

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



“Caracterización y cambios texturales de los sedimentos en la franja costera de Playa Altamira a Playa Miramar, Tamaulipas”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

O C E A N Ó L O G O

PRESENTA:

LAURA CRISTINA LÓPEZ VELÁZQUEZ

ENSENADA, B.C., FEBRERO DE 2016

RESUMEN

Se estudió la variación en las características del tamaño de grano de los sedimentos en la zona comprendida entre la Playa Altamira y la Playa Miramar, Tamaulipas, México. Se analizaron 145 muestras de sedimento que fueron recolectadas durante dos campañas de muestreo en tres puntos diferentes de la playa: post-playa, cara de la playa y zona de rompiente, en diciembre de 2011 y enero-febrero de 2012. Se realizaron métodos estadísticos para analizar el tamaño de grano a través de gráficas bivariantes, y funciones discriminantes con la finalidad de describir el ambiente sedimentario. Los análisis granulométricos mostraron variaciones desde la post-playa hasta la zona de rompiente. La concentración de granos más finos se presentó durante febrero de 2012 en los tres niveles de la playa con valores mayores a 2.7 phi, mientras que los más gruesos se presentaron en la zona de rompiente durante enero-febrero de 2012 con valores menores a 0 phi.

“CARACTERIZACIÓN Y CAMBIOS TEXTURALES DE LOS SEDIMENTOS EN LA
FRANJA COSTERA DE PLAYA ALTAMIRA A PLAYA MIRAMAR, TAMAULIPAS”

T E S I S

QUE PRESENTA:

LAURA CRISTINA LÓPEZ VELÁZQUEZ

A P R O B A D A P O R :



Dr. Miguel Agustín Téllez Duarte

Presidente del Jurado



Dr. Luis Antonio Cupul Magaña

Sinodal Propietario



Dr. Miguel Ángel Santa Rosa del Río

Sinodal Propietario

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A mi Director de Tesis:

Dr. Miguel Téllez Duarte, por creer y confiar en mí, apoyarme personal y académicamente, transmitir y compartir su conocimiento, y guiarme durante toda la carrera.

A mi Tutor:

Dr. Guillermo Ávila Serrano, por su ayuda, consejos y sobre todo porque me encaminó en el área de Geología.

A mi Comité de Tesis:

Dr. Luis Antonio Cupul Magaña y el Dr. Miguel Ángel Santa Rosa, por compartir sus conocimientos y transmitirme su aprendizaje.

A todos mis Maestros:

Por sembrar el conocimiento en mí y demostrarme que estudiar el océano es único, divertido y maravilloso.

A la Psicóloga Carmen Meza:

Por su ayuda durante toda la carrera.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas:

Por compartir y brindarme la oportunidad de realizar este trabajo.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Dios:

Porque me permitió cerrar otro ciclo importante en mi vida, gracias por todas las bendiciones dadas y estar presente hasta este día.

A mi madre, Bertha Alicia Velázquez:

Por su gran apoyo, esfuerzo, comprensión y amor. Por su esfuerzo para que pudiera concluir esta meta. Este título es de las dos.

A mis sobrinos, Daniel y Prisila:

Por formar parte importante de mi vida.

A Misael R. Bastarrachea:

Por su gran ayuda, paciencia, por ser mi asesor personal durante la carrera y por todo el tiempo compartido y aprendido.

A mi maravillosa Alma Máter:

La Facultad de Ciencias Marinas. Por ser parte de la formación de mi conocimiento en esta extraordinaria carrera, verme crecer como persona y ser mi segundo hogar.

A mis amistades de la Facultad:

Venecia Urbano, Alejandra Quintero, Karen Muñoz, Cecilia Simón, Violeta Arista y Lucero Cervantes. Principalmente por su amistad, por ayudarme cuando tenía dudas, los trabajos en equipo, por hacer momentos divertidos, apoyarme y por sus valiosos consejos.

A mis amigos de la Facultad de Ciencias:

Carlos Gutiérrez, Edmundo Fernández y Emmanuel Pérez. Por haberlos conocido en el camino y brindarme su amistad.

A todos mis maestros de la carrera, en especial:

Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre, Dra. Beatriz Atienza, Dr. Guillermo Ávila, Dr. Héctor Bustos, Dr. Reginaldo Durazo y al M.C. Rigoberto Guardado. Por su sabiduría compartida, paciencia, consejos, confianza y apoyo en mi formación académica, siempre con una actitud positiva, ofrecerme conocimiento y una sonrisa más allá que sólo dentro de las aulas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
HIPÓTESIS	9
OBJETIVO.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Área de estudio	10
Muestreo de sedimentos	12
Análisis granulométrico de sedimentos	12
RESULTADOS	14
Tamaño medio de grano	14
Nivel 1: Post-playa.....	14
Nivel 2: Cara de la playa.....	14
Nivel 3: Zona de rompiente	15
Parámetros estadísticos del tamaño de grano y gráficas bivariantes	16
Diciembre 2011.....	16
Enero – Febrero 2012.....	17
Febrero 2012	18
Ambientes sedimentarios y funciones discriminantes	26
DISCUSIONES	27
CONCLUSIONES.....	32
REFERENCIAS	33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localización del área de estudio: Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas. . 11
- Figura 2.** Tamaño medio de grano en la post-playa de la zona de estudio..... 14
- Figura 3.** Tamaño medio de grano en la cara de la playa de la zona de estudio. 15
- Figura 4.** Tamaño medio de grano en la zona de rompiente de la zona de estudio. 15
- Figura 5.** Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Diciembre de 2011: **(a)** tamaño medio de grano, **(b)** clasificación, **(c)** asimetría y **(d)** curtosis. 20
- Figura 6.** Gráficas bivariantes entre **(a)** media y clasificación, **(b)** clasificación y asimetría, y **(c)** asimetría y curtosis correspondientes a Diciembre de 2011. 21
- Figura 7.** Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Enero-Febrero de 2012: **(a)** tamaño medio de grano, **(b)** clasificación, **(c)** asimetría y **(d)** curtosis..... 22
- Figura 8.** Gráficas bivariantes entre **(a)** media y clasificación, **(b)** clasificación y asimetría, y **(c)** asimetría y curtosis correspondientes a Enero-Febrero de 2012..... 23
- Figura 9.** Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Febrero de 2012: **(a)** tamaño medio de grano, **(b)** clasificación, **(c)** asimetría y **(d)** curtosis. 24
- Figura 10.** Gráficas bivariantes entre **(a)** media y clasificación, **(b)** clasificación y asimetría, y **(c)** asimetría y curtosis correspondientes a Febrero de 2012. 25
- Figura 11.** Relación entre funciones discriminantes Y_1 y Y_2 que muestran los ambientes en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas. 26

Figura 12. Porción de la Playa Altamira, dónde puede observarse la desaparición del cordón de dunas costero y, cómo la erosión aún continúa por la presencia del escarpe en la berma.

..... 31

INTRODUCCIÓN

Los estudios del tamaño de grano de los sedimentos de una playa proporcionan información sobre las propiedades intrínsecas de los mismos, así como del ambiente de depósito. Además, ayudan a profundizar el conocimiento de la naturaleza y la energía del flujo que transportan los sedimentos. Por lo anterior, los análisis sedimentológicos de una playa juegan un papel vital para documentar la historia de deposición en una región (Rajganapathi *et al.*, 2012).

El conocer las características de los sedimentos es importante para comprender las interacciones entre el ambiente marino y los depósitos sedimentarios. El tamaño de grano de los sedimentos es la característica fundamental de las partículas que conforman los depósitos, ya que éste afecta su transporte y depositación (Cupul-Magaña *et al.*, 2006), y en general, el análisis de las características texturales de los sedimentos es una herramienta muy importante para determinar su origen, condiciones de transporte y depositación (Folk y Ward, 1957; Friedman 1962, 1979). Asimismo, la distribución espacial y temporal del tamaño de grano refleja la variabilidad de las condiciones ambientales bajo las que éste se depositó (Cupul-Magaña *et al.*, 2006).

De acuerdo con Sahu (1964), cada ambiente de depósito tiene un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo. Sin embargo, dichas condiciones ambientales no sólo pueden reflejar los procesos naturales, sino también procesos inducidos por la actividad humana (eg. construcción de presas, estructuras de protección costera, aporte de aguas residuales, contaminantes, etc.), que afectarían las condiciones ambientales.

Recientemente se han observado severos problemas de erosión en la zona costera comprendida entre el Puerto de Altamira y Puerto Madero, Tamaulipas; donde se carece de estudios de las características texturales de los sedimentos en que se utilicen los parámetros estadísticos de la distribución del tamaño de grano para interpretar los ambientes sedimentarios de la playa, y así disponer de un marco de referencia para el análisis y búsqueda de alternativas de mitigación del problema de erosión. Por ello, este trabajo se enfoca en la caracterización textural de los sedimentos, y sus cambios espaciales y temporales, con el fin

de establecer un punto de partida para la interpretación de sus implicaciones ambientales en los problemas de erosión costera.

