



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**ESTUDIO DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA PLATAFORMA
CONTINENTAL SOMERA, FRENTE AL RÍO JAMAPA, VERACRUZ,
MÉXICO.**

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERA GEÓLOGA

Presenta

ANA PILAR MARÍN GUZMÁN

Director de tesis: Dr. Arturo Carranza Edwards

2009

A mis padres,

Porque son el motor impulsor de mi vida. Ustedes me lo han dado todo; amor, inspiración, una vida feliz. Porque han sido mi guía, han sabido escucharme, entenderme, apapacharme y a veces regañarme y porque también han sabido callar. Porque han sabido aconsejarme cuando en las cosas difíciles de esta vida no sé que hacer, ustedes siempre tienen un consejo para mí. Porque siempre cuento con ustedes, con su apoyo, con su compañía, con su amor. Los amo demasiado. Somos la familia minitelerín con todo y Mizuky porque nunca se le olvidará.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la UNAM, mi alma *Mater*, por todo lo que ella me ha dado desde aquellos inolvidables días preparatorianos.

Agradezco en especial a la Facultad de Ingeniería, donde me formé profesionalmente y en donde obtuve lo que de ahora en adelante forma parte esencial en mi vida, mi carrera.

También agradezco al ICMYL porque es ahí donde estoy obteniendo nuevos conocimientos y en donde realicé este trabajo de tesis.

Gracias al Proyecto PAPIIT No. INI08808, sin el cual, este trabajo no habría sido posible.

En especial le agradezco al Dr. Arturo Carranza Edwards por todo el apoyo que me ha brindado desde que lo conocí, por sus enseñanzas, por su confianza. Porque encontré en una sola persona a un excelente maestro, tutor, amigo, pero sobre todo un excelente ser humano.

A todos mis sinodales, a la M. C. Mayumi A. Cabrera, al Ing. Leovigildo Cepeda, al Ing. Héctor Macías y al Dr. Gustavo Tolson les agradezco todo el apoyo y comprensión que me dieron, así como los conocimientos que me transmitieron cuando tuve el gusto de tomar clases con la mayoría de ustedes.

Y qué sería de mí sin amigos, los entrañables, los de toda la vida. Gracias, porque han sido parte fundamental en mi vida, por no dejarme caer, por permitirme compartir con ustedes, por quererme mucho: Susy, Alina, Claus, Mayra, Bruno, Álvaro, los quiero y los admiro.

Gracias también a los nuevos amigos, porque también son parte importante en mi vida.

Álvaro, hermanito, gracias a ti, por ser el hermano que no tengo, por tantas cosas que hemos compartido, por tantos consejos, por tantas lágrimas, por tantas risas, por tantos recuerdos, gracias por estar siempre conmigo.

Gracias a ti Julio, porque cambiaste mi vida, porque me hiciste ver la Geología de una manera impresionante, porque has estado conmigo todo este tiempo y porque me has ayudado siempre. Porque me alientas y me impulsas a ser mejor persona y

a hacer cada vez más cosas. Gracias por equiparme y por hacerme sentir como toda una geóloga. Pero sobre todo, gracias por tantas cosas que hemos compartido, por los recuerdos y por todo lo que nos falte por compartir. Por recordarme que soy una persona valiosa. Te quiero demasiado.

Gracias a Germán por enseñarme a trabajar algunos de los mapas que hice para este trabajo.

Gracias a Alonso por el apoyo que me brindó para que este trabajo saliera a tiempo.

Gracias a M. C. Eduardo Morales de la Garza por el análisis granulométrico de las muestras.

A todos en el laboratorio de Sedimentología del ICMYL, muchas gracias por hacerme ameno este trabajo, por su compañía, por hacerme reír, por los cruceros que hemos compartido y por los que están por venir.

Estoy muy agradecida con la vida, con Dios, porque me ha todo, por tantas oportunidades que me ha dado a pesar de tantas veces que he metido la pata.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
I. Introducción	2
Hipótesis	5
Objetivos	5
Objetivo general	
Objetivos particulares	
II. Área de estudio	7
Clima	9
Hidrología de la cuenca	11
Geología	15
III. Metodología	19
IV. Geomorfología	27
V. Granulometría	30
VI. Petrología	46
VII. Conclusiones	60
Bibliografía	63
Anexos	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Área de estudio.	8
Figura 2. Regiones climáticas.	9
Figura 3. Temperatura media anual.	9
Figura 4. Precipitación media anual y su probabilidad.	10
Figura 5. Escurrimiento medio anual.	10
Figura 6. Mapa de la cuenca hidrológica del Río Jamapa.	14
Figura 7. Mapa geológico de la cuenca del Río Jamapa.	18
Figura 8. Análisis de color del sedimento en húmedo de acuerdo con Münsell.	20
Figura 9. Análisis de color del sedimento en seco de acuerdo con Münsell.	22
Figura 10. Sistema arrecifal veracruzano, antiguo delta.	28
Figura 11. Mapa batimétrico del área de estudio.	31
Figura 12. Distribución del porcentaje de gravas y arenas.	34
Figura 13. Distribución del porcentaje de limos.	36
Figura 14. Distribución del porcentaje de arcillas.	37
Figura 15. Distribución del tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$).	38
Figura 16. Distribución de la desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_1\phi$).	39
Figura 17. Distribución del grado de asimetría.	40
Figura 18. Distribución de la curtosis.	41
Figura 19. Curvas de porcentaje acumulativo para observar procesos de transporte del sedimento.	43
Figura 20. Correlación de cuarzo vs. K_G .	48
Figura 21. Correlación de pedernal vs. feldespatos.	49
Figura 22. Distribución de los diferentes componentes petrológicos analizados.	50
Figura 23. Correlación de FRV vs. cuarzo.	51
Figura 24. Correlación de FRV vs. biógenos	51
Figura 25. Correlación de pedernal vs. FRV	52

Figura 26. Correlación de FRS vs. FRV.	52
Figura 27. Correlación de FRS vs. MP.	53
Figura 28. Correlación de FRS vs. SkI	53
Figura 29. Correlación de FRS vs. $Mz\phi$	54
Figura 30. Correlación de FRV vs. $Mz\phi$	54
Figura 31. Correlación de biógenos vs. $Mz\phi$	55
Figura 32. Correlación de minerales pesados vs. biógenos.	55
Figura 33. Diagrama ternario de Folk en el que se representan las muestras de la fracción arenosa.	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Escala de tamaño de Wentworth.	23
Tabla 2. Fórmulas empleadas por Folk (1974).	23
Tabla 3. Parámetros texturales de los sedimentos recolectados frente a la desembocadura del Río Jamapa.	32
Tabla 4. Composición mineralógica de la fracción arenosa.	47
Tabla 5. Matriz de correlación mineralógica y de parámetros texturales analizados en la fracción arenosa de las muestras.	56
Tabla 6. Porcentajes de cuarzo-feldespatos-fragmentos de roca presentes en la fracción arenosa.	57
Tabla 7. Índice de procedencia de la fracción arenosa.	59

RESUMEN

Se analizan datos e información sobre las características geomorfológicas, texturales y petrológicas de sedimentos recolectados durante la época de "nortes" en la plataforma continental somera del Golfo de México, frente a la desembocadura del Río Jamapa, Veracruz. El muestreo se hizo a bordo del B/O Justo Sierra dentro del Proyecto PAPIIT No. INI08808, titulado "Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales", a cargo del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Se sugiere la razón por la que un delta definido previamente ya no se encuentra. Texturalmente se observó que frente a la desembocadura del Río Jamapa no hay desarrollo arrecifal debido a que el sedimento lodoso produce aguas turbias. Desde el punto de vista petrológico se puede decir que la fracción arenosa analizada está constituida principalmente por fragmentos de rocas volcánicas en los detritos más gruesos, mientras que los fragmentos de rocas sedimentarias parecen asociarse principalmente con sedimentos más finos. A pesar de la cercanía de la Sierra Madre Oriental, no se observan importantes concentraciones de fragmentos de rocas calcáreas; no obstante, la abundancia de pedernal indica que éste procede de las mismas rocas fuente, pero su presencia se debe a su resistencia al intemperismo físico y químico. El índice de procedencia refleja la influencia de rocas supracorticales, siendo más abundantes los fragmentos de roca volcánicas que los fragmentos de rocas sedimentarias.

I. INTRODUCCIÓN

La Sedimentología es la rama de la Geología que se encarga del estudio del aporte, transporte y depósito de sedimentos. Los estudios sedimentológicos son necesarios para interpretar las condiciones físicas, tales como el relieve, marco geológico y clima que son responsables de las características texturales y composicionales de los sedimentos (Pettijohn, 1975).

Existen diferentes procesos, ya sean físicos, químicos o biológicos, que ocasionan alteración en las rocas, dando como resultado partículas de sedimento que pueden ser granos de minerales o bien fragmentos de rocas. Estas partículas son transportadas y eventualmente comienzan a acumularse.

El estudio del tamaño de las partículas que constituyen a los sedimentos es de gran utilidad no solamente en trabajos sedimentológicos, sino también en investigaciones interdisciplinarias. Las diferencias en tamaños de partículas se relacionan con el tipo litológico de las rocas del área fuente y con la distancia entre ésta y el área de depósito. También los diferentes tipos de energía que existen en el área de depósito van a influir en las características granulométricas del sedimento (Carranza-Edwards, 1997).

La composición de los sedimentos marinos resulta de la influencia de diversos factores que pueden interactuar: 1) el tamaño de la partícula de sedimento que determina el transporte y la diseminación a través de un área, 2) la mineralogía del sedimento, 3) la geoquímica del sedimento, 4) la contribución de los desechos humanos orgánicos e inorgánicos, 5) la productividad biológica, 6) y la circulación de corrientes en aguas superficiales y profundas. El estudio de las características del sedimento permite evaluar los procesos que producen diferentes tipos de sedimento (Rosales-Hoz *et al.*, 2005).

De acuerdo con Carranza-Edwards (1997), “en las zonas de alta energía como lo es la región cercana a la línea de costa, es común suponer que no hay un alto grado de contaminación debido a que en estas zonas es común el depósito de detritos gruesos (gravas y arenas), los cuales no son buenos receptores de contaminantes, mientras que lejos de la costa (en ambientes de plataforma, talud y planicies

abisales) se tiene el depósito de partículas lodosas (limos y arcillas) que mientras más finas son, resultan mejores receptores de contaminantes”.

El aumento de la población humana en los últimos años se ha dado a una tasa de crecimiento exponencial (Mora, 2004). Alrededor del 50% de la población mundial es urbana. Esta situación da origen a un problema ambiental que resulta de la aglomeración y el hacinamiento en barrios insalubres desprovistos de condiciones sanitarias adecuadas, agua potable, alcantarillado, *etc.* (Enkerlin *et al.*, 1997).

En especial, el Estado de Veracruz presenta el crecimiento más rápido de los estados localizados en el Golfo de México (Sánchez *et al.*, 2004), siendo el Golfo de México el área marina internacional vigilada más grande en el Océano Atlántico ya que la Zona Económica Exclusiva de tres países converge en él; además constituye un gran ecosistema marino y las aguas residuales de los países se descargan en él (Yáñez-Arancibia y Day, 2004).

De acuerdo con Morales y Carranza-Edwards (2000), los desechos sólidos y líquidos producidos por la actividad humana, son generalmente enviados a la red de drenaje fluvial, haciendo que los ríos de la zona costera sean vulnerables en lo que se refiere a la calidad del agua. Debido a que los sedimentos representan el destino final de los metales traza disueltos y suspendidos en el océano, su estudio permite identificar áreas importantes de depósito de metales en el mismo.

Los sedimentos de plataforma, como los estudiados en el presente escrito, reflejan la fuente continental, porque frecuentemente están asociados con materiales intemperizados y transportados por sistemas fluviales y corrientes litorales y posteriormente distribuidos a todo lo ancho de ella (Cabrera-Ramírez, 2003).

A través del estudio de los sedimentos se espera contribuir a la caracterización ambiental de una región dada, a través de la inferencia de procesos que intervienen en su formación y distribución.

Antecedentes

Existen diversos trabajos realizados a lo largo del Golfo de México, los cuales, en su mayoría, están enfocados al estudio de sedimentos de playa y de organismos que

habitan en el mar. No obstante, se mencionan algunos artículos relacionados con el área de estudio o la metodología empleada que sirven como base para este trabajo. En 1971, Davies *et al.* estudiaron la mineralogía y petrografía de arenas y limos de la plataforma continental del Golfo de México. Carranza-Edwards *et al.*, (1975) realizaron una clasificación morfo-tectónica de las costas mexicanas, estableciendo nueve unidades continentales.

Años más tarde Rosales-Hoz *et al.* (1985), mediante un estudio químico y sedimentológico, estudiaron los sedimentos aportados por el Río Papaloapan, mientras que en 1986 Álvarez *et al.* efectuaron un estudio de metales pesados en los sedimentos del Río Blanco en Veracruz.

Importante también es el trabajo de Galavís-Solis *et al.* (1986) que se enfocó a la morfología, sedimentación e hidrodinámica de las lagunas Mecoacán y Dos Bocas en el litoral del Golfo de México.

En ese mismo año, Méndez *et al.* (1986) analizaron algunos parámetros texturales del sedimento y su relación con la macrofauna bentónica litoral en playas de Veracruz.

Pero no solo resulta relevante el estudio del Golfo de México en su porción perteneciente a Veracruz, ya que a partir de estudios realizados en otras zonas se pueden llevar a cabo comparaciones con la información generada en este trabajo, por lo cual resulta conveniente mencionar el trabajo de Ayala *et al.* (1990) quienes estudiaron la plataforma continental del Golfo de México frente a Tabasco y Campeche.

Villanueva *et al.* (1992), estudiaron los metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe mexicano.

En 1995 Carranza-Edwards *et al.* llevaron a cabo un trabajo sedimentológico sobre la procedencia de las arenas de playas en el suroeste del Golfo de México mientras que en 1999, Kasper *et al.*, trabajando también con arenas de playas, elaboraron un trabajo petrológico y geoquímico de arenas del Holoceno en el occidente del Golfo de México.

Kasper y Dickinson (2001) explican la composición de arenas en playas recientes, dunas y ambientes fluviales en las costas del Golfo de México, mediante el establecimiento de un análisis modal de ambientes de depósito.

Por su parte, Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards (2002) realizaron un trabajo sobre los ambientes de playa en México como una fuente potencial de minerales de placer, en el cual se describen las zonas donde los minerales pueden encontrarse.

En el 2004, Aguayo llevó a cabo un trabajo sobre neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México.

Carranza-Edwards *et al.* (2005) estudiaron la distribución geoquímica de los sedimentos en una zona tectónicamente activa al suroeste de México. En ese mismo año, Rosales-Hoz *et al.* establecieron las relaciones espaciales en la composición geoquímica de los sedimentos en el área de descarga del Río Pánuco.

En el 2007, Tapia *et al.*, realizaron la caracterización ambiental de la plataforma continental en el Golfo de Tehuantepec.

Por su parte, Rosales-Hoz *et al.* (2007) estudiaron las implicaciones ambientales de metales pesados en los sedimentos superficiales cercanos a la Isla de Sacrificios, Veracruz, encontrando algunos valores anormalmente altos.

Es escasa la información sobre los sedimentos depositados en la plataforma continental somera, de ahí la necesidad de realizar trabajos que generen información sobre esta zona poco estudiada.

Hipótesis

Los sedimentos que se encuentran en el ambiente marino reflejan su fuente de procedencia y los procesos que intervienen en su distribución y en su composición granulométrica y mineralógica.

Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es estudiar sedimentos recientes de la plataforma continental somera adyacente al Río Jamapa con la finalidad de conocer sus variaciones texturales y mineralógicas y así contribuir al conocimiento

sedimentológico de esta región, ya que frente a ella se encuentra interrumpido el desarrollo arrecifal del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Objetivos Particulares

1. Elaborar el mapa batimétrico de la plataforma continental somera frente a la desembocadura del Río Jamapa.
2. Analizar la composición textural de los sedimentos frente a la desembocadura del Río Jamapa para determinar su distribución y parámetros texturales.
3. Determinar la composición petrológica de la fracción arenosa de los sedimentos de las muestras superficiales colectadas en la plataforma continental somera para inferir su procedencia.

II. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la plataforma continental somera del Golfo de México, frente a la desembocadura del Río Jamapa, al sureste del Estado de Veracruz, entre los 19°11' y 19°05' N y los 96°00' y 96°05' W (Fig. 1).

De acuerdo con el INEGI (2008), la zona de estudio se encuentra en las regiones fisiográficas denominadas Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo Sur. En esta última hay numerosos sistemas fluviales que descargan sus aguas, las cuales poseen un alto contenido de sedimentos procedentes del continente. Por ello, tanto la plataforma continental como el fondo oceánico están constituidos por lodos y arenas de composición variable (Aguayo *et al.*, 1996).

