2	2							4		2	
	11		4					1															1	1	1						4		1	
	12			4								1	3									2	1						4				2	
	13			4						1	1			1	1								1	1	1				4				1	
S	1			4					1											1							4					1		
	2			4					1												2												1	
	3			4																	1							4					1	
	4			4																	1												1	
	5			4						1			1	1							2	1									4	1	1	
	6		4																		1	1	1	1									2	
	7		4							1											1	1	1	1	1						4		2	
	8			4																		1												1
	9				4																		1	1	1							1		1
	10					4																												2
	11					4									1	4	1							1				2						2