HIPÓTESIS

Debido a que se han construido obras portuarias en los extremos de la playa se espera que éstas influyan en la textura de los sedimentos.

OBJETIVO

Analizar los cambios espaciales y temporales de los parámetros texturales de los sedimentos al sur de la Playa Altamira a Playa Miramar, Tamaulipas, y establecer las bases de sus implicaciones ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en Altamira, que se encuentra en la parte sureste del estado de Tamaulipas (Figura 1), es uno de los tres municipios que conforman la zona conurbana más importante del estado. La cabecera municipal se localiza a los 22°23' de latitud Norte y a los 97°56' latitud Oeste, a una altitud de 26 metros sobre el nivel del mar. El municipio colinda al Norte con Aldama; al Sur con Ciudad Madero y Tampico, así como con el estado de Veracruz, al Este con el Golfo de México y al Oeste con el municipio de González (API Altamira, 2014).

La Playa Altamira se encuentra en el litoral del Golfo de México, comienza a partir de la escollera norte del canal de navegación de entrada al Puerto Industrial. La costa está constituida en su mayoría por playas arenosas y dunas antiguas, con una plataforma continental muy extendida y suave, característica de la zona central del Golfo de México (Garza-Flores *et al.*, 2006). La región de Tamaulipas se conforma de sedimentos arenosos en la zona costera, seguidos por arcillas y limos a mayor profundidad y distancia de la costa.

La zona costera de Altamira-Tampico se puede clasificar como una playa de baja energía, donde predominan las arenas, limos y arcillas arrastrados por el Río Pánuco (Campos-Castán, 1981 en Delgado-Blas, 2001). Se infiere que los sedimentos más finos encontrados en la Playa Altamira a Playa Miramar son debido a los aportes de agua epicontinental que recibe, así como de aguas marinas tropicales, subtropicales, y templadas, además de lagunas costeras (Delgado-Blas, 2001).

Los datos para este estudio fueron obtenidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT), dentro del proyecto “Estudios, proyectos y alternativas de solución a los problemas de erosión costera en la zona sur del Puerto Industrial de Altamira, Tamaulipas”.

Muestreo de sedimentos

Se realizaron tres campañas de toma de muestras por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en las que se muestrearon los sedimentos en tres puntos de la playa: la zona de rompiente, la cara de playa y después de la cara de playa (post-playa). Se tomaron 441 muestras por campaña, en total fueron 1764 muestras.

Para la obtención de las muestras se trazó una poligonal base a lo largo de la playa cada 100 m, 10 km hacia el Norte a partir de la escollera norte del Puerto de Altamira, y 25 km hacia la escollera del Sur, con una extensión lineal de 35 km. Como control se instalaron 46 mojoneras en el lado Norte y 105 en el lado Sur de las secciones de playa.

Análisis granulométrico de sedimentos

Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas en conjunto con el Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Portuaria Marítima y Costera (CIDIPORT). Las muestras fueron procesadas mediante separación mecánica de tamaños por tamices, de acuerdo con la metodología de Folk (1974).

El análisis de los datos del tamaño de grano de las muestras recolectadas se realizó con el programa GRADISTAT v8; el cual calcula los parámetros estadísticos (media, clasificación, asimetría y curtosis), por el método de los momentos de acuerdo con Folk y Ward (1957). El total de las muestras fueron graficadas en diagramas binarios para discriminar los ambientes, analizar su distribución y comportamiento espacial y temporal.

A partir de los resultados granulométricos se les aplicó la función discriminante lineal propuesta por Sahu (1964), para caracterizar el ambiente de depositación de los sedimentos en las diferentes estaciones de muestreo. Este método estadístico se obtiene a través de estudios cuantitativos de métodos de discriminación de diferentes mecanismos y ambientes de depósito, considerando que la distribución del tamaño de grano refleja los factores de la energía del ambiente de depósito y la fluidez del medio de depósito, que a su vez correlacionan los diferentes procesos y el medio ambiente de depósito. Con la finalidad de distinguir entre procesos eólicos y un ambiente de playa se utiliza la función Y_1 , entre playa y ambiente marino agitado (Y_2), entre ambiente marino somero y procesos fluviales (Y_3), y

entre ambiente fluvial deltaico y depósitos de corrientes de turbidez (Y_4) (Cupul-Magaña *et al.*, 2006).

I. Para discriminar entre ambiente eólico y playa (Y_1):

$$Y_1 = -3.5688 M + 3.7016 r^2 - 2.0766 SK + 3.1135 KG$$

Donde M es el tamaño medio de grano, r^2 es la clasificación, SK es la asimetría y KG es la curtosis. Si $Y_1 < -2.7411$ el ambiente es eólico, pero si $Y_1 > -2.7411$ se relaciona a un ambiente de playa.

II. Para discriminar entre playa y un ambiente marino somero agitado (Y_2):

$$Y_2 = 15.6534 M + 65.7091 r^2 + 18.1071 SK + 18.5043 KG$$

Si $Y_2 < 63.3650$ el ambiente se identifica como playa, y si $Y_2 > 63.3650$ corresponde a un depósito marino somero.

III. Para discriminar entre ambiente marino somero y un ambiente fluvial (Y_3):

$$Y_3 = 0.2852 M - 8.7604 r^2 - 4.8932 SK + 0.0482 KG$$

Si Y_3 es > -7.4190 el ambiente es marino somero, pero si Y_3 es < -7.4190 el ambiente se denomina depósito fluvial (deltaico).

IV. Para discriminar entre ambiente fluvial y depósitos de corrientes de turbidez (Y_4):

$$Y_4 = 0.7215 M + 0.403 r^2 + 6.7322 SK + 5.2927 KG$$

Si Y_4 es > 10.0 el ambiente se considera turbio, en cambio si Y_4 es < 10.0 el ambiente es fluvial.

En relación con las características ambientales que se observaron en el área de estudio (playa, eólico y marino somero), para el análisis de las muestras de sedimento sólo se utilizaron las funciones discriminantes I y II.

RESULTADOS

Tamaño medio de grano

Nivel 1: Post-playa

En el muestreo de diciembre de 2011 el tamaño medio de grano (Fig. 2), a lo largo de la post-playa fue cercano a 0 phi en ocho de las muestras. En las cinco muestras restantes la granulometría fue variable, fluctuaron desde 1.4 (arenas medias), hasta 3.6 phi (arenas muy finas). La mayoría de las muestras de enero-febrero de 2012 oscilaron en el rango de 0.1 y 2.3 phi, a excepción de las últimas cinco muestras (estaciones 55 a 59), que mostraron tamaños más finos y, sólo la muestra de la estación 2 tendió hacia los tamaños gruesos, con un valor negativo (-0.79 phi). En febrero de 2012 las muestras mostraron una tendencia más uniforme con tamaños de arena fina con valores entre 2.8 y 3.6 phi, a excepción de tres muestras que se salieron de ese rango, con valores de 1.8 a 2.2 phi (estaciones 24, 25 y 26).

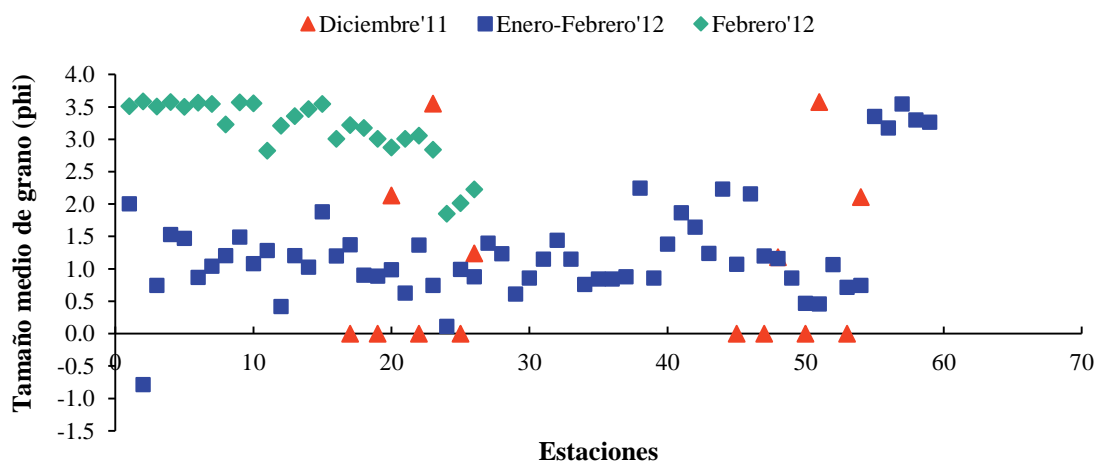


Figura 2. Tamaño medio de grano en la post-playa de la zona de estudio.

Nivel 2: Cara de la playa

En la cara de la playa el tamaño de grano durante la campaña de diciembre de 2011 (Fig. 3), y enero-febrero de 2012 mostraron un comportamiento muy similar, con valores entre 0 y 2.3 phi, a excepción de las estaciones 55 a la 60, que tendieron a valores más finos comprendidos entre 2.4 a 3.6 phi. Únicamente dos muestras de enero-febrero mostraron tamaño de grano grueso: la estación 23 (-0.4 phi), y la estación 50 (-0.02 phi). En febrero de

2012 las muestras presentaron una tendencia muy uniforme con tamaños de arenas muy finas (de 2.8 a 3.5 phi).