La Planicie Costera del Golfo de México es muy variada en lo que se refiere a su morfología y a los procesos actuales que ahí tienen lugar (Lugo-Hubp, 1990). De acuerdo con Cabrera-Ramírez (2003) se trata de una gran cuenca marginal que corresponde al orógeno de la Sierra Madre Oriental, con espesores potentes de rocas sedimentarias terciarias y con extensión e inclinación suave hacia el interior del Golfo de México. Principalmente la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), así como algunos otros conjuntos montañosos, interrumpen dicha cuenca.

Los sedimentos terrígenos depositados en la plataforma continental dentro del área de estudio, proceden en su mayoría del Río Jamapa y de la Laguna Mandinga, ya que este río descarga sus sedimentos frente a la propia desembocadura.

Pero no solo el río Jamapa provee de sedimentos a la plataforma, sino que éstos pueden tener otras fuentes, tales como el transporte litoral y las corrientes producidas por los vientos del norte predominantes en invierno, que es la época en la que se llevó a cabo el muestreo.

El Río Jamapa nace en las vertientes del Pico de Orizaba y se une a los ríos Cotaxtla, Huatusco y Totolapan, surtiendo a la Laguna de Mandinga, para finalmente desembocar en el Golfo de México en la población de Boca del Río, Veracruz, al sureste del puerto de Veracruz después de haber recorrido el territorio veracruzano a lo largo de 150 km (SEDESOL, 2006).

Se recolectaron 22 muestras de sedimento superficial dentro del área de estudio (Fig. 1), en la época de vientos procedentes del norte (del 28 de noviembre al 4 de diciembre).

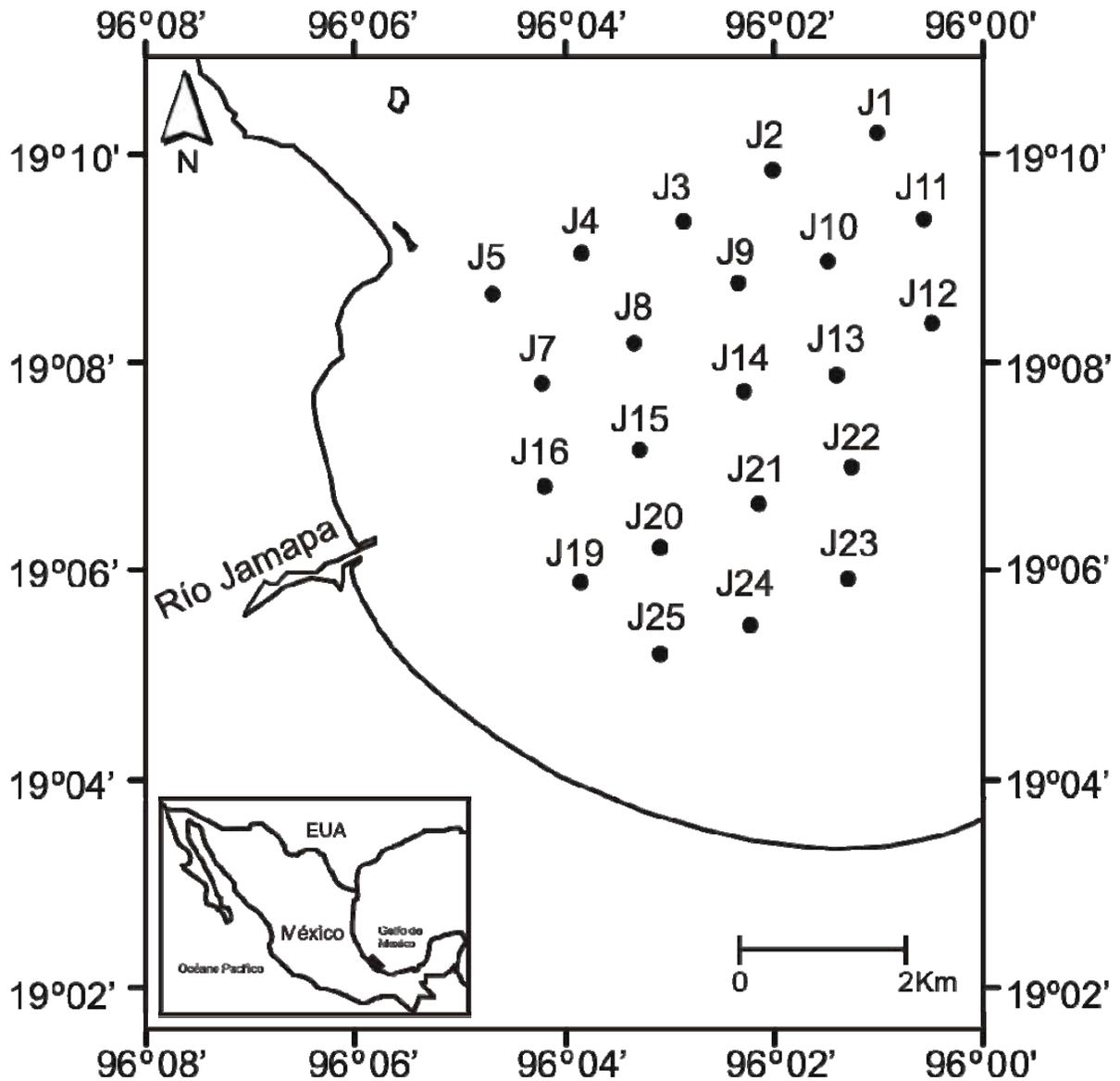


Figura 1. Área de estudio y estaciones de muestreo. Para ubicar el área de estudio dentro del Sistema Arrecifal Veracruzano, referirse a la figura 10.

Clima

De acuerdo con García E. (1990), la cuenca del Río Jamapa se encuentra dentro de la Región 7 denominada Golfo de México, la cual se caracteriza por vientos alisios, ondas del este y ciclones tropicales en verano y otoño, así como vientos del norte en invierno.



Figura 2. Regiones climáticas (tomado de García, 1990).

Las características climáticas de la cuenca del Río Jamapa son variadas. En su nacimiento, es decir, en el Pico de Orizaba, se presentan temperaturas muy frías, mientras que a lo largo de la cuenca y hasta llegar a la desembocadura del Jamapa, las temperaturas predominantes son cálidas (Vidal Zepeda, 1990).



Figura 3. Temperatura media (tomado de Vidal Zepeda, 1990).

Las lluvias se presentan todo el año, pero son más abundantes en verano, mientras que en otoño e invierno se registran con cierta frecuencia algunas heladas.

La estación más seca es la primavera, siendo abril el mes en que se registran las temperaturas más elevadas del año (GEV, 2008).



Figura 4. Precipitación media anual (tomado de Vidal Zepeda, 1990).

En la parte más alta de la cuenca la precipitación media anual se encuentra en el orden de los 2000 a 2500 mm y va disminuyendo a lo largo del río; sin embargo al llegar a la costa, se vuelve a incrementar a un promedio de 1500 a 2000 mm, con probabilidad del 46% de que se presente precipitación igual o mayor a la media (Vidal Zepeda, 1990).

Por otra parte, el escurrimiento medio anual que se registra en la mayor parte de la cuenca es, de acuerdo con Jiménez-Román y Maderey-Rascón (1990), de aproximadamente 1000 mm.

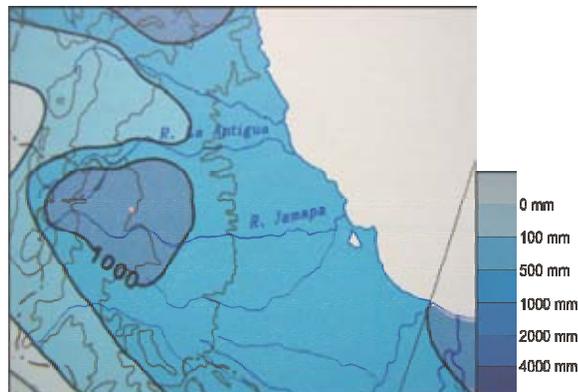


Figura 5. Escurrimiento medio anual (tomado de Jiménez-Román, A. y L. E. Maderey-Rascón, 1990).

El clima cálido y la humedad de la región favorecen el rápido intemperismo de las rocas procedentes del Pico de Orizaba, así como de la Sierra Madre Oriental. Parte

de este material se transporta a lo largo del río y finalmente se deposita en la plataforma continental.

Hidrología de la Cuenca

El Estado de Veracruz se divide en 6 Regiones Hidrológicas, cada una con sus respectivas cuencas. Una de estas regiones es la Región Hidrológica Papaloapan, la cual abarca gran parte de la porción centro-sur de Veracruz. Las corrientes que la integran, las cuales pertenecen a la vertiente del Golfo de México, tienen una disposición radial y paralela controlada por algunas elevaciones de la Sierra Madre Oriental y la Faja Volcánica Transmexicana (Cofre de Perote y Pico de Orizaba). Dentro de esta región están las cuencas del Río Papaloapan y del Río Jamapa (INEGI, 2008).

De acuerdo con Pereyra-Díaz y Pérez-Sesma (2007), la Cuenca del Río Jamapa se ubica entre 18°45' y 19°14' de Latitud Norte y 95°56' y 97°17' Longitud Oeste. Tiene un área aproximada de 3,912 km², distribuida prácticamente en su totalidad dentro del estado de Veracruz y su escurrimiento es de 1,895 millones de m³ (Tamayo, 1991).

La ladera norte del Pico de Orizaba está cubierta de glaciares a diversas alturas; de éstos, el Glaciar de Jamapa es el más bajo. Se ubica entre el Cerro Cuchilla en Veracruz y los límites con el Estado de Puebla. De acuerdo con el Gobierno del Estado de Veracruz (GEV, 2008), en dicho glaciar tiene su origen el Río Jamapa como producto del deshielo, cuyo cauce presenta una fuerte pendiente debido a lo abrupto del terreno. Este río recibe por su derecha los ríos Chavaxtla y Boca del Monte, penetra al Estado de Veracruz y recibe al final al Río Cotaxtla o Atoyac, descargando al mar en Boca del Río (Tamayo, 1991).

Por su alimentación, los ríos pertenecientes a la Cuenca del Río Jamapa son ríos nivoso - pluviales y por su actividad erosiva se trata de ríos jóvenes (GEV, 2008). De acuerdo con Pereyra-Díaz y Pérez-Sesma (2007), al Río Jamapa lo forman dos corrientes muy importantes, que en su confluencia se conocen con los nombres de Cotaxtla (también conocido como Colaxtla) y Jamapa.

El Río Cotaxtla drena un área de 1,679 km², y nace en una zona limítrofe de los estados de Puebla y Veracruz a 5,700 msnm con el nombre de Río Barranca de Chocomán y avanza hacia el oriente colectando a su paso las corrientes formadas en la ladera noreste del Pico de Orizaba. Dentro de la población de Coscomatepec cambia su curso hacia el sureste captando en su recorrido, por ambas márgenes, corrientes de pequeña magnitud. A la altura de Córdoba desvía su curso nuevamente al sureste y cambia su nombre a Río Seco, rodea el Cerro Chiyoltuite y afluye por su margen izquierda el Río Atoyac.

El Río Atoyac se origina al norte de Córdoba en el Cerro Loma Grande a 1,750 msnm, pasa por Atoyac y aguas abajo recibe por la margen izquierda al Arroyo Chiquihuite. Sobre este río se encuentra la presa Santa Anita; posteriormente afluye al colector general, conservando el nombre de Río Atoyac. A partir de esta confluencia desvía su curso hacia el oriente y fluye entre lomeríos hasta la afluencia por la margen izquierda del Arroyo Paso del Macho.

Aguas abajo de la confluencia anterior recibe por la margen derecha al Arroyo Cuatro Caminos que nace al sureste de la población de Yanga. Aquí, el colector general cambia su nombre a Río Cotaxtla y sigue su rumbo noreste pasando por Cotaxtla. Aguas abajo de esta confluencia recibe por la margen izquierda al Río Jamapa.

El Río Jamapa nace con el nombre de Barranca de Coscomatepec en el límite de los estados de Puebla y Veracruz, a 4700 msnm. Sigue su rumbo hacia el oriente, a través de topografía montañosa, en la que colecta corrientes que nacen en la Sierra Madre Oriental en la zona comprendida entre las porciones norte del Pico de Orizaba y sureste del Cerro de La Cumbre. Afluye por su margen izquierda el Río Paso de los Gasparines, originado al noreste de Huatusco.

Después de la afluencia anterior, fluye como Río Paso de los Gasparines cambiando su rumbo, de este a sureste. Al penetrar en la zona plana forma un gran número de meandros, cambiando su nombre a Río Jamapa y recibiendo por su margen izquierda al Río Xicuintla. Ahí, el Río Jamapa sigue su curso hacia el este, forma meandros y terrazas aluviales hasta la confluencia, por la margen derecha, del

Arroyo Ixcualco. Sigue su paso por Medellín de Bravo y aguas abajo confluye con el Río Cotaxtla, conservando su nombre.

A partir de esta confluencia el Río Jamapa fluye con rumbo norte, forma meandros y se desvía hacia el este donde fluye por la margen izquierda y derecha el Río Moreno y la Laguna Mandinga Grande, respectivamente. Finalmente desemboca en el Golfo de México en la población de Boca del Río, Veracruz.

El agua del Río Jamapa se utiliza para uso doméstico, abasteciendo de agua potable las poblaciones de Boca del Río, Medellín de Bravo y el puerto de Veracruz. Esta agua se distribuye a través de la Planta Potabilizadora El Tejar.

En las márgenes de los ríos que conforma la Cuenca del Río Jamapa se encuentran asentadas grandes fábricas y ciudades, las cuales vierten a los ríos grandes volúmenes de aguas residuales y desechos industriales, sin ningún tratamiento previo. Estos residuos viajan a través de los ríos hasta llegar al mar, lo cual está ocasionando altos grados de contaminación del agua tanto de los ríos como del mar, que tienen como consecuencia una fuerte afectación ecológica de la región (SAGARPA, 2003).

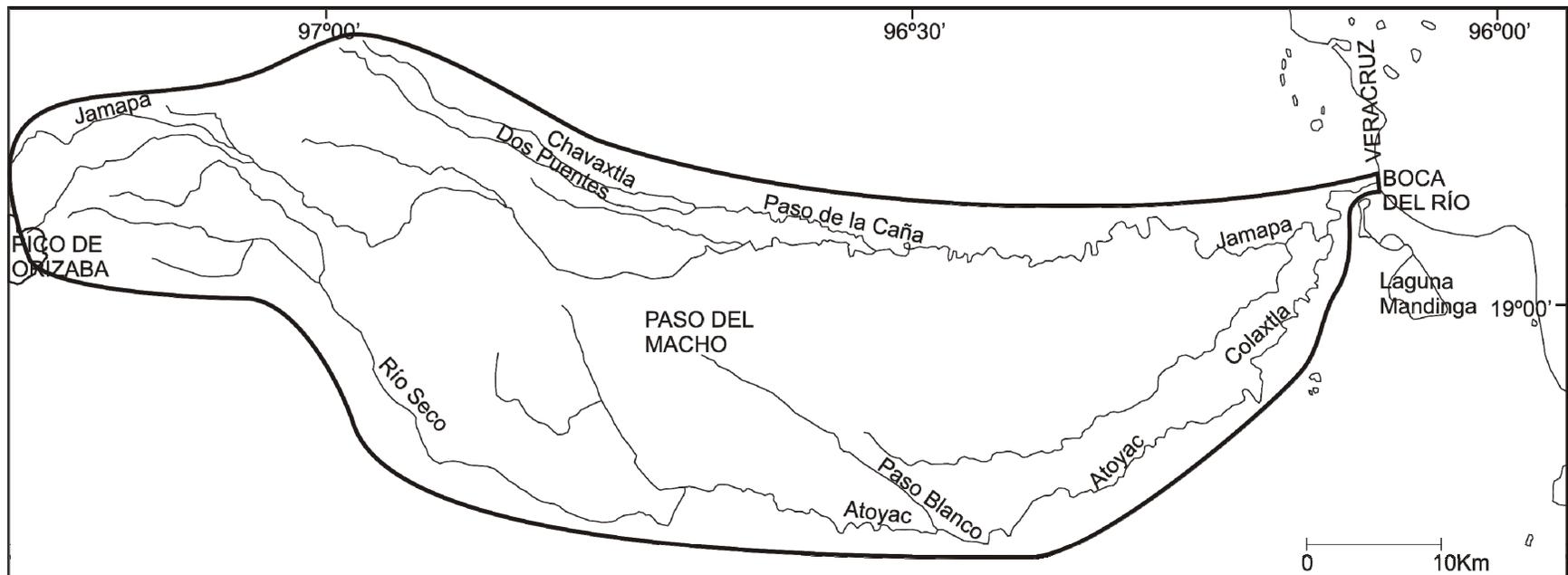


Figura 6. Mapa de la cuenca hidrológica del Río Jamapa (modificado de la Carta Geológico-Minera del Estado de Veracruz, SGM, 2005).