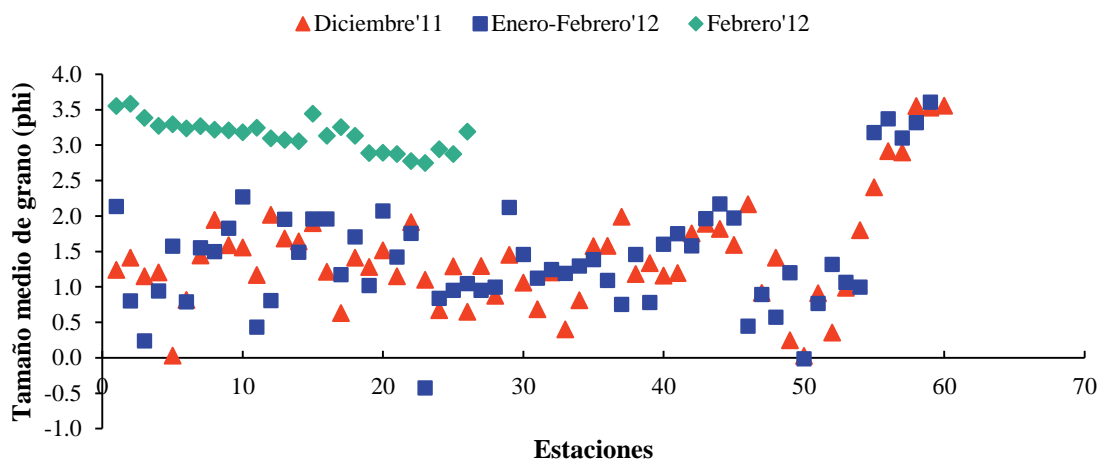


Figura 3. Tamaño medio de grano en la cara de la playa de la zona de estudio.

Nivel 3: Zona de rompiente

Para la zona de rompiente (Fig. 4), en diciembre de 2011 y enero-febrero de 2012 se observó un comportamiento muy similar, e incluso con un patrón semejante al de la cara de la playa, a excepción de que los valores tienden a ser más gruesos, con valores que oscilaron entre -1.1 y 2.1 phi. Similarmente, ocurrió un agrupamiento semejante de las muestras 56 a la 60 con tamaños mayores que 2.5 phi. Asimismo, se observó la misma tendencia de uniformidad en las estaciones de febrero de 2012 con valores de 2.8 a 3.5 phi.

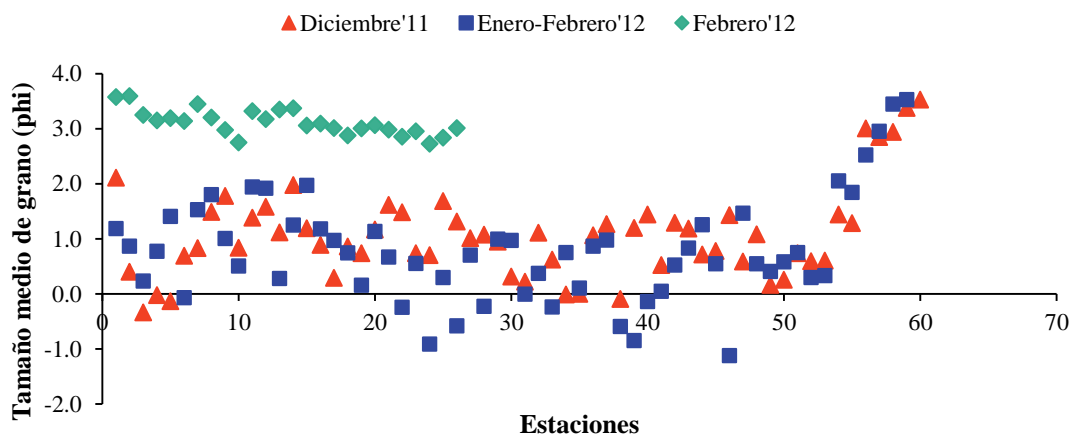


Figura 4. Tamaño medio de grano en la zona de rompiente de la zona de estudio.

Parámetros estadísticos del tamaño de grano y gráficas bivariantes

Diciembre 2011

En diciembre de 2011 el tamaño medio de grano osciló entre arenas medias a arenas gruesas, se presentó mucha dispersión en las estaciones con valores que oscilaron entre -0.3 a 3.5 phi en los tres niveles de la playa, donde predominaron los valores positivos relacionados a las arenas. Se presentaron tres muestras del nivel 1 y nivel 3 con valores negativos, y los sedimentos se tienden a ser más finos en la región más sureña (Fig. 5a).

La clasificación del sedimento en los tres niveles de la playa mostró la misma tendencia a aumentar y disminuir, con un valor mínimo de 0.2 phi y un máximo de 2.0 phi. Las muestras estuvieron de mal a moderadamente clasificadas, observándose la mayor dispersión en la zona de rompiente (nivel 3, Fig. 5b).

La asimetría fue positiva en la mayoría de las muestras de todas las estaciones (Fig. 5c), y correspondieron a los tamaños de arena fina. Algunas estaciones de los tres niveles de la playa, predominantemente las de la región más al sur, presentaron una asimetría negativa, y consecuentemente tuvieron una tendencia hacia los tamaños de grava.

Los valores de la curtosis fueron muy uniformes en todos los niveles, aunque en las últimas estaciones de la región más sureña las muestras se dispersaron con valores muy grandes (Fig. 5d). Se observó que predominó la distribución platicúrtica y leptocúrtica, y en menor cantidad la mesocúrtica.

En la relación entre clasificación y tamaño medio de grano no se discriminaron los tres sub-ambientes, sólo algunas de las muestras de sedimentos de los tres niveles estuvieron un poco más dispersas del agrupamiento principal (Fig. 6a). En la relación de asimetría contra la clasificación tampoco se discriminaron los tres sub-ambientes (Fig. 6b), pero se observó que formaron un grupo separado de aproximadamente 13 muestras con asimetría negativa.

En la relación entre curtosis y asimetría (Fig. 6c), la mayoría de las estaciones formaron un grupo muy compacto, aunque se observó una discriminación de nueve muestras del sub-ambiente de la cara de la playa, cuatro muestras de la post-playa y cuatro de la zona de rompiente, que estuvieron más dispersas por presentar una tendencia a los tamaños de

grano más gruesos, así como otra muestra de la zona de rompiente por su tendencia hacia los granos más finos.

Enero – Febrero 2012

En el muestreo durante enero-febrero de 2012 la distribución de la media del tamaño de grano de los sedimentos osciló entre arenas muy finas a grava, con valores que oscilaron entre -1.1 y 3.5 phi en los tres niveles de la playa, donde predominaron los valores positivos, o sea, arenas (Fig. 7a). Sin embargo, el nivel 3 correspondiente a la zona de rompiente presentó la tendencia a mostrar tamaños de arena más gruesos. En la cara de la playa se encontró la mayor uniformidad con valores alrededor de 1.0 phi, observándose que en general los valores en los tres niveles de la playa siguieron la misma tendencia de aumentar y disminuir a lo largo de la playa, y tornarse los sedimentos más finos en la región más sureña.

Los valores de la clasificación del sedimento mostraron mucha dispersión en los tres niveles de muestreo (Fig. 7b), con un valor mínimo de 0.1 phi (nivel 2), y máximo de 1.7 phi (nivel 3). La mayoría de las muestras estuvieron moderadamente clasificadas, y mostraron mayor variabilidad en el nivel 3, en la zona de rompiente.

La asimetría fue positiva en la mayoría de las muestras de todas las estaciones (Fig. 7c), y por lo tanto tienen una tendencia hacia los tamaños de arena fina. Algunas estaciones predominantemente de la cara de la playa y la zona de rompiente presentaron una asimetría negativa, y por consiguiente una tendencia a tamaños más gruesos. Únicamente en la parte más al sur en los tres niveles de la playa todos los valores fueron negativos.

Los valores de curtosis (Fig. 7d), fueron muy uniformes y predominantemente presentaron una distribución muy platicúrtica (48 muestras), y leptocúrtica (44 muestras).

Al comparar los parámetros texturales para discriminar los sub-ambientes muestreados, la relación entre clasificación y tamaño medio de grano discriminó la mayoría de las muestras del nivel 3 de las de los niveles 1 y 2 (Fig. 8a), es decir, los sedimentos de la zona de rompiente, de los de la cara de la playa y post-playa, donde éstos tienden a formar un solo grupo. En la relación de asimetría contra la clasificación no se discriminan los tres sub-ambientes (Fig. 8b), pero se observa que formaron un grupo separado de aproximadamente 11 muestras con asimetría negativa y más pobremente clasificados.

En cuanto a la relación entre asimetría y curtosis, la mayoría de las estaciones formaron un grupo compacto sin mostrar discriminación de sub-ambientes, sólo se observaron dos estaciones de la post-playa y de la zona de rompiente, y dos de la cara de la playa que se separaron por presentar la tendencia a tamaños de grano más grueso, y otras dos de la zona de rompiente por su tendencia hacia los granos más finos (Fig. 8c).

Febrero 2012

Durante febrero de 2012 se presentaron tamaños de grano (Fig. 9a), correspondientes a arenas muy finas, donde predominaron los valores positivos que oscilaron entre 2.7 y 3.5 phi en los tres niveles de la playa. En general, los tres niveles fueron muy uniformes, todos siguieron la misma tendencia al aumentar o disminuir a lo largo de la playa, sólo el nivel 1 correspondiente a la cara de la playa presentó mayor dispersión en la zona más sureña con valores de 1.8 a 2.2 phi.

Los valores de la clasificación del sedimento (Fig. 9b), en el nivel 2 y 3 presentaron cierta uniformidad con un valor mínimo de 0.17 phi (nivel 2), y máximo de 1.16 phi (nivel 3). La mayoría de las muestras estuvieron de muy bien a bien clasificadas, y mostraron mayor dispersión en las muestras de la post-playa con valores pobremente clasificados.

La asimetría fue negativa y hubo mucha dispersión en la mayoría de las muestras de los tres niveles de la playa (Fig. 9c), y por lo tanto, tuvieron una tendencia hacia los tamaños de grava. Algunas estaciones correspondientes a la post-playa presentaron valores asimétricos positivos, y consecuentemente una tendencia a los tamaños más finos.

Los valores de la curtosis (Fig. 9d), fueron mayormente uniformes en los niveles 2 y 3, y fueron muy variables en el nivel 1. La distribución que predominó fue muy platicúrtica, seguida de la distribución muy leptocúrtica, y en menor cantidad la platicúrtica.

La relación entre clasificación y tamaño medio de grano sólo discriminó tres muestras del nivel 1 de las de los niveles 2 y 3 (Fig. 10a), es decir, los sedimentos de la cara de la playa, de los de la post-playa y la zona de rompiente. La mayoría de las muestras tendieron a formar un solo agrupamiento con valores de 2.7 a 3.5 phi. En la relación de asimetría contra la clasificación no se discriminó ningún sub-ambiente (Fig. 10b), pero se observó que se presentaron tres muestras que se aislaron del conjunto principal.

Respecto a la relación entre curtosis y asimetría, la mayoría de las estaciones formaron un agrupamiento, pero discriminaron a la mayoría de las muestras correspondientes al sub-ambiente de la cara de la playa. Se observaron tres estaciones de la post-playa y tres de la zona de rompiente que se separaron por presentar una tendencia a tamaños de grano más gruesos (Fig. 10c).

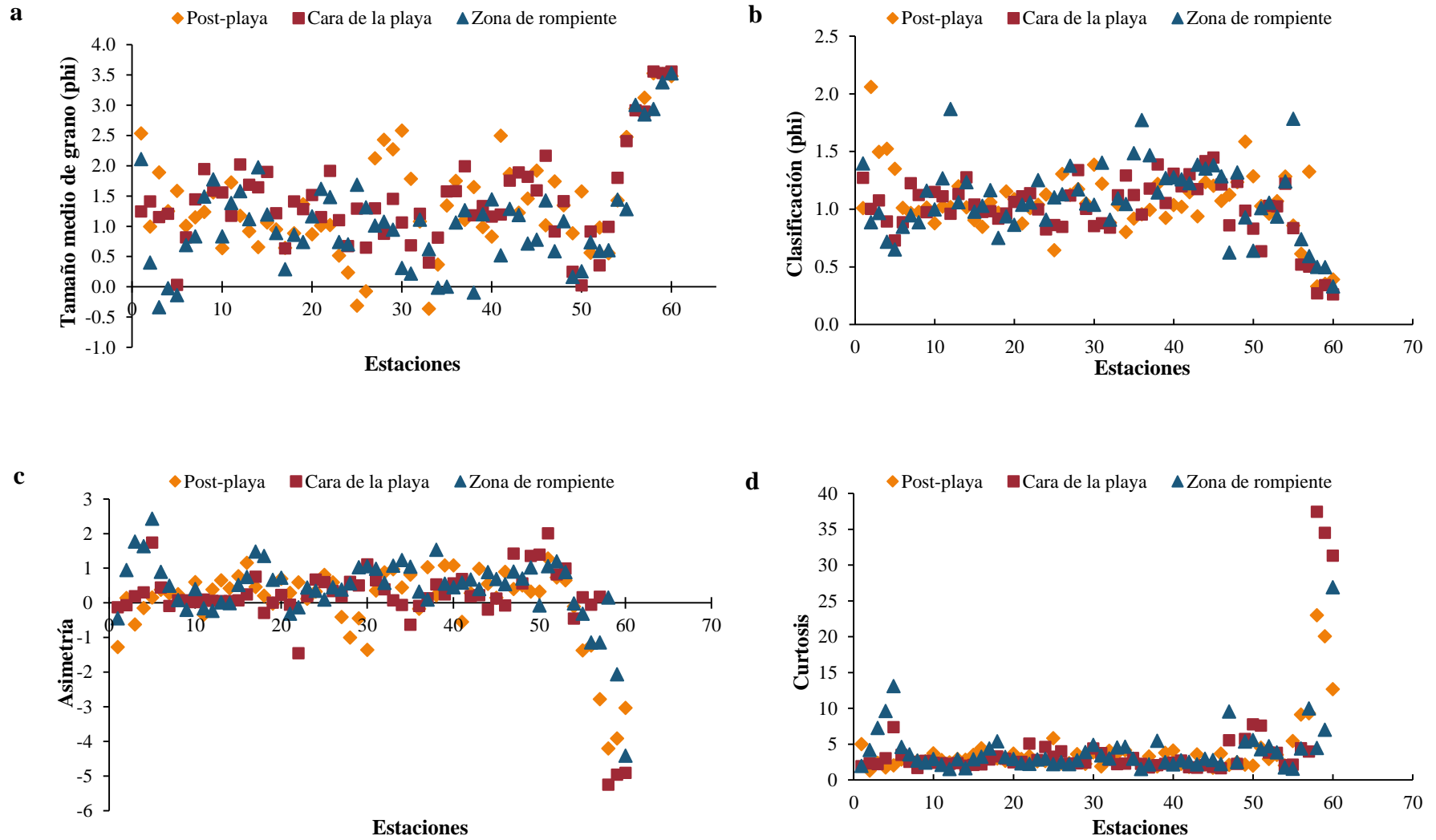


Figura 5. Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Diciembre de 2011: (a) tamaño medio de grano, (b) clasificación, (c) asimetría y (d) curtosis.