Geología

La zona de estudio se encuentra dentro de la Unidad Costera Morfotectónica II (Carranza-Edwards *et al.*, 1975) la cual fisiográficamente comprende la parte central de la zona de Veracruz (Álvarez, 1962). La plataforma continental en esta unidad es angosta y se encuentra influida por crecimientos arrecifales en las proximidades del Puerto de Veracruz.

Esta unidad, de acuerdo con Inman y Nordstrom (1971), se clasifica como costas de mares marginales, de las cuales, de acuerdo con Shepard (1973) se pueden tener tres tipos dentro de esta unidad: a) Costas primarias volcánicas, de flujos de lava y de tefra; b) Costas secundarias, construidas por organismos, arrecifes coralinos, costas de arrecifes bordeantes; c) Costas primarias, de depósito subaéreo, por viento, costas con dunas.

Con el fin de facilitar la observación e interpretación de la información contenida en la Carta Geológica de la República Mexicana, Ortega *et al.* (1992) elaboraron un sistema de clasificación de Provincias Geológicas, de acuerdo con el cual la zona de estudio se encuentra dentro de la provincia geológica denominada Cuenca Deltáica de Veracruz, con una edad Cenozoica y de origen sedimentario marino.

Las unidades sedimentarias marinas de México más abundantes pertenecen al Cretácico. Y es hacia el Cretácico Inferior cuando se generalizan en Veracruz, potentes depósitos de caliza y dolomía que constituyen parte de la Formación Sierra Madre. Para el Cretácico Superior se establece una sucesión constituida predominantemente de caliza y arenisca, con fauna típica de arrecife, representada por abundantes rudistas; asimismo, se presentan foraminíferos que diagnostican este tipo de ambiente (Ortega *et al.*, 1992).

Un cambio de sedimentación tiene lugar en el Cretácico Superior y se encuentra marcado por el cubrimiento de las plataformas calcáreas por una serie de sucesiones terrígenas que evidencian la evolución de deltas y cuencas. Estas sucesiones forman grandes paquetes de arenisca, conglomerado, limolita, marga y lutita. En este periodo las relaciones sedimentarias son graduales y

transicionales. Una sedimentación continental del Cenozoico Temprano marca el cambio de rocas sedimentarias a secuencias volcánicas (Ortega *et al.*, 1992).

Durante el Terciario, en el lapso de una regresión marina hacia el oriente se depositaron en la Llanura Costera del Golfo los sedimentos terrígenos de varias formaciones. Estos depósitos se originaron al comenzar las deformaciones orogénicas de la Sierra Madre Oriental (Cárdenas-Vargas *et al.*, 1994).

El Cuaternario se encuentra representado por depósitos de arenas, gravas, limos y arcillas, que por ser recientes se encuentran sin consolidar. Dichos depósitos son el producto de la desintegración por intemperismo de las rocas preexistentes que fueron y siguen siendo erosionadas y cuyos residuos son transportados y depositados en las porciones topográficamente bajas. También son abundantes en las márgenes y lechos de ríos y arroyos, así como en la proximidad de la línea de costa (Cárdenas Vargas *et al.*, 1994).

De acuerdo con Ortega *et al.*, (1992), la actividad volcánica comenzó a finales del Terciario y continuó hasta el Cuaternario, originando depósitos que cubren una gran superficie en las porciones centro, centro-occidente y sureste del estado de Veracruz.

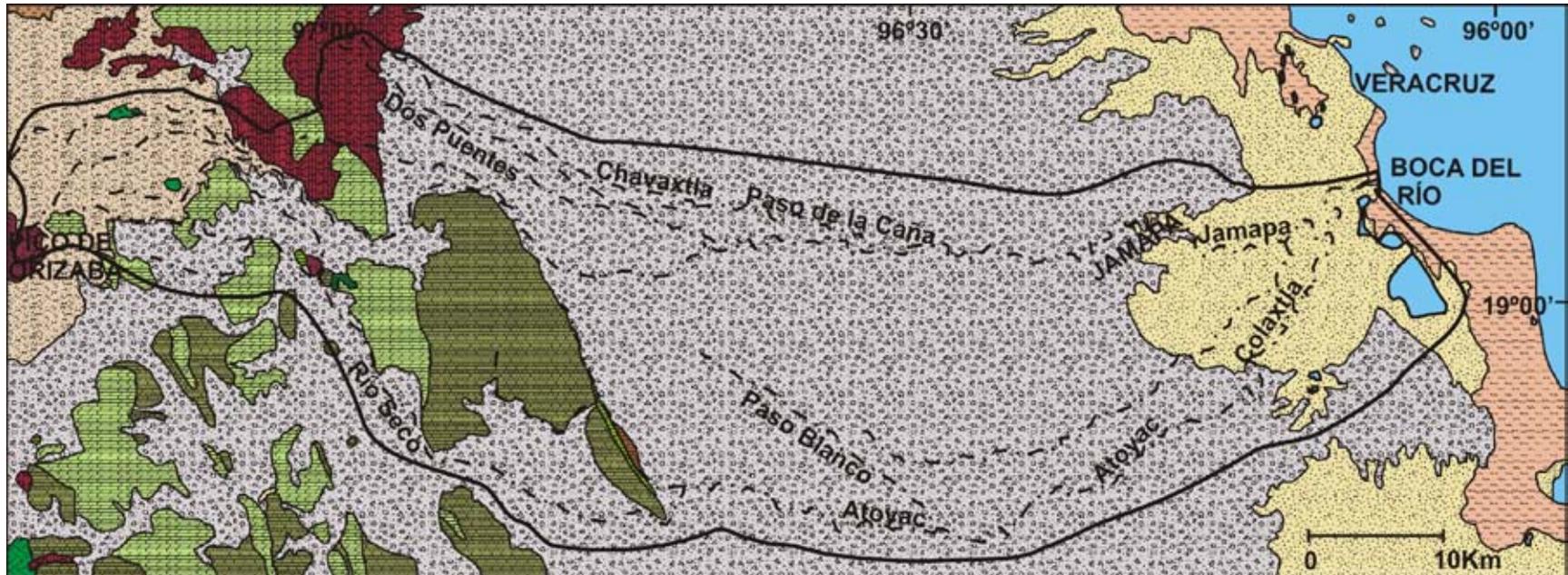
Es pertinente mencionar a la Faja Volcánica Transmexicana, en la cual, durante el intervalo del Mioceno Superior-Plioceno Temprano, dominaron las grandes calderas que produjeron significativos volúmenes de tobas pumicíticas e ignimbritas (Ortega *et al.*, 1992).

Hacia el Plioceno, la migración del vulcanismo cambia de condiciones ácidas y bimodales a un arco volcánico de composición andesítico-basáltica con algunas variaciones a dacita, que comienza a desarrollarse en el límite inferior del Plioceno, con edades generalmente menores a 3 Ma (Ortega *et al.*, 1992).

El vulcanismo se vuelve menos continuo y ligeramente más evolucionado, desarrollando domos riolíticos y en menor proporción dacíticos, tobas riolíticas e importantes depósitos de pumicita, con edades generalmente menores a 1.8 Ma (Ortega *et al.*, 1992).

Con el vulcanismo del Pleistoceno-Holoceno se emplazan diferentes centros poligenéticos y potentes lahares y depósitos volcánicos, asociados a estratovolcanes, como es el caso del Pico de Orizaba (Ortega *et al.*, 1992).

De acuerdo con Cárdenas Vargas *et al.* (1994), las últimas manifestaciones de vulcanismo corresponden a efusiones de corrientes de lava y productos piroclásticos de composición básica.



SIMBOLOGÍA

- Cuenca hidrológica
- - - Río
- Límite entre litologías

LITOLOGÍA

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Kcm Caliza Ktco Caliza-lutita | <ul style="list-style-type: none"> Ktss Caliza-lutita Kace Caliza-Dolomita Tpae Arenisca-Lutita Qho Aluvión constituido por sedimentos de arenas, limos y gravas Qho Depósitos eólicos | <ul style="list-style-type: none"> Tpl Andesita-Dacita Tpl Andesita-Dacita Qpt(?)ho Lahares y depósitos volcánicos Qptho Dacita-Andesita Qho(?) Depósitos de caída andesítico y riolítico |
|--|--|---|

Figura 7. Mapa geológico de la cuenca del Río Jamapa (modificado de la Carta Geológico-Minera del Estado de Veracruz, SGM, 2005).

III. METODOLOGÍA

El material utilizado para el presente trabajo se obtuvo como parte de la Campaña Oceanográfica SAV-I (Sistema Arrecifal Veracruzano I), realizada a finales de noviembre y principios de diciembre de 2007 dentro del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), No. INI08808, titulado "Estudio Ambiental del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y su Relación con las Descargas Fluviales", del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología a cargo de la Dra. Leticia Rosales Hoz.

Las muestras se analizaron granulométricamente en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Dentro de esta campaña se llevó a cabo la recolección de muestras encaminada al estudio sedimentológico de la plataforma continental somera en el suroeste del Golfo de México, adyacente a los ríos Papaloapan, La Antigua y Jamapa, este último objeto del presente trabajo.

Frente a la desembocadura del Río Jamapa se recolectaron 22 muestras de sedimento superficial procedente de la plataforma continental, en profundidades variables entre 17 y 35 m, con las cuales se construyó el mapa batimétrico de la zona de estudio. Las muestras recolectadas posteriormente se procesaron en el Laboratorio de Sedimentología del ICMYL.

Antes de procesar las muestras, se analizó el color tanto en húmedo como en seco del sedimento mediante las tablas de color de Münsell (Münsell Color Company, 1975), con lo cual es posible representar una aproximación del estado de oxidación o reducción del ambiente de depósito, así como del contenido de materia orgánica.

En el análisis en húmedo (Fig. 8) se obtuvieron cuatro colores, gris olivo, olivo, pardo grisáceo oscuro y gris olivo oscuro, mientras que con el análisis en seco (Fig. 9) se obtuvieron tres colores, gris olivo, gris pardo claro y pardo grisáceo.

En ambos análisis la mayor parte de la zona de estudio se encuentra representada por tonos pardos que, de acuerdo con Ovalles (2003), indican un contenido medio a bajo de materia orgánica parcialmente descompuesta, en combinación con

óxidos de Fe. El color pardo se asocia con estados iniciales a intermedios de alteración.

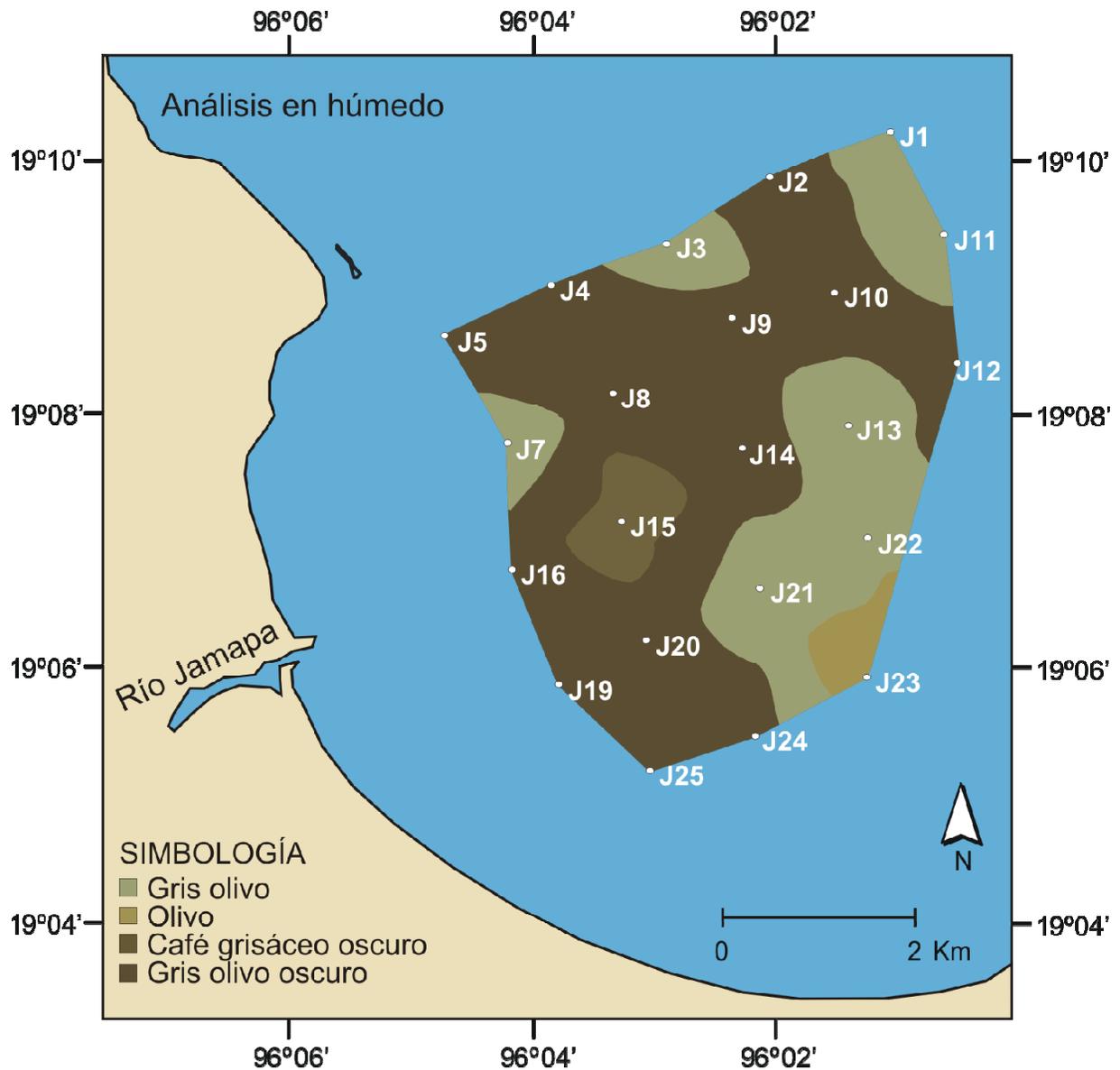


Figura 8. Análisis de color del sedimento en húmedo de acuerdo con Münsell (1975).

Los puntos de muestreo cercanos a zonas arrecifales presentan tonos grisáceos que indican un ambiente anaeróbico, el cual se presenta cuando el material se satura con agua, con lo cual el oxígeno es desplazado del espacio poroso del sedimento. Bajo estas condiciones, las bacterias anaeróbicas utilizan el Fe^{3+} y el

Mn⁴⁺ en su metabolismo, causando una pérdida de pigmento que ocasiona una coloración grisácea (Ovalles, 2003).

Es al sureste de la zona de estudio que se presentan tonos verdosos que indican una composición altamente calcárea que, bajo un ambiente anaeróbico, genera esa tonalidad verde. También, de acuerdo con Ovalles (2003), se asocia a la presencia de óxidos de Fe²⁺ incompletamente oxidados. No obstante el color del sedimento en seco puede estar reflejando también su composición mineralógica.

En general, de acuerdo con Carranza-Edwards *et al.* (2001), los colores oscuros se asocian a incrementos en el contenido de minerales pesados que, a su vez, se relacionan con climas húmedos y condiciones de alta energía.

Posteriormente las muestras se colocaron en vasos de precipitado adicionándoles agua oxigenada, con el propósito de eliminar la materia orgánica existente. Más tarde se enjuagó la muestra con agua destilada para eliminar cualquier residuo de agua oxigenada y se le agregó un antifloculante (hexametáfosfato de sodio) con el propósito de disgregar la muestra.

Ya disgregada la muestra se procedió a analizar el tamaño del sedimento mediante el analizador láser de tamaño de partículas Beckman Coulter, con el cual solo es posible analizar partículas con tamaños menores de 2mm, por lo que la fracción gruesa presente en 6 muestras se analizó usando tamices. También se realizaron mapas de distribución granulométrica para lo que se utilizó el software Surfer 8 y el método de interpolación de Kriging.