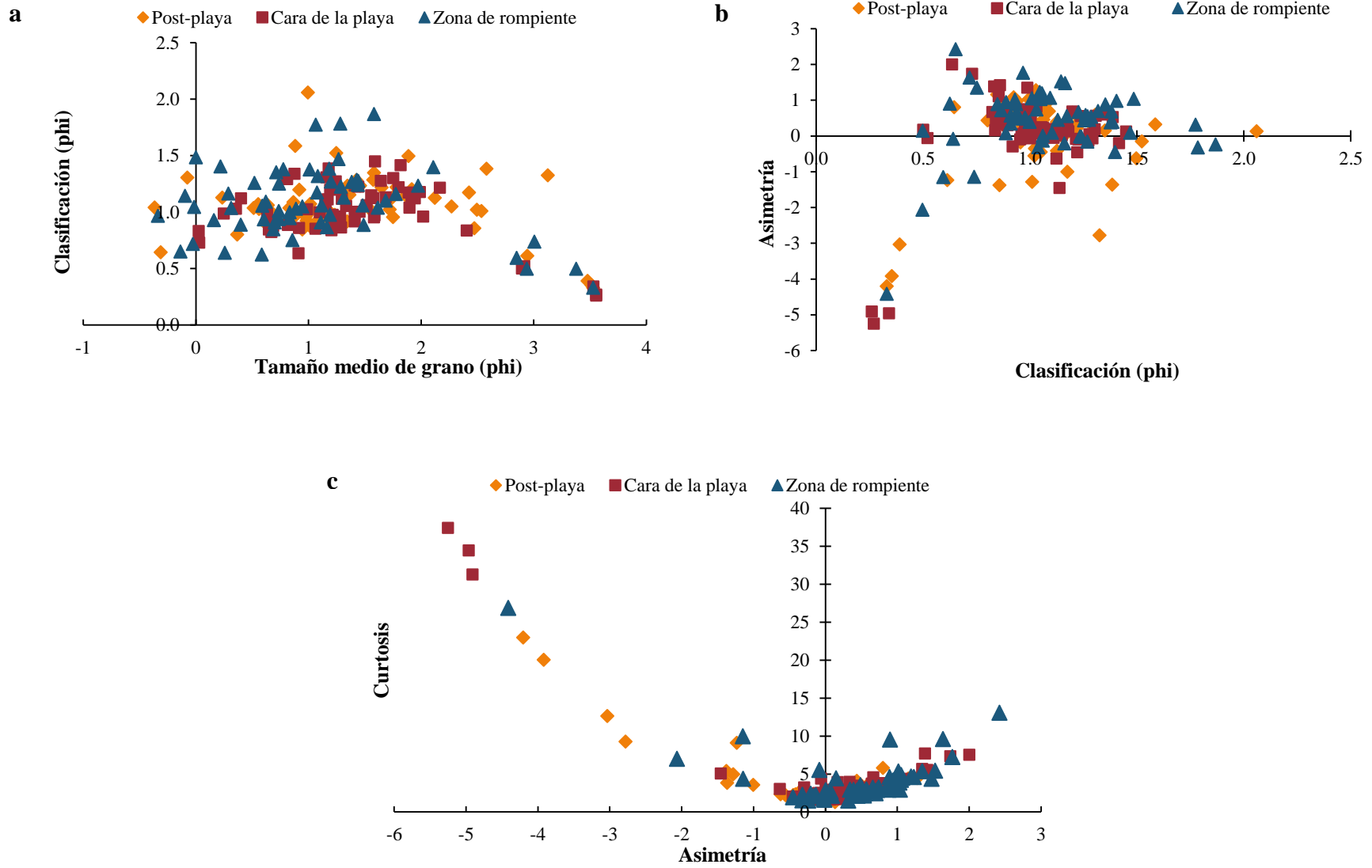


Figura 6. Gráficas bivalentes entre (a) media y clasificación, (b) clasificación y asimetría, y (c) asimetría y curtosis correspondientes a Diciembre de 2011.

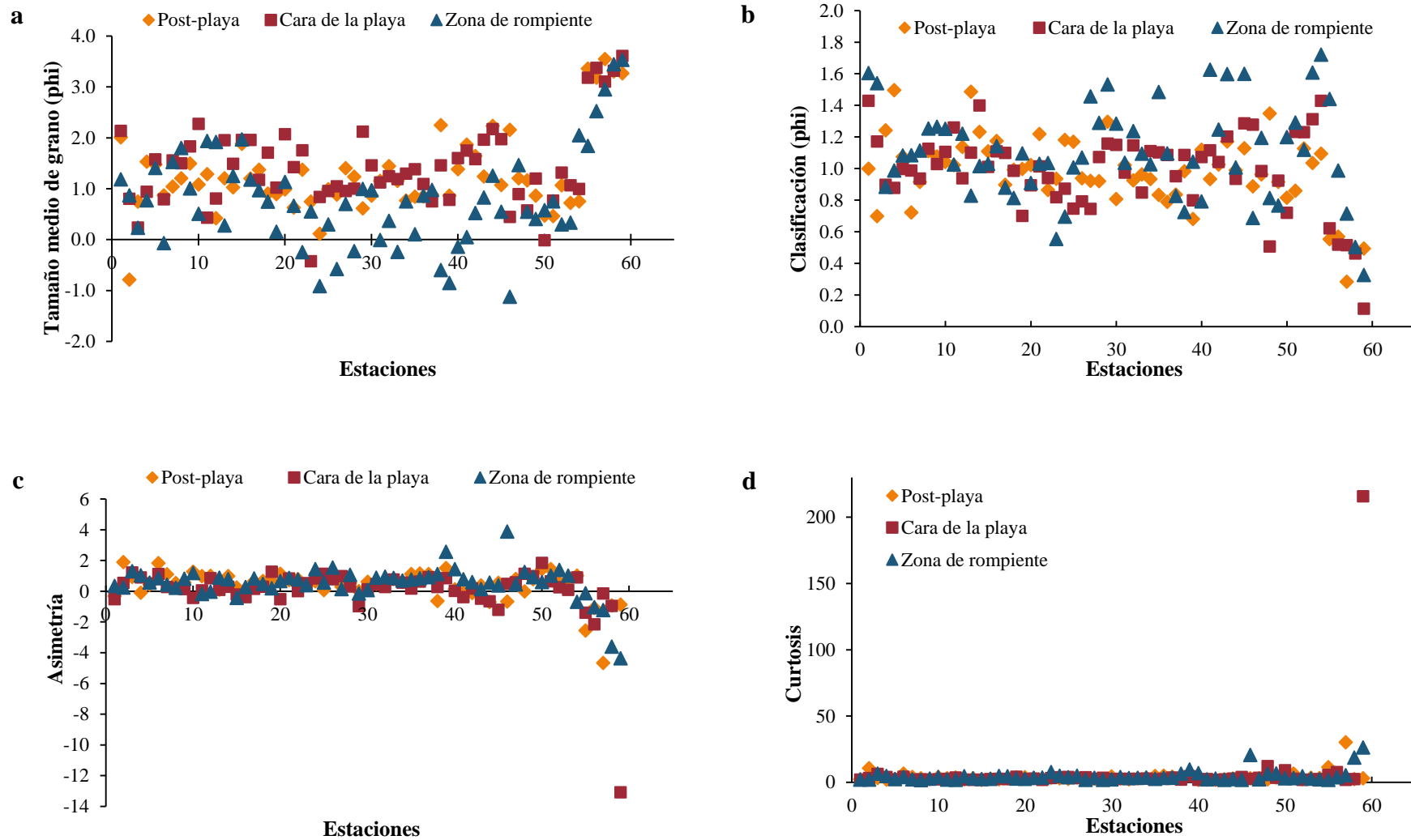


Figura 7. Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Enero-Febrero de 2012: (a) tamaño medio de grano, (b) clasificación, (c) asimetría y (d) curtosis.

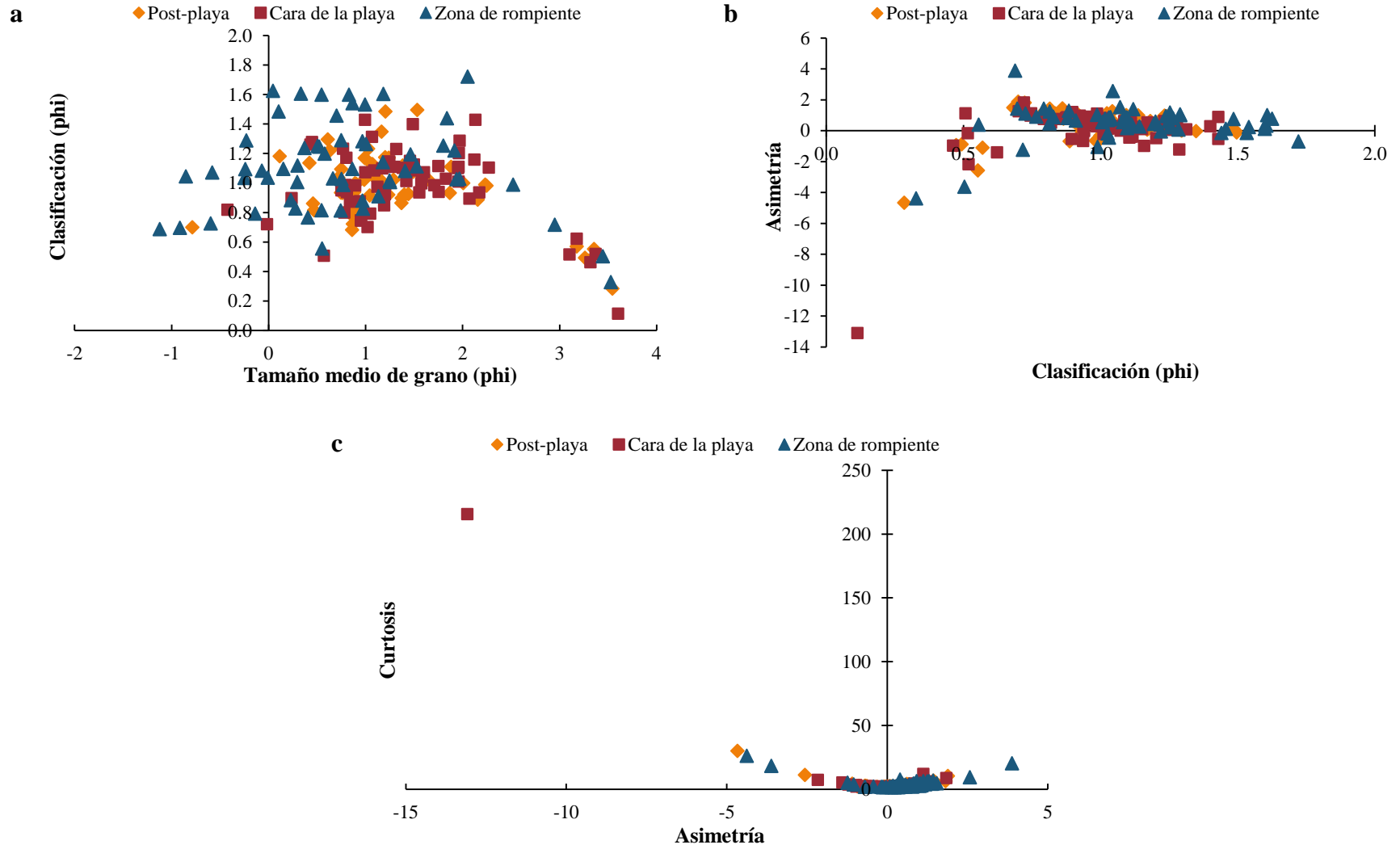


Figura 8. Gráficas bivariantes entre (a) media y clasificación, (b) clasificación y asimetría, y (c) asimetría y curtosis correspondientes a Enero-Febrero de 2012.