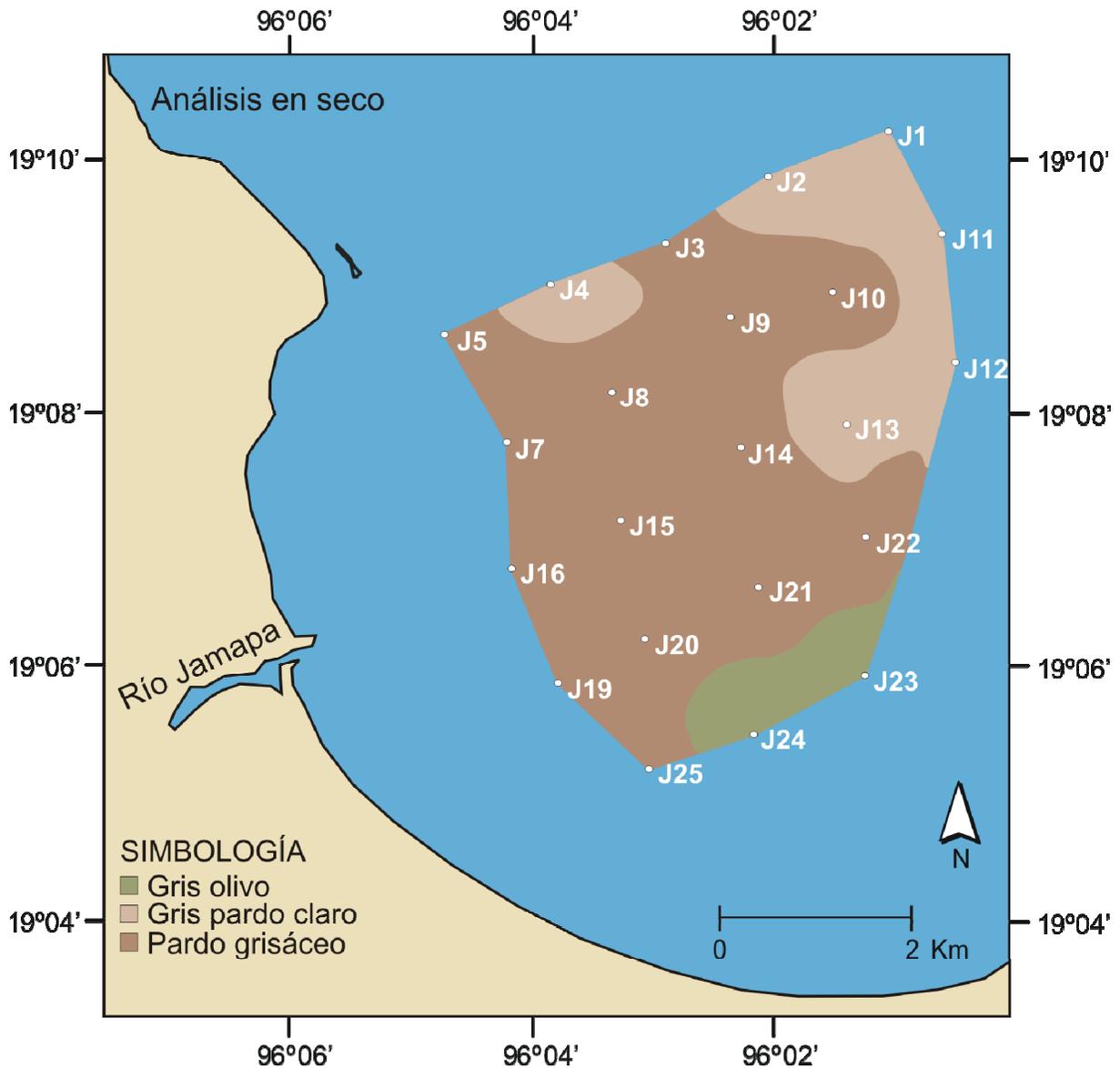


Figura 9. Análisis de color del sedimento en seco de acuerdo con Münsell (1975).

Una vez hecho el análisis granulométrico, se llevó a cabo la separación de arena y lodo mediante un tamiz 4ϕ (0.0625 mm) por vía húmeda, para eliminar totalmente la fracción de lodo existente en la muestra, con lo cual se procedió a hacer láminas delgadas de la fracción arenosa para cada una de ellas.

Se hacen láminas delgadas solo de la fracción arenosa ya que las arenas se originan como partículas sólidas que se desprenden de la roca pero, a la vez, son lo suficientemente pequeñas como para observar una muestra con un considerable número de granos en una sola lámina, además de que conservan la

composición y textura original, a pesar del transporte y de los procesos diagenéticos (Sánchez-Zavala y Centeno-García, 2000).

La clasificación de los sedimentos de acuerdo con su tamaño se realizó utilizando la escala de Wentworth (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de tamaño de Wentworth

Escala Wentworth	Milímetros	Phi (ϕ)
Gravas	> 2 mm	-1 ϕ
Arenas	2 mm - 1/16 mm	4 ϕ
Limos	1/16 mm - 1/256 mm	9 ϕ
Arcillas	> 1/256 mm	> 9 ϕ

Mediante el analizador láser de tamaño de partículas Beckman Coulter, se obtuvieron, de acuerdo con Folk (1974), los siguientes parámetros texturales:

- 1) Tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$): Indica el tamaño de grano medio de una muestra de sedimento.
- 2) Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_1\phi$): Caracteriza el grado de clasificación de la muestra estudiada, es decir, indica el grado de homogeneidad de la muestra de sedimento.
- 3) Grado de asimetría (Sk_1): Es una medida de dispersión de los sedimentos y nos indica los excesos de material fino o grueso que presenta el sedimento.
- 4) Curtosis (K_G): Es una medida de angulosidad de la curva de frecuencia como relación de proximidad entre los valores centrales, generalmente el 50% central y los valores externos, generalmente en el 90%. Para distribuciones normales la angulosidad vale 1.

Tabla 2. Fórmulas empleadas por Folk (1974)

- 1) Tamaño gráfico promedio ($Mz\phi$):

$$Mz_{\phi} = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$$

Sus límites:

Grava	$< -1\phi$
Arena	$-1\phi - 4\phi$
Limo	$4\phi - 8\phi$
Arcilla	$> 8\phi$

2) Desviación estándar gráfica inclusiva ($\sigma_{I\phi}$):

$$\sigma_{I\phi} = \frac{(\phi 84 - \phi 16)}{4} + \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{6.6}$$

Sus límites:

Muy bien clasificado	$< 0.035\phi$
Bien clasificado	$0.35\phi - 0.50\phi$
Moderadamente bien clasificado	$0.50 \phi - 0.71\phi$
Moderadamente clasificado	$0.71\phi - 1.00\phi$
Mal clasificado	$1.00 \phi - 2.00\phi$
Muy mal clasificado	$2.00 \phi - 4.00\phi$
Extremadamente mal clasificado	$> 4.00\phi$

3) Grado de asimetría (SkI):

$$SkI = \frac{(\phi 16 + \phi 84 - 2(\phi 50))}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{(\phi 5 + \phi 95 - 2(\phi 50))}{2(\phi 90 - \phi 5)}$$

Sus límites:

Muy asimétrica hacia los finos	1.00 a 0.30
Asimétrica hacia los finos	0.30 a 0.10
Casi simétricas	0.10 a -0.10
Asimétrica hacia los gruesos	-0.10 a -0.30
Muy asimétrica hacia los gruesos	-0.30 a -1.00

4) Curtosis (K_G):

$$K_G = \frac{(\phi 95 - \phi 5)}{2.44(\phi 75 - \phi 25)}$$

Sus límites:

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

Para determinar la composición de la fracción arenosa, se utilizó el método cuantitativo más usual que es el petrográfico mediante un conteo de puntos, el cual, de acuerdo con Sánchez-Zavala y Centeno-García (2000), consiste en el conteo de los granos de arena en el microscopio, utilizando una platina graduada que permite el movimiento de la lámina delgada a un cierto intervalo de distancia, formando una red de puntos en un sistema coordinado. En esta técnica, se registra por cada punto la composición del grano localizado en el centro de la retícula.

Se contaron 300 granos por lámina, los cuales son representativos de la muestra y para clasificarlos se utilizaron 8 campos para el conteo: cuarzo (C), feldespatos (F) incluyendo tanto plagioclasas como feldespatos potásicos, fragmentos de rocas volcánicas (FRV), fragmentos de rocas sedimentarias (FRS), minerales pesados (MP), pedernal (P), micas (M) y biógenos (B).

A partir de estos datos, más los parámetros texturales, se realizó una matriz de correlación para el análisis estadístico de la información, para lo cual, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson en el programa Excel (2003) para una muestra $n=22$ y un error de 5%. Se incluyeron también las gráficas de los elementos en los que se obtuvo esa correlación.

El coeficiente de correlación de Pearson se calcula de la siguiente manera:

El programa Excel devuelve el valor r que es el coeficiente de correlación producto o momento r de Pearson, el cual es un índice adimensional acotado entre -1,0 y 1,0 que refleja el grado de dependencia lineal entre dos conjuntos de datos.

PEARSON (matriz1;matriz2)

Matriz 1 es un conjunto de valores independientes.

Matriz 2 es un conjunto de valores dependientes.

Observaciones

- Los argumentos deben ser números o nombres, constantes matriciales o de referencia que contengan números.
- Si el argumento matricial o de referencia contiene texto, valores lógicos o celdas vacías, estos valores se pasan por alto; sin embargo, se incluirán las celdas con el valor cero.
- Si los argumentos matriz1 y matriz2 están vacíos o contienen un número diferente de puntos de datos, PEARSON devuelve el valor de error #N/A.
- La fórmula para el coeficiente de correlación del momento del producto Pearson, r, es:

$$r = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{x})^2 \Sigma(y - \bar{y})^2}}$$

donde x e y son las medias de muestra PROMEDIO(matriz1) y PROMEDIO(matriz2).

Se realizaron mapas de la distribución máxima mineralógica para cada uno de los ocho componentes representativos en las muestras.

Se realizó el diagrama ternario con los componentes cuarzo-feldespatofragmentos de roca (C:F:FR) en porcentajes para representar la composición petrográfica predominante en cada muestra, para lo cual se normalizan los tres componentes; C+F+FR, donde C= 100C/(C+F+FR), F= 100F/(C+F+FR) y FR=100FR/(C+F+FR).

A partir de los porcentajes de feldespatos y fragmentos de roca de la fracción arenosa y de acuerdo con el método de Pettijohn (1975), se determinó la procedencia del sedimento mediante la fórmula:

$$IP= F/FR$$

IV. GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el INEGI (2008), la zona de estudio se encuentra en las regiones fisiográficas denominadas Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo Sur. Forma parte de una llanura costera plana con una ligera inclinación hacia el océano formada por un levantamiento tectónico en el Cenozoico, la cual está cubierta por depósitos aluviales que siguen incrementándose y depositando material hacia la plataforma continental. (Cabrera-Ramírez y Carranza-Edwards, 2002).

Esta llanura costera, cuya superficie se encuentra próxima al nivel del mar, presenta un fuerte aporte fluvial de los ríos Antigua, Jamapa y Papaloapan, que la cruzan para desembocar al Golfo de México. Es angosta hacia el norte y presenta un área alargada de dunas costeras cerca del Puerto de Veracruz que se extiende hasta Alvarado ensanchándose en la desembocadura de los ríos que existen en el área (Benavides, 1956).

Al oeste del área de estudio se observa el relieve volcánico definido por estratovolcanes como el Pico de Orizaba, así como por edificios volcánicos recientes. Se observan también calderas tanto de explosión como de colapso.

En las porciones bajas de la cuenca el relieve es abrupto a pesar de la denudación que producen el intemperismo químico y la erosión fluvial. Esto es debido a la presencia de edificios volcánicos presentes en las porciones bajas de la cuenca.

La margen expuesta del área de estudio corresponde a islas barrera, a partir de las cuales se encadenan las playas altas, los campos de dunas y cordones de playas antiguos, todos ellos separados del continente por marismas y esteros estrechos con disposición paralela a la línea de costa (CONANP, 2004).

Dentro del área de estudio se encuentra el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) que está formado por islas, islotes y por 23 arrecifes de diferentes tamaños y profundidades, los cuales se encuentran distribuidos en dos áreas separadas por la desembocadura del Río Jamapa. Una de las áreas se localiza frente a la ciudad de Veracruz y la otra frente a Punta Antón Lizardo. En el Sistema Arrecifal Veracruzano existen bajos submarinos de origen arrecifal en la plataforma

continental somera en los alrededores de la desembocadura del Río Jamapa, pero no frente a éste.

La plataforma continental está constituida por una serie de cuencas de sedimentación marginales y/o deltaicas del Cenozoico, formadas por sedimentos terrígenos y marinos que buzcan suavemente hacia la porción central del Golfo de México.

De acuerdo con la cartografía elaborada por la Secretaría de Marina (1998), se aprecia un delta frente a la desembocadura del Río Jamapa el cual, de acuerdo con la batimetría elaborada para este trabajo, ya no existe (Fig. 10).

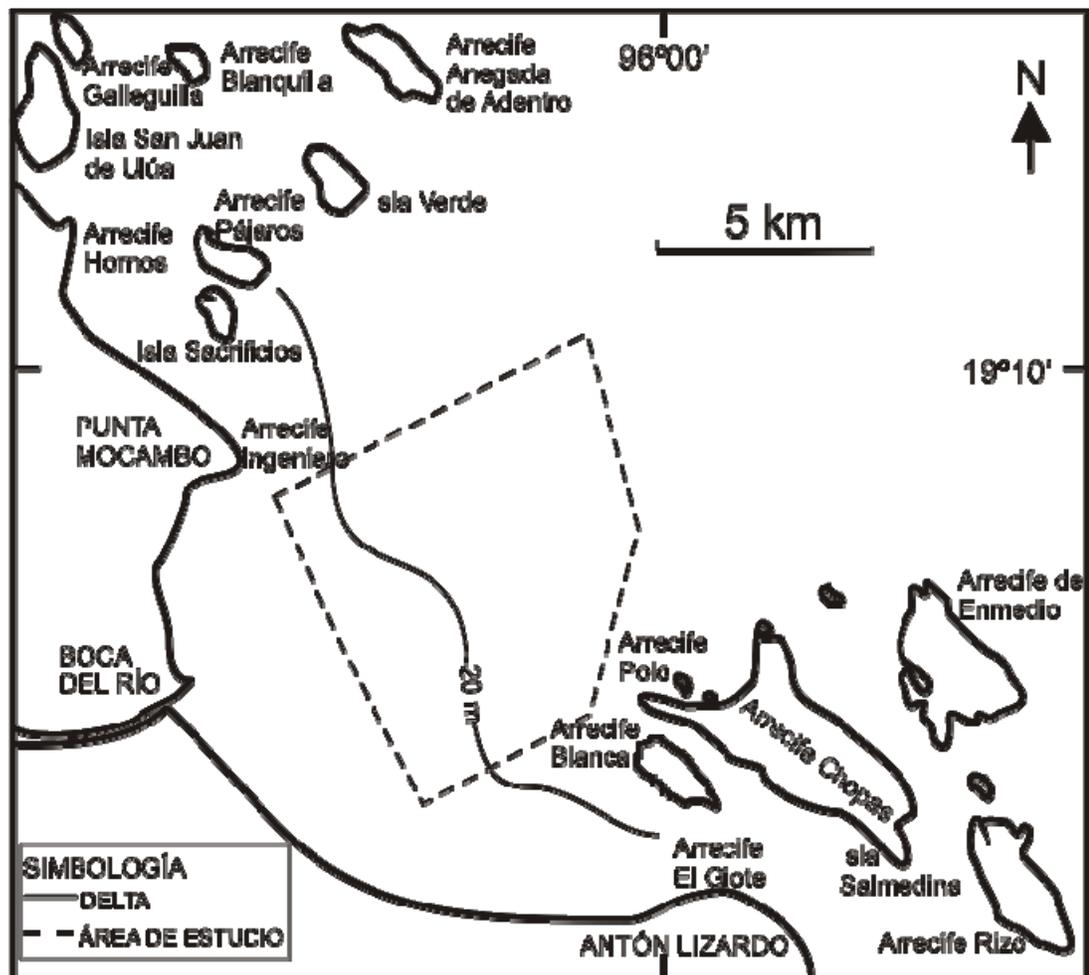


Figura 10. Sistema Arrecifal Veracruzano, antiguo delta (modificado de Secretaría de Marina, 1998).

Es posible que la ausencia del delta se deba a que en los últimos años el aporte de sedimento a la plataforma continental somera se ha visto reducido por el represamiento de los ríos que drenan hacia el Río Jamapa, ya que de acuerdo con CSVA (2006) a lo largo de la cuenca se encuentran ubicadas un total de 11 presas (Anexo 1), por lo que una importante cantidad de sedimentos, principalmente gruesos, están siendo retenido en las mismas.

V. GRANULOMETRÍA

Con el objeto de estudiar la granulometría del área de estudio, se realizó la batimetría de la misma, mediante la cual se observa que, desde la línea de costa hacia mar adentro, las isobatas se encuentran distribuidas paralelamente a ella, mostrando una pendiente suave que se vuelve ligeramente pronunciada a partir de la isobata de 18 m (Fig. 11).

Las estaciones de muestreo se encuentran distribuidas dentro del área de estudio frente a la desembocadura del Río Jamapa, en profundidades entre los 17 y 35 m. En las isobatas de 26 y 27 m se observa una interrupción en el paralelismo de las isobatas la cual, por su forma parecida a la línea de costa actual y de acuerdo con los estudios llevados a cabo por Blanchon y Montaggioni (2003) en relación a elevaciones bruscas del nivel del mar en el Mar Caribe, podría representar una antigua ubicación de la línea de costa.

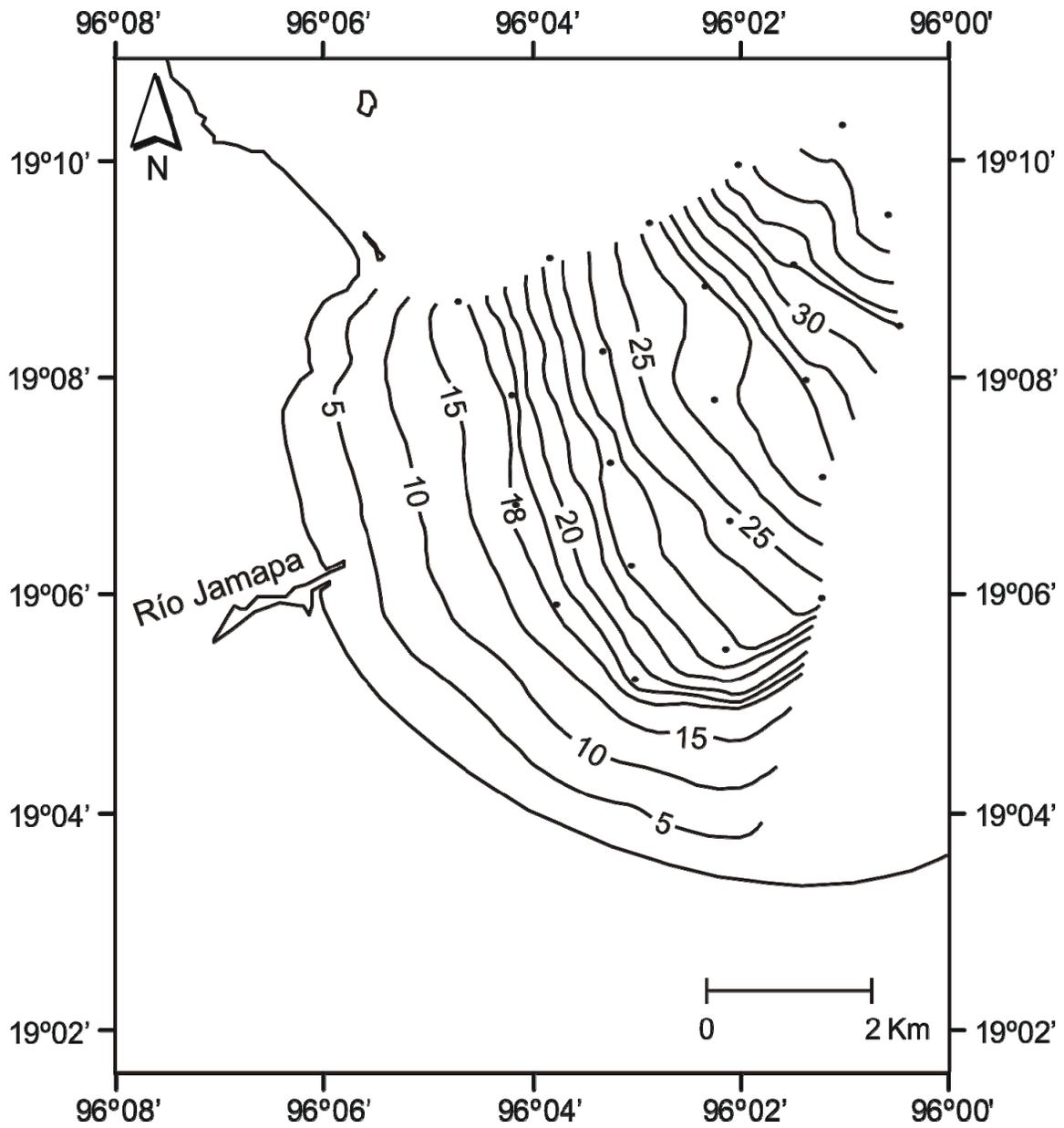


Figura 11. Mapa batimétrico del área de estudio. Las isobatas están en metros.

La concentración de gravas resultó escasa, exceptuando la obtenida en la muestra 12, ubicada al este de la zona de muestreo, en donde las gravas representan el 57% del total de la muestra. Sin embargo, al tamizar la muestra se notó que esta fracción correspondía en su mayoría a restos de organismos y conchas, cuya presencia se explica por la proximidad que hay entre la zona de muestreo y los arrecifes Blanca, Polo, El Giote y Chopas, así como la Laguna de Mandinga.

En las muestras J2, J5, J10, J23 y J24 se tienen porcentajes de gravas entre 1.7% y 9% que, en su mayoría, corresponden a fragmentos de conchas (Tabla 3).

Debido al bajo contenido de gravas, se optó por reunir en un solo mapa de distribución los porcentajes de gravas y arenas de cada muestra (Fig. 12).

Tabla 3. Parámetros texturales de los sedimentos recolectados frente a la desembocadura del Río Jamapa

MUESTRA	% GRAVAS	% ARENAS	% LIMOS	% ARCILLAS	% GRAVAS Y ARENAS	Mz ϕ	$\sigma I\phi$	SkI	K _G
J1	0	41.678	49.451	8.872	41.68	4.794	1.723	0.559	1.231
J2	3.299	64.946	24.155	7.599	68.25	4.073	1.871	0.729	1.354
J3	0	66.584	28.78	4.636	66.58	3.86	1.279	0.511	1.833
J4	0	54.207	39.034	6.76	54.21	4.394	1.615	0.591	1.297
J5	3.812	89.198	5.603	1.387	93.01	2.965	0.552	0.27	1.488
J7	0	68.916	27.549	3.536	68.92	3.77	1.107	0.459	1.839
J8	0	77.636	18.841	3.524	77.64	3.469	1.114	0.473	1.908
J9	0	74.444	21.732	3.824	74.44	3.556	1.189	0.444	1.841
J10	9.053	82.019	6.46	2.468	91.07	2.621	1.438	0.068	4.371
J11	0	23.084	61.072	15.843	23.08	5.646	1.98	0.406	0.836
J12	57.257	41.423	1.017	0.302	98.68	-0.349	1.573	0.659	0.647
J13	0	78.689	17.387	3.924	78.69	3.279	1.279	0.501	1.684
J14	0	62.462	31.79	5.748	62.46	4.11	1.37	0.588	1.952
J15	0	69.36	25.992	4.648	69.36	3.805	1.306	0.541	1.864
J16	0	48.569	43.559	7.872	48.57	4.654	1.683	0.599	1.098
J19	0	44.171	48.057	7.772	44.17	4.694	1.615	0.592	1.243
J20	0	55.633	37.819	6.548	55.63	4.273	1.426	0.59	1.935
J21	0	53.593	38.447	7.96	53.59	4.531	1.634	0.651	1.465
J22	0	58.878	34.663	6.46	58.88	4.275	1.577	0.565	1.678
J23	1.926	94.757	2.575	0.742	96.68	0.945	0.835	0.234	0.991
J24	1.695	97.423	0.696	0.186	99.12	1.467	0.792	-0.04	0.979
J25	0	20.313	68.679	11.007	20.31	5.484	1.776	0.263	0.996

Donde Mz ϕ es el tamaño gráfico promedio, $\sigma I\phi$ es la desviación estándar gráfica inclusiva, SkI es el grado de asimetría y K_G es la curtosis.

La concentración de arenas presentó un promedio de 62.18%, con su valor más bajo (20.313%) en la muestra J25 y su valor más alto (97.423%) en la muestra J24 (Tabla 3).

La fracción gruesa se encontró distribuida principalmente fuera del área de la desembocadura del Río Jamapa, presentándose tres concentraciones mayores, una al sureste, otra al este y una más al noroeste del área de estudio, que son los puntos más cercanos a las zonas de arrecifes de donde se deriva dicho material, el cual es acarreado principalmente por las corrientes inducidas, tanto durante épocas de nortes como en épocas de “suradas” (Fig. 12); así mismo, durante la época de nortes, el efecto del oleaje produce que los sedimentos finos depositados previamente o que vienen arrastrados por el río, se transporten mar adentro dejando al descubierto sedimentos más gruesos.

Se encontró también que las estaciones con más bajo contenido de biógenos son aquellas que tienen un porcentaje alto de arenas, las cuales son indicadoras de condiciones de alta energía, que no favorecen el depósito de los mismos.

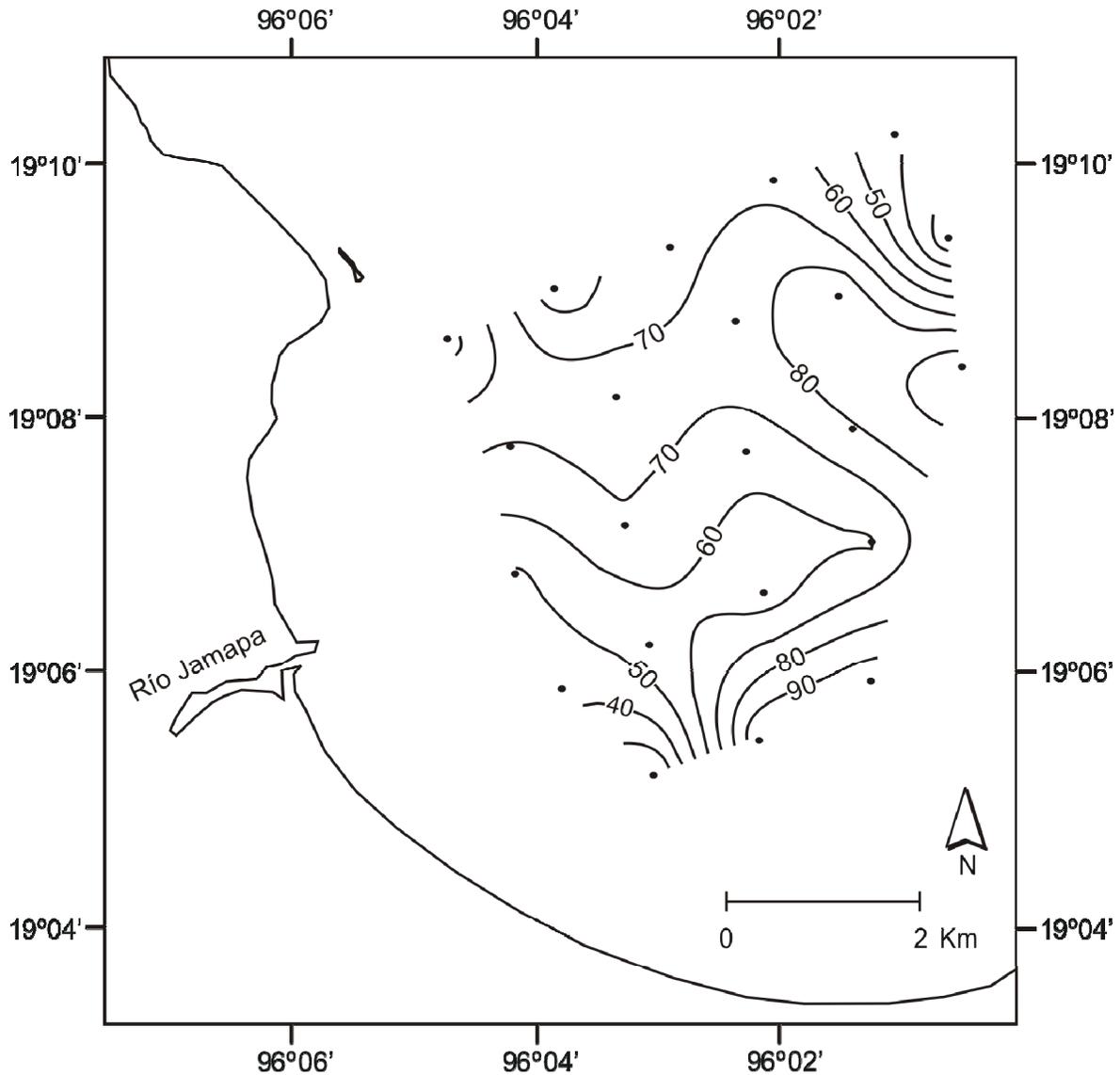


Figura 12. Distribución del porcentaje de gravas y arenas.

Los limos son la segunda fracción más abundante con un promedio de 28.79%. El valor más bajo (0.696%) se encontró en la muestra J24 mientras que el más alto (68.679%) se encontró en la muestra J25 (Tabla 3).

Por encima del valor promedio se encuentran dos zonas con concentraciones mayores, una al suroeste y otra al noreste del área de estudio, mientras que las concentraciones más bajas se encuentran distribuidas también en dos zonas, una al sureste y otra al noroeste de la misma (Fig. 13).

En las zonas que presentan mayor concentración de limos, también se encontró una mayor cantidad de biógenos, ya que éstos tienden a concentrarse en detritos finos.

Principalmente los limos son el resultado del aporte directo del Río Jamapa, en temporada de nortes, en la que frecuentemente se presentan lluvias. Por otra parte durante los nortes el material del fondo es removido y el material fino entra fácilmente en suspensión. En las figuras 14 y 16 se puede observar el origen fluvial de los sedimentos, así como la distribución de los mismos. Esto permite concluir que los limos proceden directamente de la desembocadura del Río Jamapa. Estos sedimentos son transportados en la dirección de la corriente litoral dominante, la cual se infiere por el efecto de retención de sedimentos de las escolleras, produciéndose una acumulación mayor en la margen norte de la desembocadura del Río Jamapa, como se observa en los diferentes mapas incluidos en este trabajo.

Debido a que en la desembocadura del Río Jamapa se presentan principalmente limos, se puede explicar la ausencia de arrecifes en esta zona, ya que los sedimentos finos inhiben el crecimiento arrecifal. Los arrecifes necesitan para su formación de la presencia de aguas limpias que permitan el paso de la luz, lo cual no es el caso de las aguas turbias procedentes del Río Jamapa.

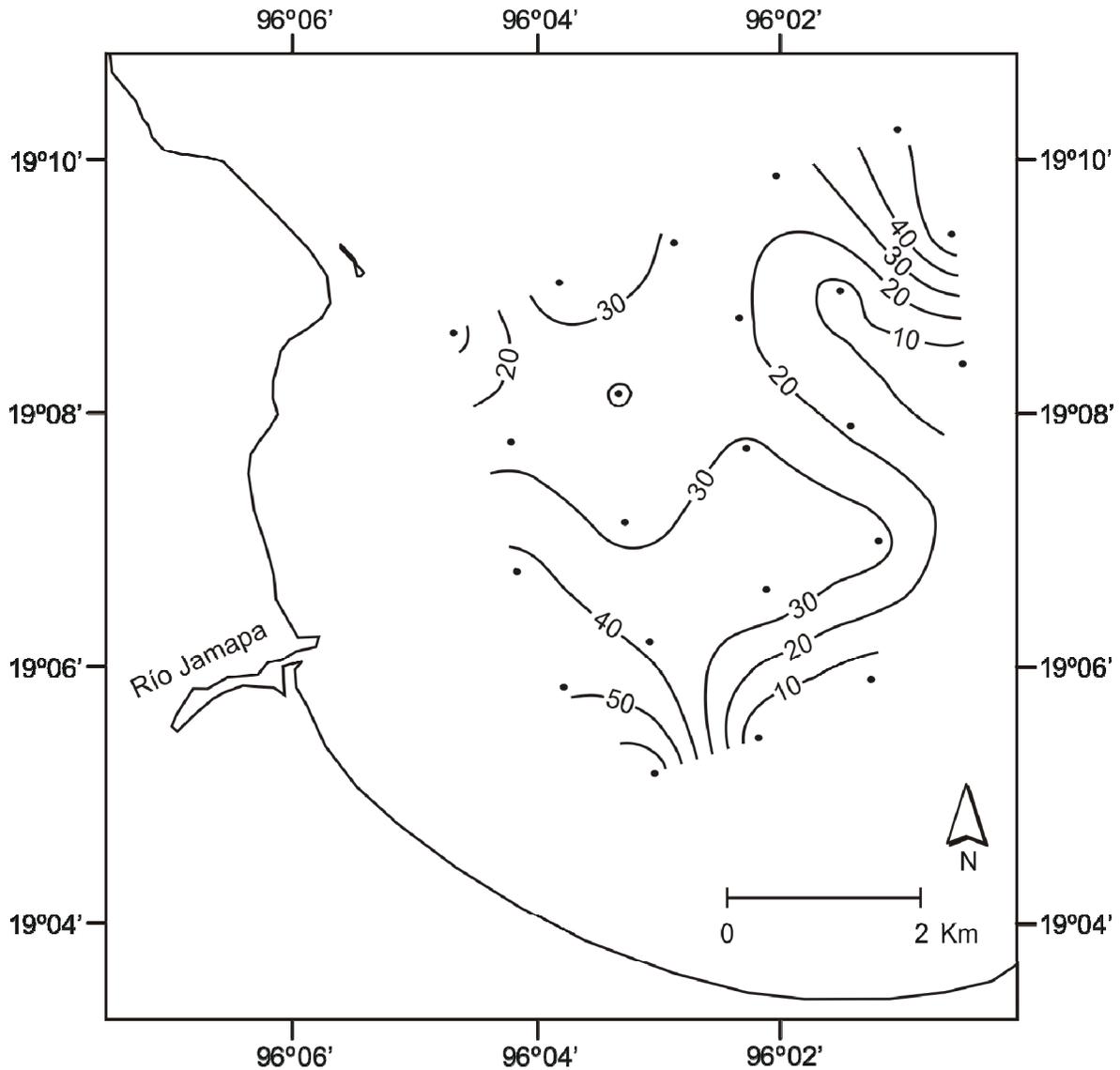


Figura 13. Distribución del porcentaje de limos.