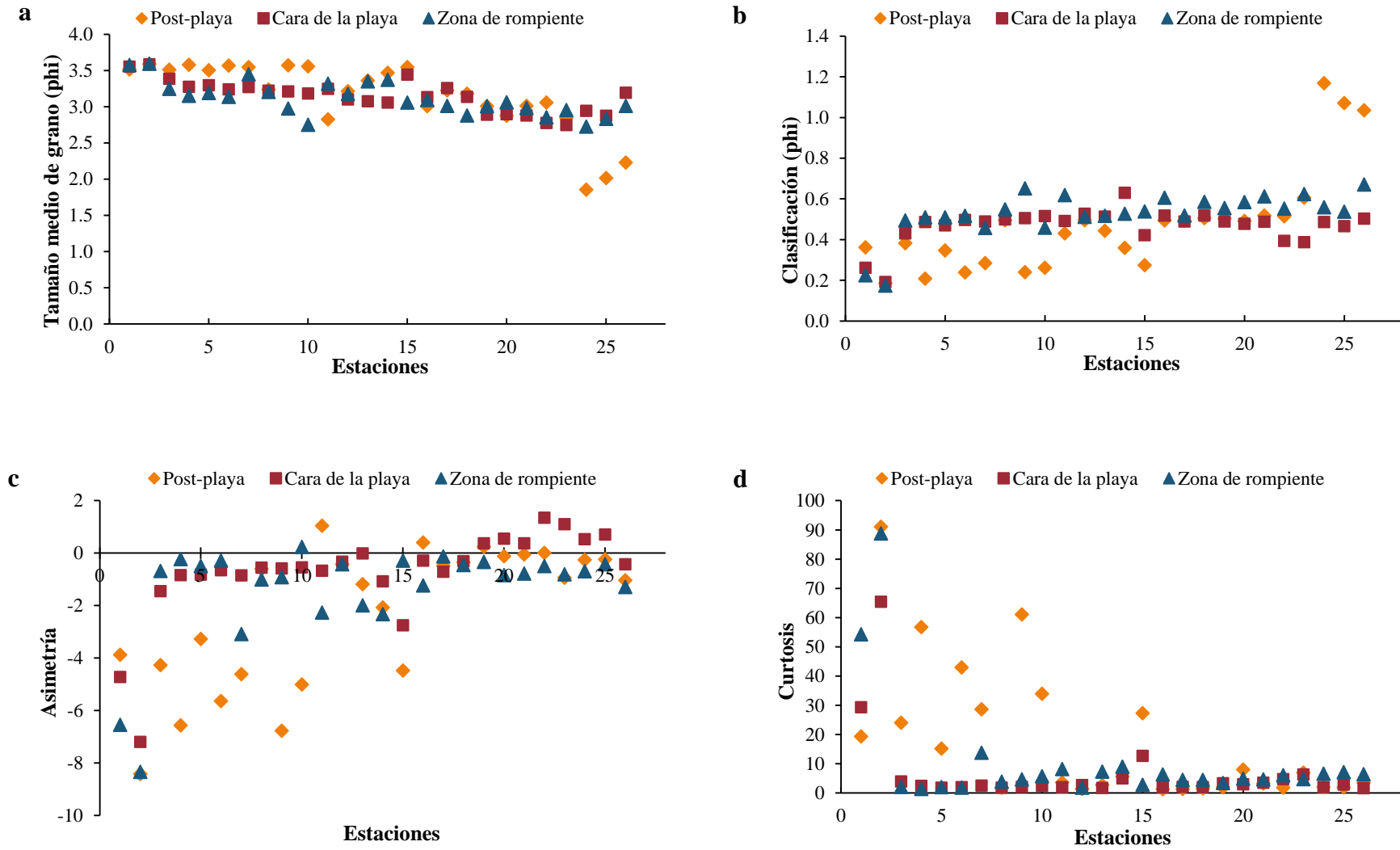


Figura 9. Parámetros texturales de los sedimentos en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas, durante Febrero de 2012: (a) tamaño medio de grano, (b) clasificación, (c) asimetría y (d) curtosis.

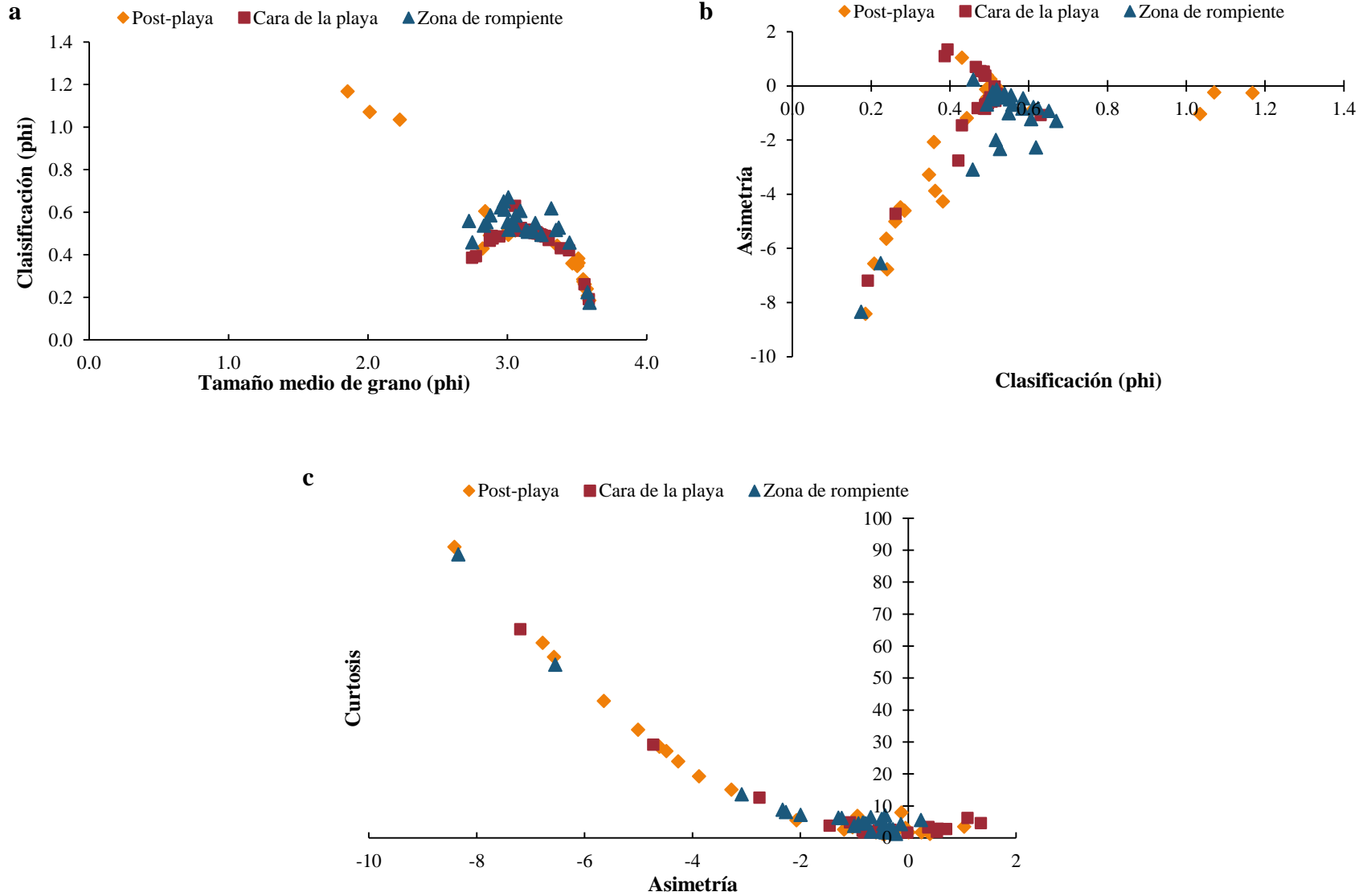


Figura 10. Gráficas bivariantes entre (a) media y clasificación, (b) clasificación y asimetría, y (c) asimetría y curtosis correspondientes a Febrero de 2012.

Ambientes sedimentarios y funciones discriminantes

Los ambientes de depositación identificados mediante las funciones discriminantes de los sedimentos mostraron que los valores de Y_1 en el 84% de las muestras estuvieron relacionadas a un ambiente sedimentario de playa durante diciembre de 2011 y enero-febrero de 2012, mientras que el 16% (72 muestras), correspondió a un ambiente eólico principalmente en febrero de 2012. Los valores de Y_2 indicaron que las muestras correspondieron mayormente a un ambiente marino somero con 425 muestras durante los meses de muestreo, y sólo se presentaron 10 muestras relacionadas al ambiente de playa (Fig. 11). Es notable que ninguna de las muestras correspondiera exclusivamente a un ambiente litoral eólico.

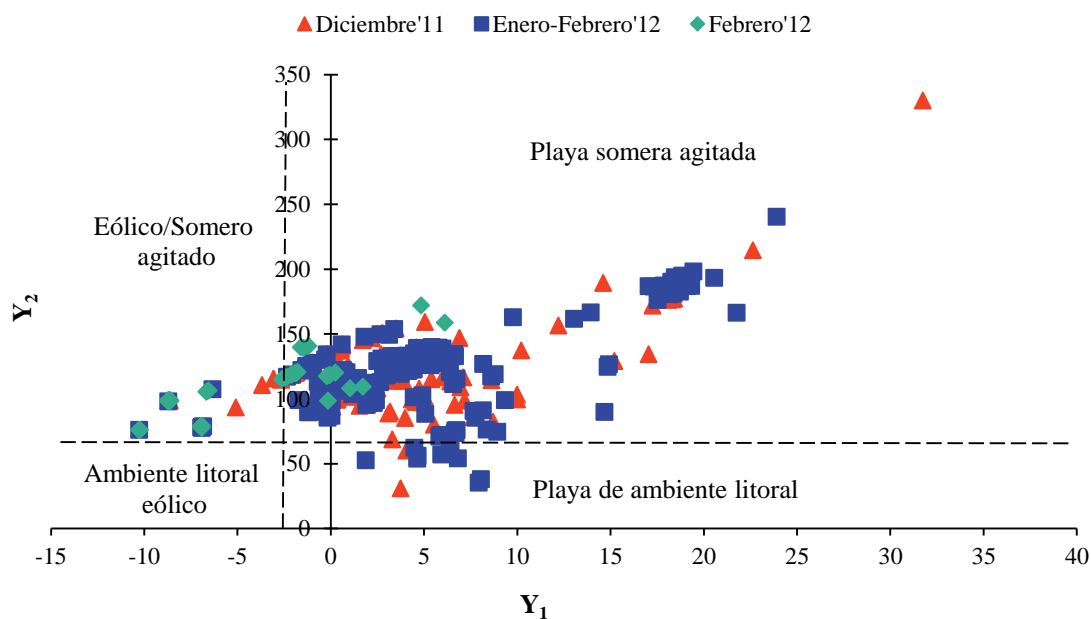


Figura 11. Relación entre funciones discriminantes Y_1 y Y_2 que muestran los ambientes en la Playa Altamira-Playa Miramar, Tamaulipas.

DISCUSIONES

Los parámetros texturales de los sedimentos como la media, clasificación, asimetría y curtosis se han utilizado ampliamente para reconstruir el ambiente de depósito de los sedimentos, la forma en cómo fueron transportados, el medio de transporte y las condiciones ambientales bajo las que se depositó (Rajganapathi *et al.*, 2012; Ames Sigala, 1985). Desde esta perspectiva, los sedimentos de la cara de la playa y la zona de rompiente de la Playa Altamira a Playa Miramar, Tamaulipas, pueden ser interpretados con base a los parámetros texturales y las observaciones de campo realizadas durante los muestreos. Así, en general presentaron una dominancia de los tamaños de arenas medias a muy finas, excepto para las estaciones de la 50 a la 60, donde tendieron a ser gradualmente más finos; con asimetría mayormente positiva y, de moderadamente a bien clasificados, tendiendo a partir de la estación 50 a ser progresivamente muy bien clasificados; con curvas platicúrticas y leptocúrticas. Sólo en la zona de rompiente ocurrieron tamaños de arenas muy gruesas, seguido de arenas medias y muy finas.

La relación entre el tamaño de grano y la clasificación significa que están hidráulicamente controlados, de manera que en los sedimentos de todos los ambientes sedimentarios los que están mejor ordenados tienen un tamaño medio de grano en el rango de arenas finas (Griffiths, 1967 en Rajganapathi *et al.*, 2012). Cupul-Magaña *et al.* (2006), también menciona que al incrementar los valores de la clasificación, el tamaño medio de grano aumenta, de tal manera los sedimentos de grano fino son moderadamente a bien clasificados.

La mayor variabilidad en el tamaño de grano ocurrió durante diciembre 2011 y enero-febrero 2012, donde se encontraron arenas gruesas (0 a -1 phi), y en febrero 2012 se presentó mayor uniformidad con arenas muy finas (3 a 4 phi), bien clasificadas, sin embargo, en este mismo mes se observaron tamaños hacia la fracción fina pero dominados por una asimetría hacia la fracción gruesa (negativa), y distribuciones muy platicúrticas. Lo anterior coincide con lo encontrado por Tucker 1990 (en Cupul-Magaña *et al.*, 2006), donde menciona que los ambientes de playa se caracterizan por arena bien clasificada y asimetría negativa. Relacionado a ello, en un estudio sobre la distribución de sedimentos en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, se encontró que los tamaños de grano de arenas finas a gruesas

sugieren que las condiciones hidrodinámicas deben ser lo suficientemente intensas para limitar el depósito y el contenido de limos y arcillas (De Jesús-Navarrete *et al.*, 2000 en Sánchez *et al.*, 2008).

La variación de los sedimentos en la playa mostró una mayor concentración de la fracción más gruesa principalmente en la zona de rompiente, mientras que la fracción fina dominó en la cara de la playa y la post-playa. Lo anterior concuerda con lo establecido por Komar (1998), quién reportó que los tamaños de grano más gruesos se encuentran en la zona de resaca por encima del nivel medio del mar, con una tendencia a la disminución de los tamaños de grano hasta la cara de la playa en dirección hacia la costa.

Durante febrero de 2012 acontecieron mayores precipitaciones (79.9 mm), en comparación con los otros dos meses de estudio (diciembre con 21.2 mm y enero con 22.9 mm), esto pudo haber influido en la presencia de valores más finos del tamaño de grano en este mes, dado a que hay mayor aporte de sedimentos acarreados por la escorrentía de lluvia y por aportes del Río Pánuco, ya que la lluvia y los escurrimientos superficiales son los agentes responsables del desprendimiento y movimiento de los sedimentos (Pereyra-Díaz *et al.*, 2005).

El oleaje es el proceso dinámico más energético que afecta a una costa (Bernabeu *et al.*, 2002). De acuerdo con las condiciones del oleaje medidas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en la zona de la Playa Altamira el oleaje de invierno durante la fecha de estudio incidió en dirección 45°NE, con una altura de ola significativa de 1.25 m y un periodo promedio de 7.5 s en el año 2011. La relación existente entre la energía del oleaje y el tamaño de grano es que éste es más fino en áreas donde la energía disipada es mayor. En este estudio el sedimento relativamente más grueso ocurrió en la zona de rompiente, lo cual coincide con lo reportado por Guillén-Aranda¹, quién además menciona que la zona litoral habitualmente presenta una disminución del tamaño de grano a partir de la línea de costa hacia la plataforma continental. Esta gradación del tamaño de grano es ocasionada por la disminución de la energía de los flujos de transporte hacia la plataforma, aunque la presencia de corrientes de marea de elevada intensidad puede interrumpir este proceso en ciertas playas. Es de notar que en los tres muestreos existe una tendencia a que en las últimas estaciones (50 a la 60), la tendencia es a que los sedimentos sean progresivamente más finos, lo cual aparentemente se

relaciona con la disminución de la capacidad de transporte de la corriente a lo largo de la costa en dirección al sur.

En la asimetría se observó una tendencia mayormente hacia los finos (positivos), durante diciembre 2011 y enero-febrero 2012, excepto en las últimas estaciones (50 a la 60). Lubinsky y Victoria-Cota (2006), atribuyen este tipo de comportamiento a la presencia de una pendiente baja o pequeña y a que el sedimento es transportado por suspensión (viento o agua), lo cual coincide con la baja pendiente existente en el área de estudio y el transporte por ambos mecanismos. Por otro lado, de las estaciones 50 a la 60 los sedimentos tendieron a una asimetría negativa, es decir, hacia los gruesos. En este aspecto Folk 1966 (en Rajganapathi *et al.*, 2012), menciona que la mayoría de los sedimentos de la playa son ligeramente asimétricos negativos debido a una pequeña proporción de granos gruesos, y Lubinsky y Victoria-Cota (2006), en un estudio de tamaño de grano en una playa de Ensenada, Baja California, sugirieron que las diferencias de asimetría también se deben a la corriente litoral que es influenciada por el cambio estacional de la dirección e intensidad del viento. Esta situación podría explicar los cambios en asimetría en la Playa Altamira, sin embargo, no se dispuso de datos que permitieran corroborarlo.