La distribución de arcillas en las muestras tiene un valor mínimo de (0.302%) en la muestra J12, un valor máximo de (15.843%) en la muestra J11 y un valor promedio de 5.53%.

Los valores que se encuentran por encima del promedio se tienen en la parte noreste y suroeste del área de estudio (Fig. 14) y la máxima concentración se presenta hacia la zona más profunda, que en este caso corresponde con 35 m.

La mayor concentración de arcillas es la que se localiza en la zona noreste, en una zona más profunda que el resto, debido a que el sedimento más fino necesita

para depositarse de condiciones de oleaje de baja energía que permiten el depósito del sedimento suspendido.

En las figuras 13 y 14 se observa que la pluma fluvial del Río Jamapa, refleja un desplazamiento hacia el sur, debido a la influencia del oleaje y corrientes procedentes del norte.

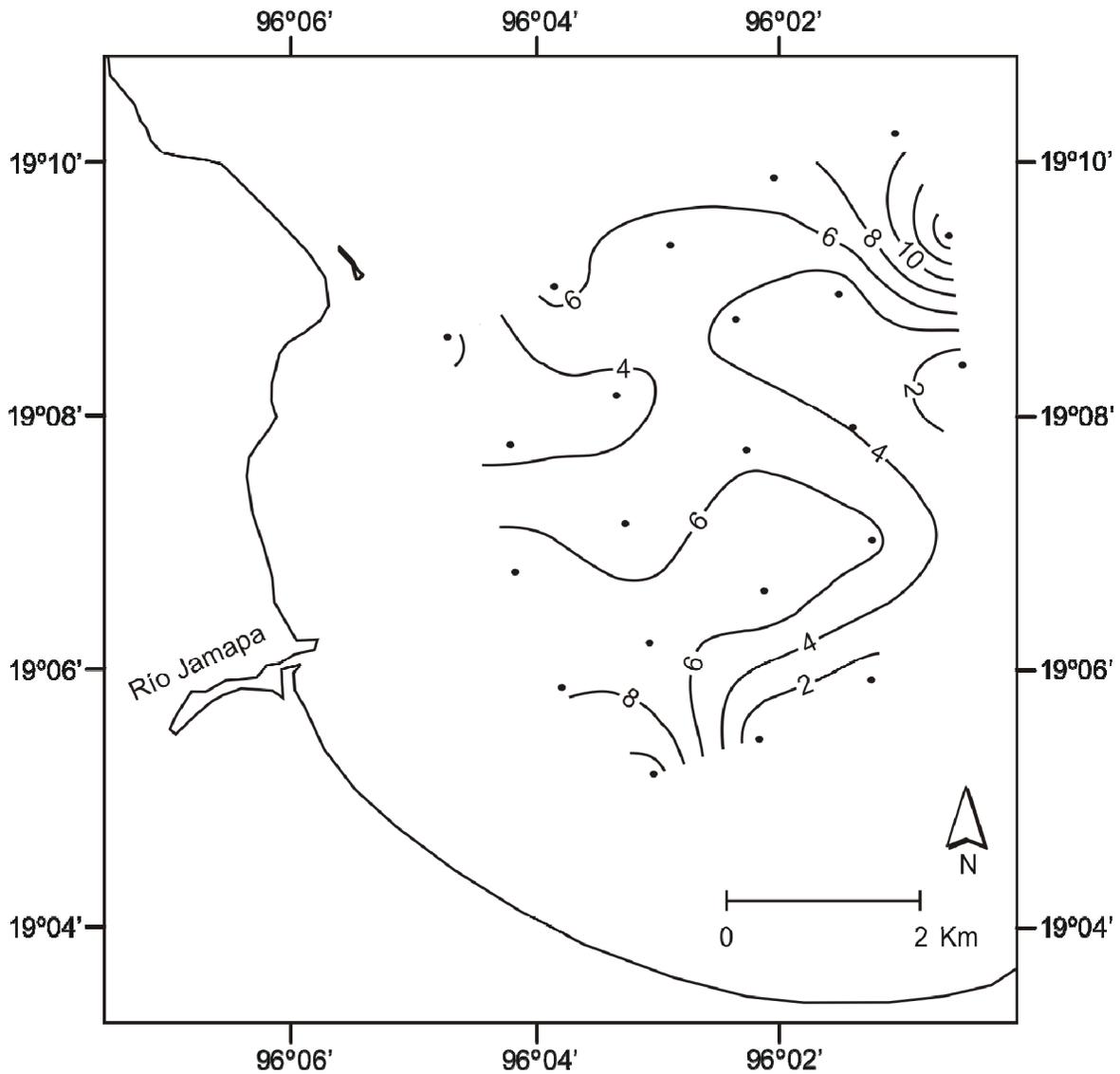


Figura 14. Distribución del porcentaje de arcillas.

La distribución del tamaño gráfico promedio (Mz_{ϕ}) (Fig. 15) de las 22 muestras indica una tendencia general a las arenas finas como el componente textural más abundante del sedimento, presentando gravas en la cercanía de arrecifes. Los

limos son el segundo componente más abundante y presente principalmente en la desembocadura del Río Jamapa así como en las zonas más profundas, al igual que las arcillas.

Por otra parte, tanto la desviación estándar (σI_ϕ) como la asimetría (SkI) indican que el sedimento recolectado en el área de estudio se encuentra mal clasificado,

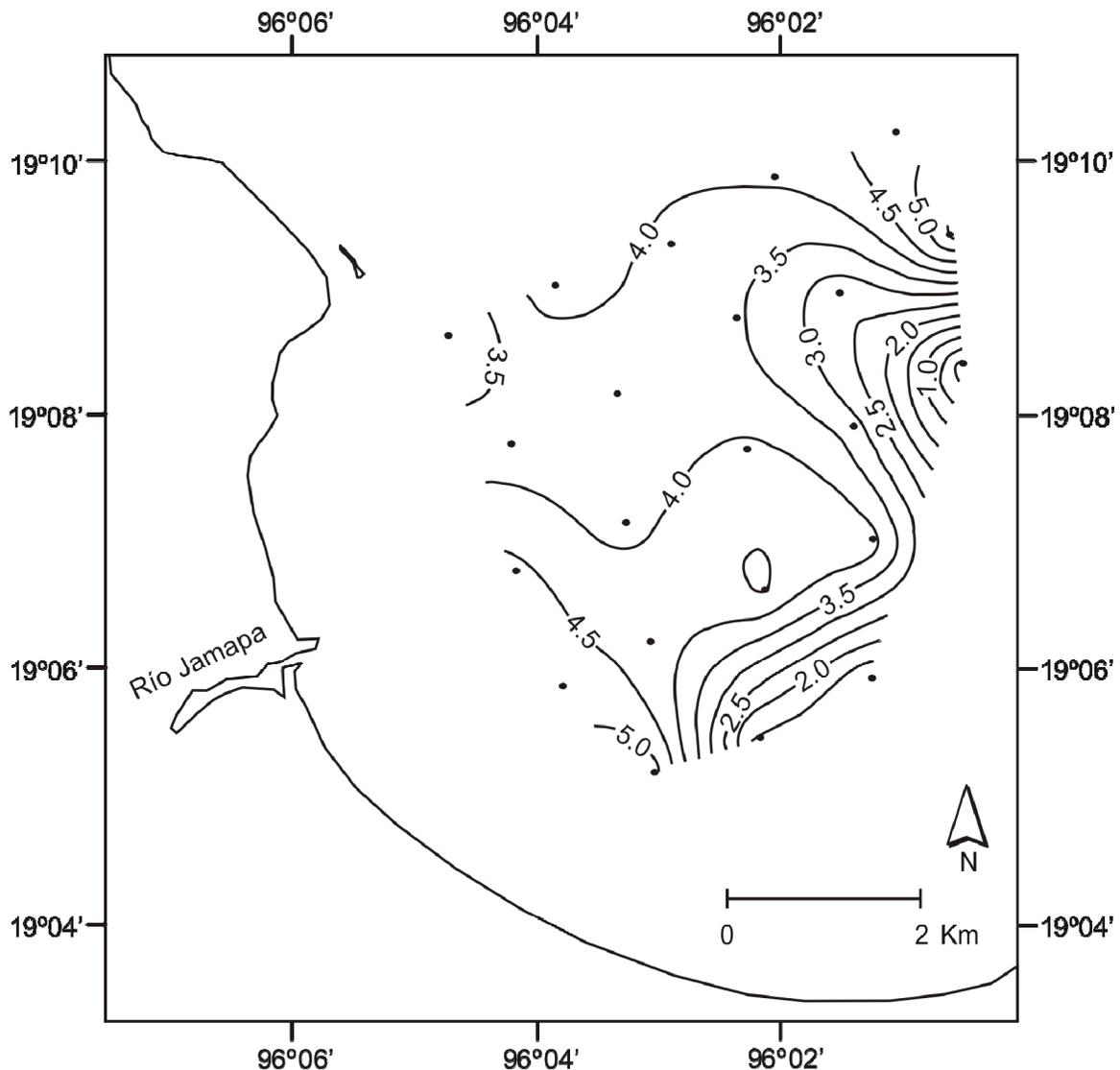


Figura 15. Distribución de tamaño gráfico promedio (Mz_ϕ).

distribuyéndose en 3 zonas diferentes: a) una al noreste del área de estudio en donde se encuentra la mayor cantidad de arcillas así como abundantes limos y arenas, b) otra frente a la desembocadura del Río Jamapa, en la que hay una baja

concentración de arcillas, abundantes limos y arenas y c) una tercera dividida en dos partes, una al sur y otra al norte del área de estudio, en la que la presencia de arcillas es casi nula, pero hay algunos limos y abundantes arenas (Fig. 16 y Fig. 17).

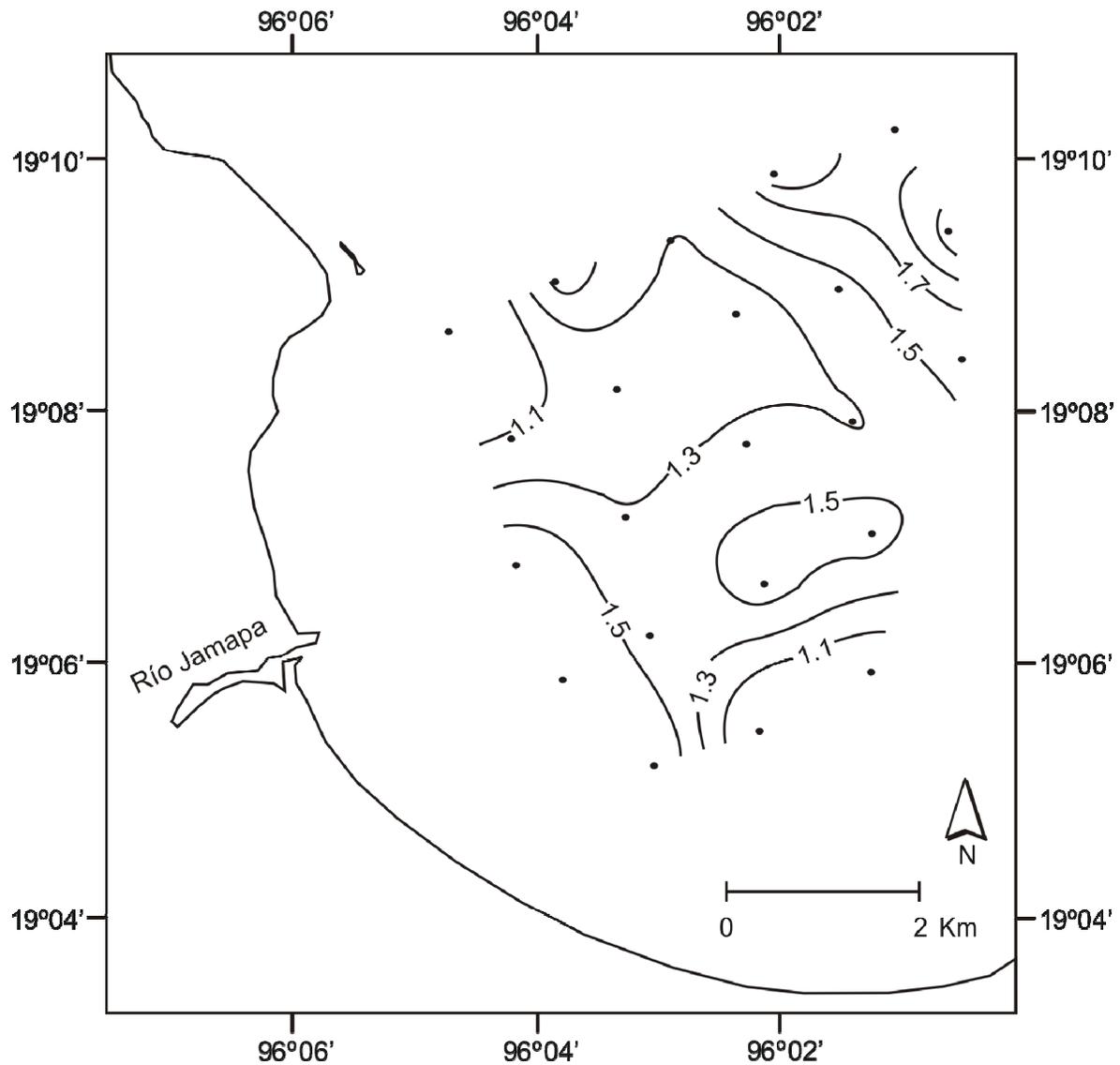


Figura 16. Distribución de la desviación estándar ($\sigma_{I\phi}$).

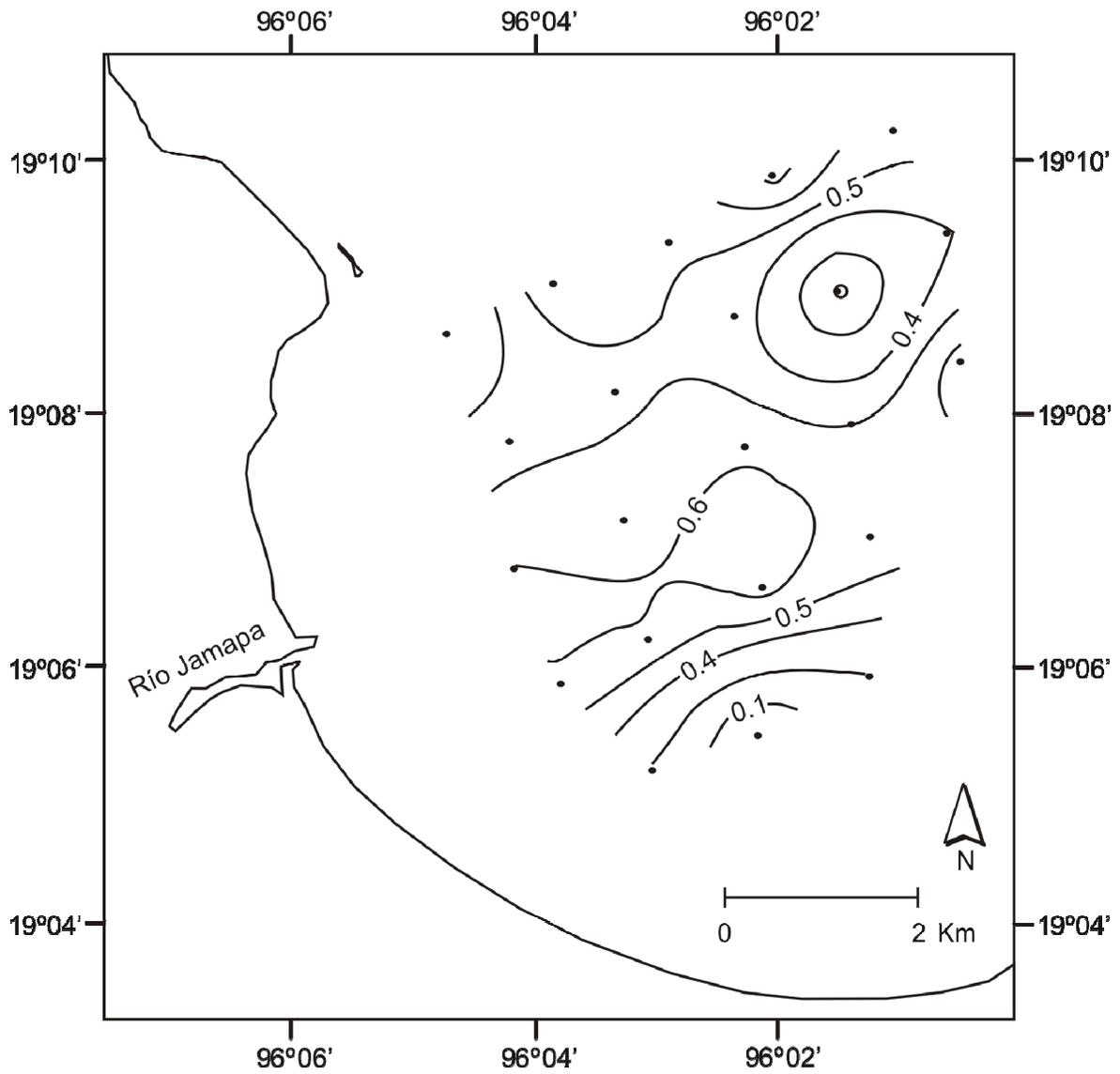


Figura 17. Distribución del grado de asimetría (Ski).