En cuanto a la curtosis, si la parte central está mejor clasificada que los extremos se dice que la curva es excesivamente puntiaguda o leptocúrtica; por otro lado, si los extremos están mejor clasificados que la parte central, la curva es plana y platicúrtica (Folk, 1974). Durante diciembre de 2011 la curtosis de los sedimentos fue mayormente platicúrtica (52 muestras), y leptocúrtica (51 muestras), en enero-febrero de 2012 se mostraron muy platicúrticas (48 muestras), y leptocúrticas (44 muestras), y en febrero de 2012 también fueron muy platicúrticas (47 muestras). Friedman 1962 (en Rajganapathi *et al.*, 2012), encontró que la mayoría de las arenas son leptocúrticas, ya sea positiva o negativamente. Esto podría explicarse porque la mayoría de las arenas consisten en dos poblaciones: una población predominante y, una subordinada, gruesa (que conduce a la asimetría negativa), a fina (que conduce a la asimetría positiva).

En los meses de muestreo se observaron valores de curtosis muy grandes, especialmente en la estación 59 de enero-febrero de 2012, donde se mostró que quedó al extremo y las demás muestras tuvieron una tendencia muy uniforme. Friedman (1962 en

Rajganapathi *et al.*, 2012), sugiere que los valores extremos (altos o bajos), de curtosis implican la parte de los sedimentos que logró su clasificación en otra parte en el entorno de alta energía. La variación en los valores de curtosis es un reflejo de las características del medio de depósito y, el predominio de los tamaños más finos de naturaleza platicúrtica en los sedimentos refleja la madurez de la arena. Esto puede ser debido a la agregación de tamaño de partículas de sedimentos por compactación; y la variación en los valores de la clasificación es debida probablemente a la adición continua de los materiales más finos o gruesos en proporciones variables.

La comparación de los parámetros texturales mediante gráficas binarias no dio buenos resultados para la discriminación de los ambientes sedimentarios. Lo anterior no es raro, debido a que los ambientes marinos costeros son muy similares en las características de los sedimentos y suelen traslaparse como resultado de variaciones pequeñas en los parámetros texturales (Abuodha, 2003).

Los ambientes de depósito tienen un rango de condiciones de energía en función de la localidad y el tiempo (Sahu, 1964 en Cupul-Magaña *et al.*, 2006). De acuerdo con los valores obtenidos de la función discriminante propuesta por Sahu (1964), la mayoría de las muestras de la zona correspondieron a un ambiente sedimentario marino somero y de playa durante diciembre 2011 y enero 2012, mientras que en febrero 2012 el depósito también se relacionó a un ambiente eólico. Estas condiciones ambientales también pueden ser un reflejo de los procesos inducidos por la actividad antropogénica, como las estructuras que se colocan para la protección de la playa y en el puerto, debido a que modifican el transporte, el oleaje, las corrientes y la distribución del sedimento presentado en la zona (Trejo-Igueravide, 2003).

Lo anterior es particularmente notable por no haberse discriminado el ambiente eólico que cabría esperar por las dunas costeras, ya que sólo se separó como eólico-somero agitado, es decir, la influencia del ambiente marino somero de alta energía. Es notable que según datos de CIDIPORT (2004; Dr. Sergio Jiménez comunicación personal), desde 1985 hasta 2004 se han perdido 180 m de línea costera, lo que conlleva que también hayan desaparecido gran parte de las dunas (Fig. 12), y que por lo tanto este ambiente actualmente sea altamente influenciado por los procesos en la playa adyacente. Estos cambios dramáticos comenzaron a ocurrir después de la construcción de las obras del Puerto Altamira.

En general, los datos permiten apreciar que la Playa Altamira es altamente dinámica, y que se requiere de más estudios sedimentológicos, al menos estacionalmente y por un intervalo de tiempo más prolongado, para poder comprender con más detalle la dinámica de los procesos costeros, y las consecuencias de la modificación de los mismos con la construcción de obras de protección, como es el caso del Puerto Altamira.



Figura 12. Porción de la Playa Altamira, dónde puede observarse la desaparición del cordón de dunas costero y, cómo la erosión aún continúa por la presencia del escarpe en la berma.

CONCLUSIONES

Los parámetros estadísticos proveen información confiable para comprender los ambientes depositacionales de los sedimentos. En la Playa Altamira el tamaño medio de grano indicó el predominio de arena fina a muy fina en la post-playa a la cara de la playa. Los tamaños de arenas muy finas se presentaron en el mes de febrero 2012 en los tres niveles de la playa. Los sedimentos de grano grueso fueron dominantes en las muestras de la zona de rompiente debido a las condiciones de más alta energía debido al oleaje.

La clasificación de los sedimentos fue de buena a muy buena, lo que es congruente con el predominio de ambientes de energía de moderada a alta, y también indicado por la asimetría y la curtosis.

Los parámetros también sugieren que el ambiente de depósito sedimentario en el área de estudio está controlado principalmente por el ambiente de playa y marino somero.

Los parámetros texturales mostraron una variabilidad temporal y espacial posiblemente relacionada con cambios en las condiciones de oleaje y la dirección e intensidad del transporte litoral. Este último está mejor manifestado en la parte sur del área de estudio, donde la tendencia es a disminuir el tamaño de grano.

La intensa erosión documentada históricamente se refleja en la desaparición de gran parte de las dunas costeras, reflejado en la pobre discriminación de este ambiente en la zona de la post-playa, ya que predomina la depositación por procesos marinos, como también lo sugiere la función discriminante de Sahu (1964).

Se sugiere realizar estudios sedimentológicos estacionales sobre la caracterización textural de los sedimentos para observar las variaciones espacio-temporales, así como para identificar los factores naturales y antropogénicos que hacen que esta zona presente problemas de erosión y así dar pie a futuras investigaciones relacionadas. Estos estudios representan un factor importante que se debe tomar en cuenta al momento de realizar proyectos en el manejo de la zona costera en esta región.

REFERENCIAS

- Abuodha, J.O.Z. (2003). Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi Bay coast, Kenya. *Journal of African Earth Sciences*. 36: 41–54.
- Administración Portuaria Integral de Altamira, S.A. de C.V. (API Altamira). (2014). Puerto de Altamira: Yearbook 2014. Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. México. 92.
- Ames Sigala, L.F. (1985). Distribución de los ambientes sedimentarios en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas. UABC. 31.
- Bernabeu, A.M., Medina, R. y Vidal, C. (2002). Efecto de la reflexión sobre la forma de equilibrio del perfil de playa: validación para la costa de la Península Ibérica. *Revista C. & G.* 16(1-4): 83–95.
- Cupul-Magaña, L.A., Mösso-Aranda, C., Sierra, J.P., Martí, E., Ferman-Almada, J.L., Rodilla, M., González del Río, J. y Sánchez-Arcilla, A. (2006). Caracterización y patrones de distribución de los sedimentos superficiales en Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*. 32(4): 617–629.
- Delgado-Blas, V.H. (2001). Distribución espacial y temporal de poliquetos (Polychaeta) bénticos de la plataforma continental de Tamaulipas, Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. 49(1): 141–147.
- Friedman, G.M. (1962). On sorting, sorting coefficients and lognormality of the grain size distribution of sandstone. *Journal of Geology*. 70: 737–756.
- Friedman, G.M. (1979). Differences in size distribution of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*. 26: 3– 32.
- Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957). Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27: 3–26.
- Folk, R.L. (1974). Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company. Texas, USA. 190.

- Garza-Flores, R., Sánchez-González, D. y Treviño-Hernández, R. (2006). La ingeniería en Tamaulipas: retos y perspectivas en las ciudades de calidad. 1ª edición. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Tampico-Madero. 260.
- ¹Guillén-Aranda, J.B. Geología de la zona litoral: <http://ww2.icm.csic.es/gma/es/content/geologia-del-litoral>. Marine Geosciences. Instituto de Ciencias del Mar. Barcelona. Consultado: 24 de noviembre de 2015.
- Komar, P.D. (1998). Beach processes and sedimentation. Prentice Hall. 544.
- Lubinsky Jinich, D. y Victoria-Cota, N.L. (2006). Un análisis preliminar sobre la etno-oceanografía de la Bahía de Todos y la percepción de los usuarios de dos playas de Ensenada, Baja California, México. Tesis de licenciatura. 74.
- Pereyra-Díaz, D., Gómez-Romero, L. y Loeza-Hernández, F. (2005). La medición de sedimentos en México: Pérdida de suelo por erosión hídrica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Ediciones IMTA. México. 61-82.
- Sahu, B.K. (1964). Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. 40: 73–83.
- Sánchez, A., Álvarez-Legorreta, T., Sáenz-Morales, R., Ortiz-Hernández, M.C., López-Ortiz, B.E. y Aguñiga, S. (2008). Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25(3): 523–532.
- Rajganapathi, V.C., Jitheshkumar, N., Sundararajan, M., Bhat, K.H. y Velusamy, S. (2012). Grain size analysis and characterization of sedimentary environment along Thiruchendur coast, Tamilnadu, India. *Arabian Journal of Geosciences*. Saudi Society for Geosciences. 6(12): 4717–4728.
- Trejo-Igueravide, R. (2003). Modos normales de oscilación y modelación de dispersión de descargas de contaminantes en el Complejo Industrial Portuario de Altamira, Tamaulipas, México. Tesis oceanólogo. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 61.