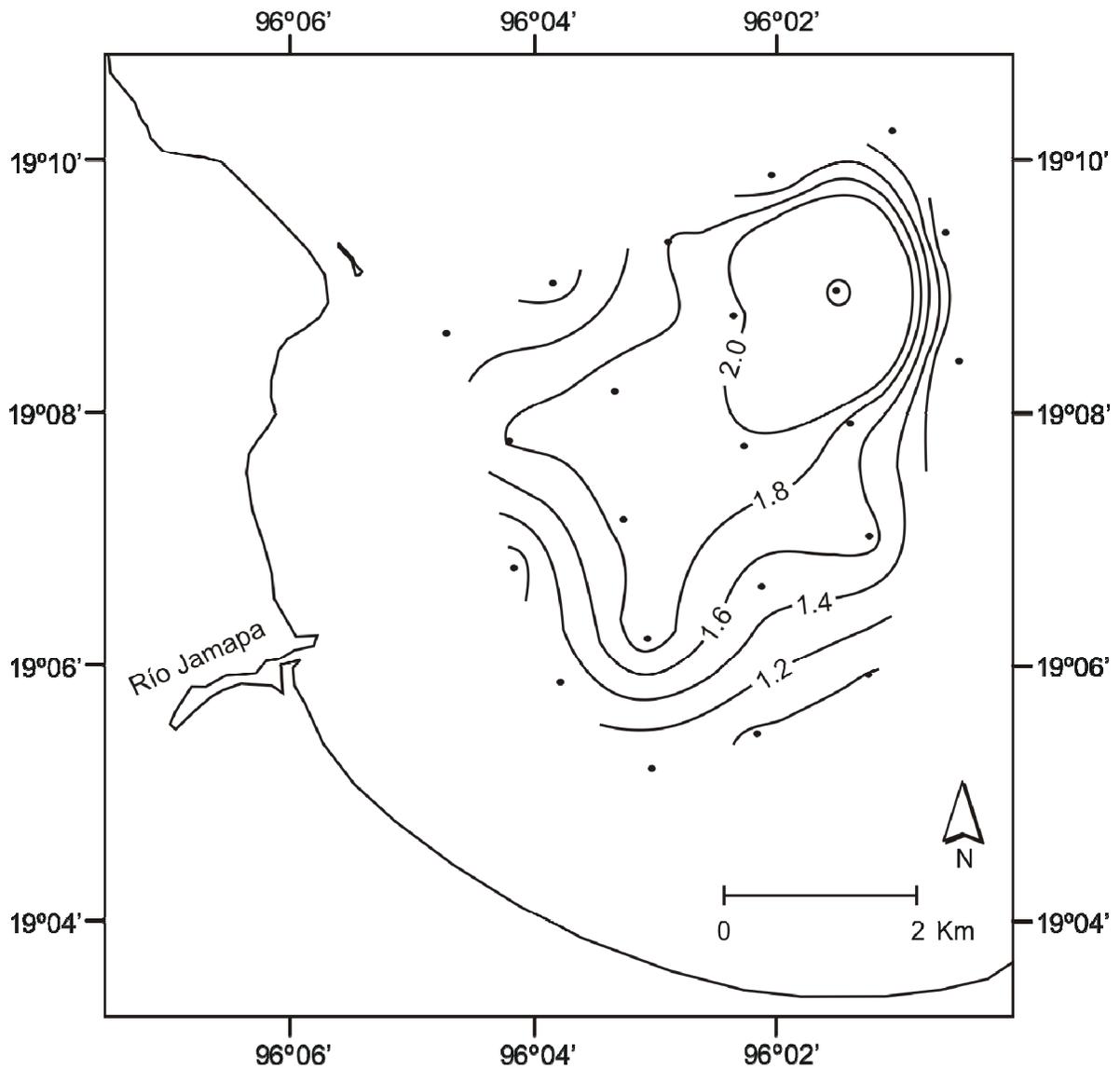


Figura 18. Distribución de la curtosis (K_G).

A lo largo del tiempo, los petrógrafos sedimentarios y sedimentólogos han buscado la manera de diferenciar los ambientes deposicionales de acuerdo con las características texturales de los sedimentos. Por ejemplo, Douglas (1946), Moss (1962) y Visher (1969) establecieron, mediante sus investigaciones en diversos ambientes sedimentarios recientes, la relación entre la textura y las condiciones hidrodinámicas presentes durante su depósito, para lo cual utilizan las curvas de distribución granulométrica de los sedimentos y así identificar

poblaciones o componentes generados por procesos de tracción, saltación y suspensión.

De acuerdo con las ideas de Visher (1969), es posible utilizar la representación de las proporciones de tracción, saltación y suspensión identificadas en la fracción arenosa, lo cual permite realizar diversas interpretaciones. Así por ejemplo, a partir de la figura 19, se observa que los procesos de transporte de los sedimentos estudiados corresponden en mayor grado con saltación y en menor grado con suspensión. Esto hace evidente la fuerte influencia que ejercen los nortes en los sedimentos de la plataforma somera. No obstante, se observaron cinco muestras (J5, J10, J12, J23 y J24) que reflejan el material grueso de origen coralino, indicando un medio de transporte por tracción.

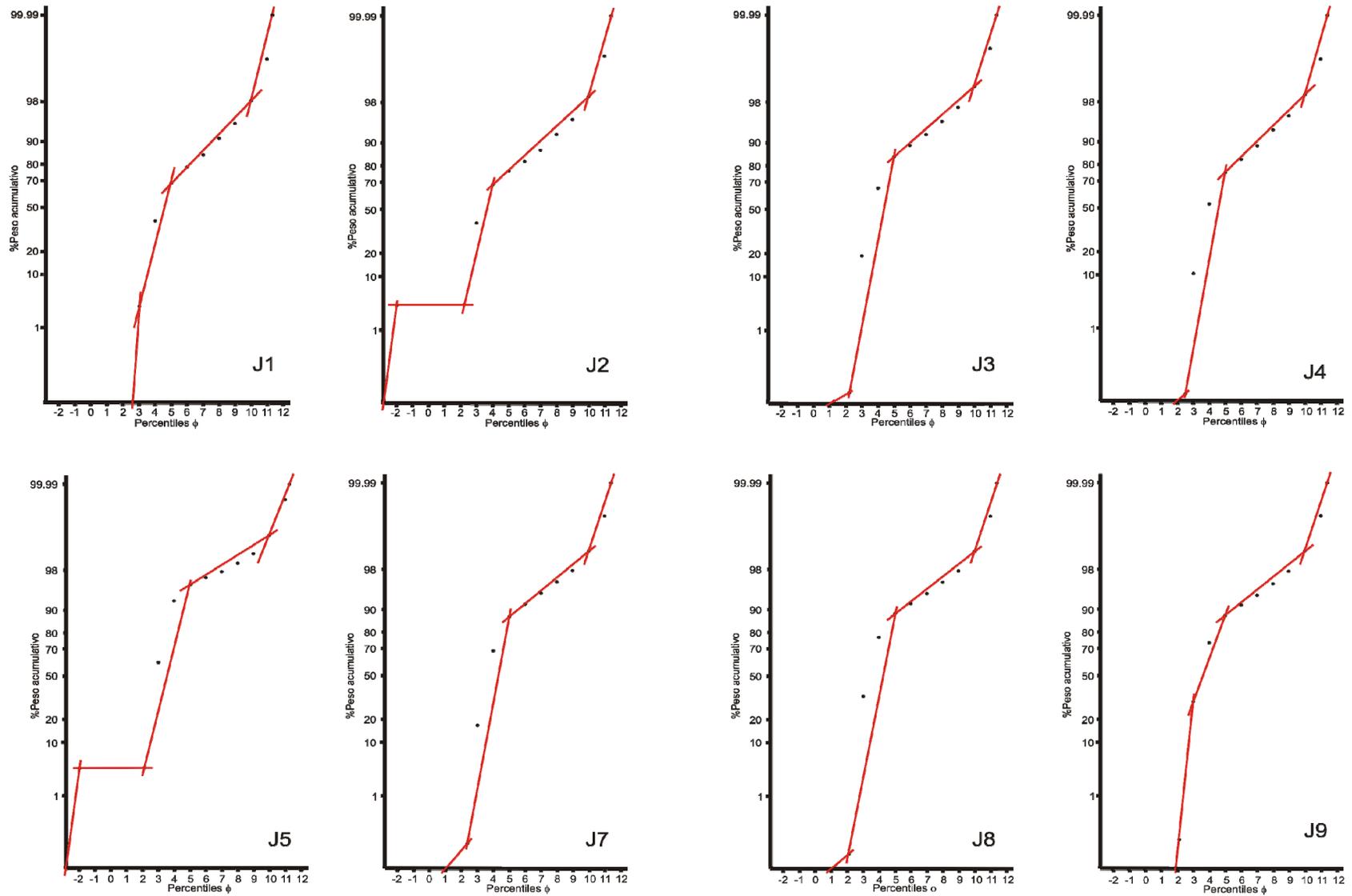


Figura 19. Curvas de porcentaje acumulativo para observar procesos de transporte del sedimento.

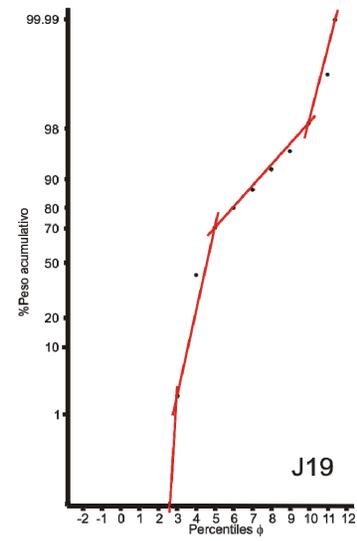
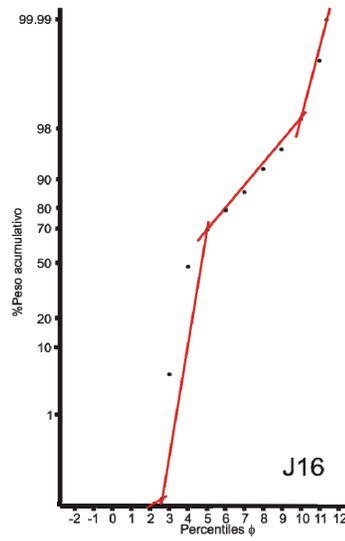
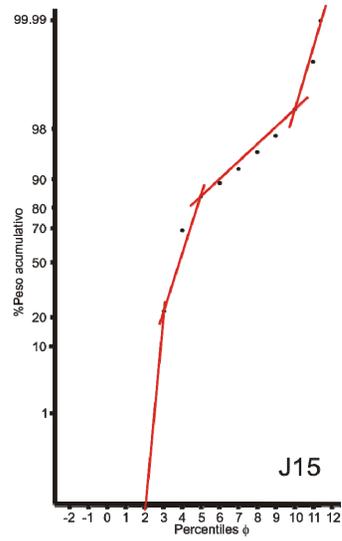
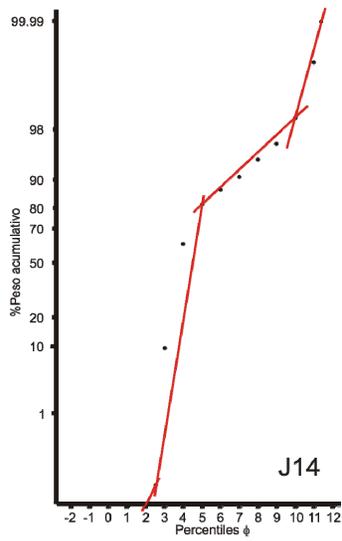
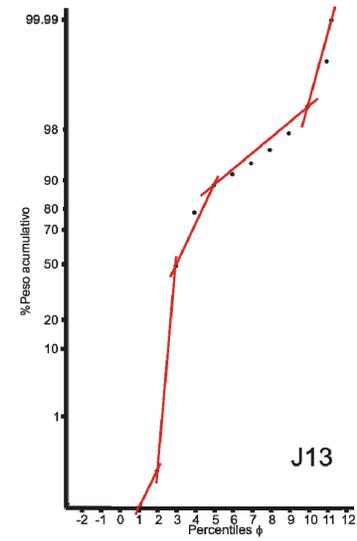
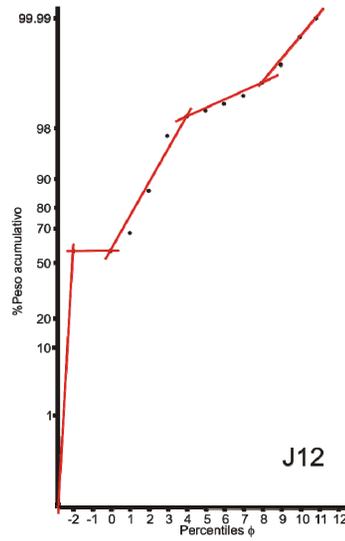
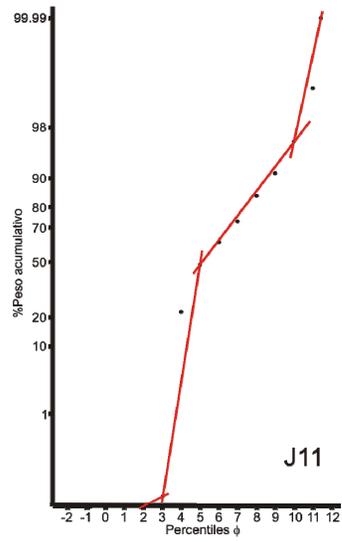
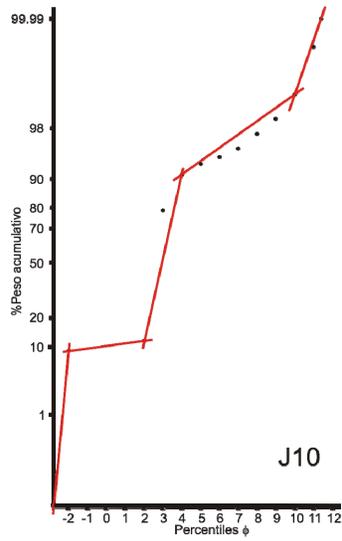


Figura 19. Continuación.

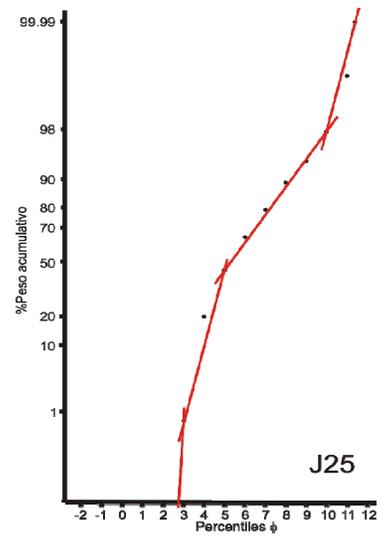
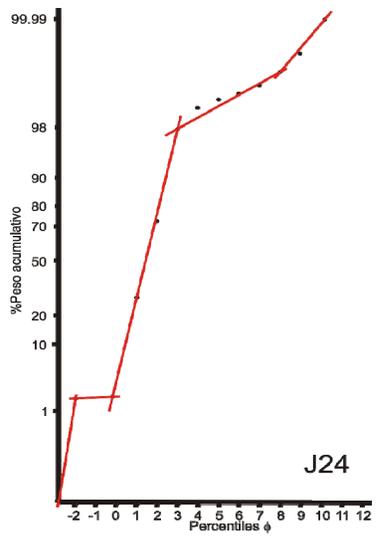
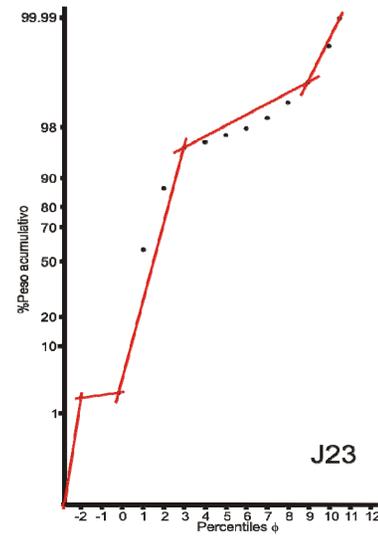
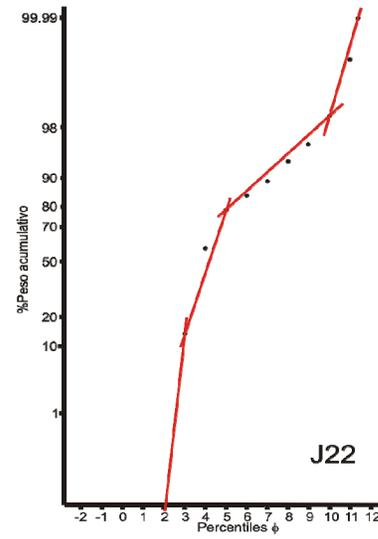
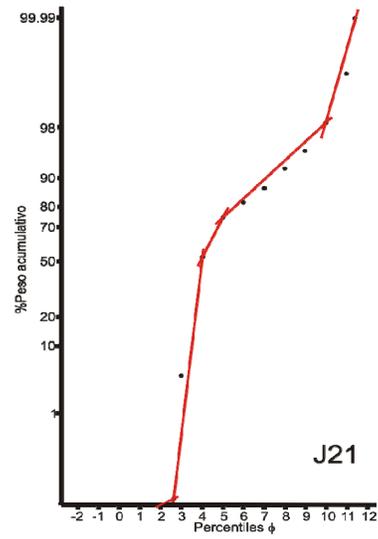
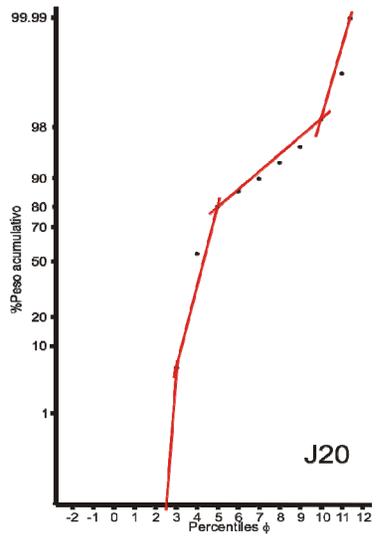


Figura 19. Continuación.

VI. PETROLOGÍA

El estudio detallado de la composición química y mineralógica de los sedimentos terrígenos y de sus rasgos texturales, así como el análisis estadístico de sus diversos componentes, se lleva a cabo actualmente a través de nuevas técnicas petrológicas, lo que hace de la Petrología una de las herramientas más importantes en el análisis de procedencia de los sedimentos (Sánchez-Zavala y Centeno-García, 2000).

Desde mediados del siglo pasado diversos autores han intentado relacionar las características de las rocas sedimentarias, particularmente de las areniscas, con el ambiente de depósito y la naturaleza de la región de procedencia.

La composición de las rocas sedimentarias terrígenas depende principalmente de cuatro factores: la fuente o procedencia del sedimento, el transporte, el ambiente de depósito y la diagénesis. Por lo general, el análisis de las rocas sedimentarias tiene como objetivo el entender uno o varios de estos factores.

Como se dijo en la metodología se utilizaron ocho campos como los más abundantes en las láminas delgadas elaboradas para la fracción arenosa, siendo en orden de abundancia los siguientes: fragmentos de rocas volcánicas, feldespatos, minerales pesados, fragmentos de rocas sedimentarias, cuarzo, biógenos, pedernal y micas (Tabla 4). Dado lo fino de las partículas analizadas, no resultó posible discriminar ni el tipo de roca volcánica ni el tipo de roca sedimentaria, los cuales se identificaron principalmente por las texturas que presentaban.

Tabla 4. Composición mineralógica de la fracción arenosa (%).

MUESTRA	FRS	M	P	FRV	F	C	MP	B	TOTAL
1	14	0	5	15	12	16	12	25	100
2	8	0	10	19	31	18	9	5	100
3	14	1	5	18	28	15	11	9	100
4	11	1	3	21	13	19	19	13	100
5	18	1	5	26	23	7	14	6	100
7	14	2	4	33	16	9	17	7	100
8	14	1	5	23	20	20	7	11	100
9	17	0	4	33	21	5	13	8	100
10	5	1	8	10	17	28	29	1	100
11	14	1	3	34	20	7	8	12	100
12	3	2	4	60	16	3	11	1	100
13	12	1	1	24	14	27	12	10	100
14	18	1	3	37	17	6	15	3	100
15	17	0	5	22	22	14	16	5	100
16	19	1	2	34	17	8	18	2	100
19	15	2	8	28	21	6	12	8	100
20	18	0	4	35	21	5	12	4	100
21	18	1	7	24	21	10	13	7	100
22	15	1	5	21	19	20	10	9	100
23	0	0	1	55	14	3	25	2	100
24	2	0	2	47	20	4	23	1	100
25	5	0	4	52	18	2	13	6	100

La abundancia de cuarzo (C) en la fracción arenosa de las muestras, varía desde 2% hasta 28% con un promedio de 11% (Tabla 4).

La distribución de cuarzo (Fig. 22a) permite inferir que la fuente del mismo se ubica al norte del área de estudio presentándose dos lengüetas con valores máximos orientados norte sur. Esto último permite inferir la influencia de los nortes que acarrean material procedente de fuentes cercanas a la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Cabe la posibilidad que estos nortes hubieran actuando en esta región en condiciones subaéreas cuando los niveles del mar eran más bajos, en cuyo caso estarían reflejando antiguos campos de dunas ahora sepultados por el mar.

El cuarzo no es muy abundante en la fracción arenosa de las muestras debido a que dentro de la región de estudio se tienen principalmente rocas calizas, andesitas y detritos arrecifales.

Observando la correlación del cuarzo con la curtosis (K_G), ésta resulta positiva (Fig. 20), lo cual apoya la posibilidad de que se trate de un paleoambiente eólico, en los cuales los sedimentos son de leptocúrticos a extremadamente leptocúrticos (Carranza-Edwards, 1980; Kasper y Carranza-Edwards, 2005).

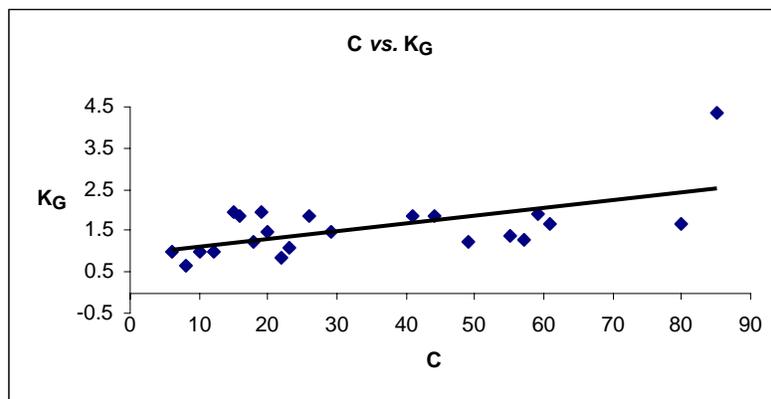


Figura 20. Correlación de cuarzo vs. curtosis.

La abundancia de feldespato (F) varía entre 12% y 31% con un promedio de 19% (Tabla 4). Las máximas concentraciones se encuentran distribuidas hacia la parte central del área de estudio (Fig. 22b), frente a la desembocadura del Río Jamapa,

lo que permite inferir que este material proviene del continente y a través de este río está siendo transportado hasta la plataforma continental.

La abundancia de feldespatos, de acuerdo con Pettijohn *et al.* (1973), está relacionada con tres factores: tipo de roca madre, intemperismo químico del área fuente y abrasión durante el transporte.

Dentro de la cuenca hidrológica están presentes rocas ígneas intermedias y félsicas entre cuyos principales constituyentes se encuentran los feldespatos, los cuales no se encuentran en abundancia debido al intemperismo y abrasión que sufrieron, pues como se ve en las figuras 3, 4 y 5, las condiciones de temperatura y humedad no son propicias para la preservación de los feldespatos.

Existe una correlación positiva entre pedernal y feldespato (Fig. 21) dado que ambos se derivan de rocas fuentes cuya naturaleza es distinta pero se encuentran muy próximas en la parte alta de la cuenca (Fig. 7).

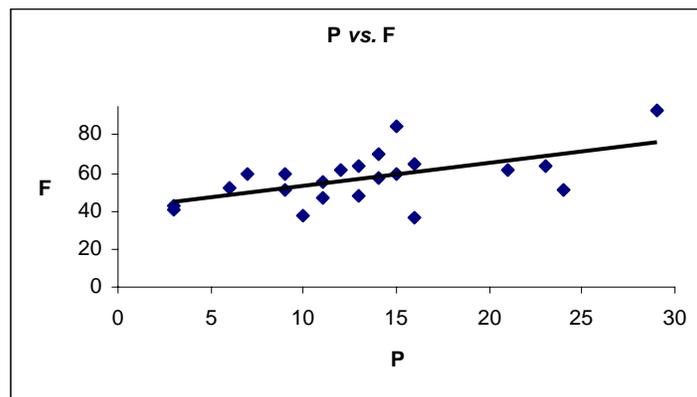


Figura 21. Correlación de pedernal vs. feldespatos.

Se presentan dos tipos de fragmentos de roca, fragmentos de rocas volcánicas (FRV) y fragmentos de rocas sedimentarias (FRS), predominando los primeros.

Estos fragmentos de rocas volcánicas presentan una abundancia que varía entre 10% y 60% con un promedio de 30% (Tabla 4) y se encuentran distribuidos mayormente en la fracción gruesa del sedimento (Fig.22c). Proceden del continente, de la región del Pico de Orizaba y son arrastrados a la plataforma

continental a través de los ríos presentes dentro de la cuenca hidrológica (Fig. 6), por lo cual se tiene un alto contenido de FRV en las muestras.

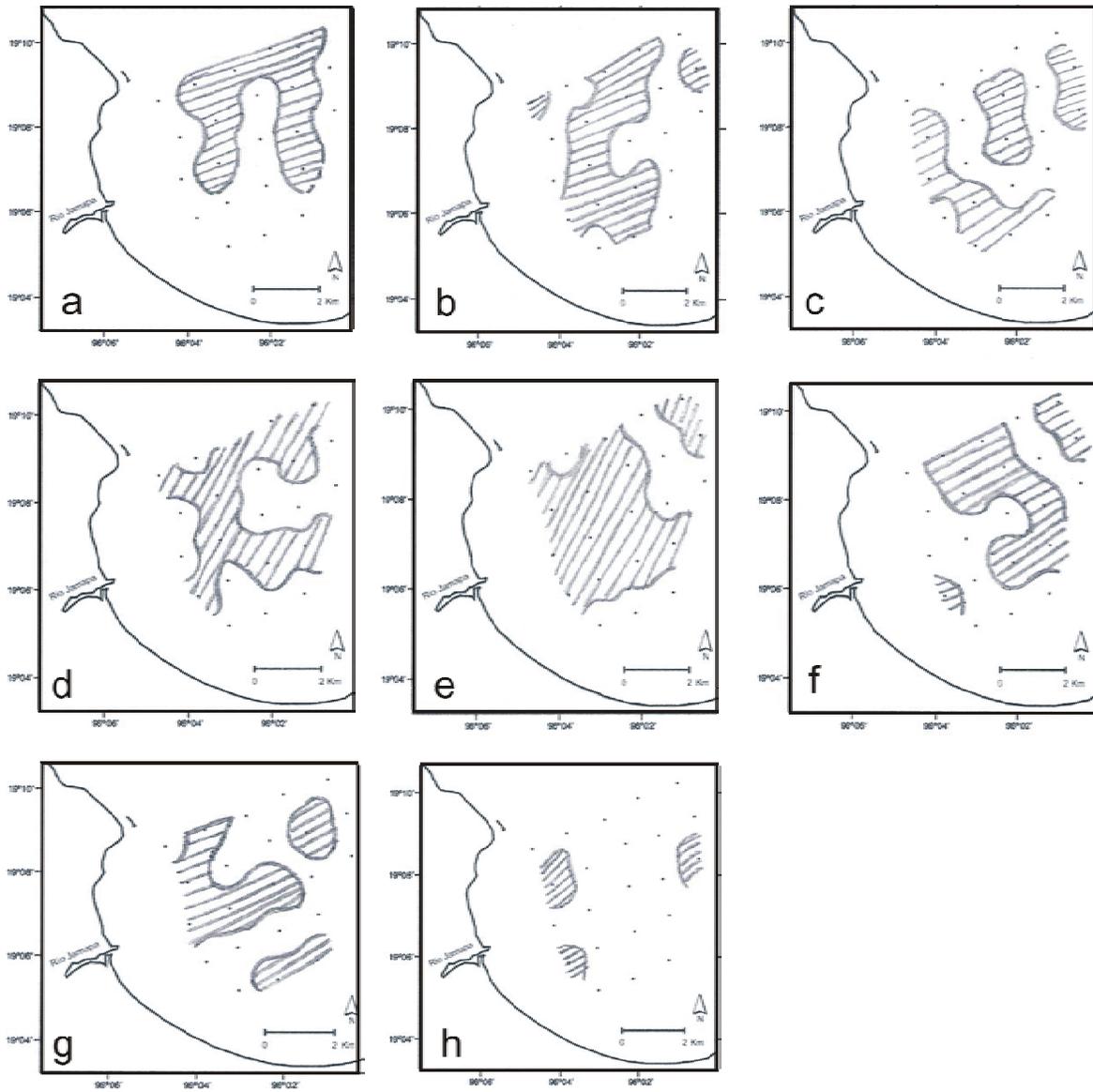


Figura 22. Distribución de los diferentes componentes petrológicos analizados. Las zonas achuradas corresponden con los valores mayores que el promedio obtenido, los cuales aparecen en la tabla 4. a) cuarzo, b) feldespatos, c) fragmentos de roca volcánica, d) pedernal, e) fragmentos de roca sedimentaria, f) biógenos, g) minerales pesados y h) micas.

De acuerdo con la Tabla 5, los FRV se correlacionan negativamente con el cuarzo y los biógenos. La correlación negativa con el cuarzo (Fig. 23) se explica tomando en cuenta que el material volcánico presente dentro de la cuenca hidrológica es en su mayoría andesítico, el cual se caracteriza por un bajo contenido de cuarzo, mientras que los biógenos no se encuentran presentes en material ígneo (Fig. 24). El origen del pedernal se determinó como sedimentario por lo que se explica que a mayor cantidad de pedernal, la presencia de FRV es menor (Tabla 5 y Fig. 25). El pedernal presenta una concentración promedio de 4% y proviene tanto del Río Jamapa como probablemente del norte de la zona de estudio (Fig. 22d) debido a la presencia de oleaje y corrientes del norte.

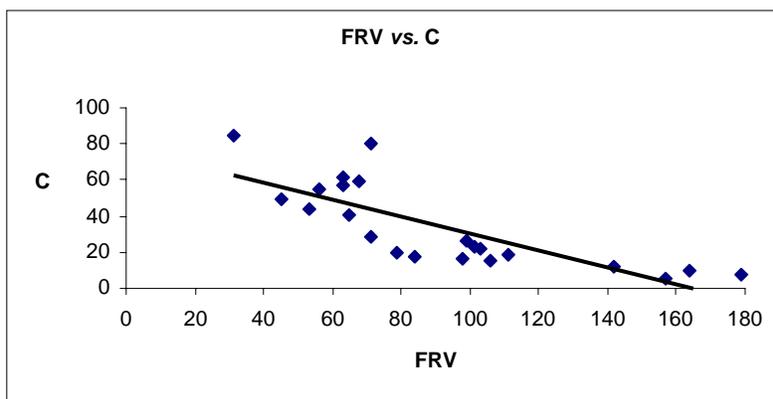


Figura 23. Correlación de FRV vs. cuarzo.

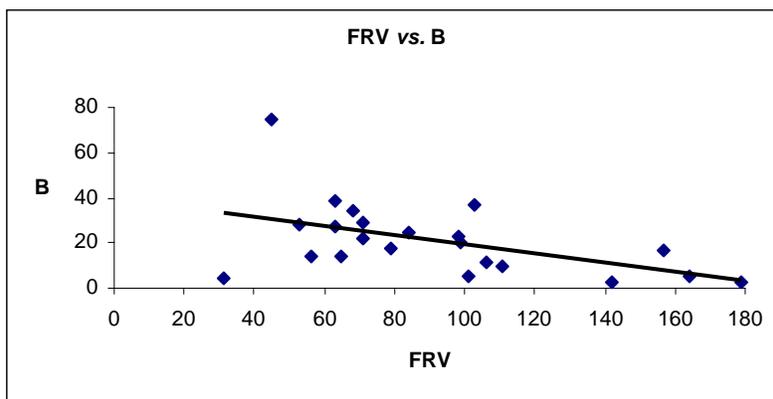


Figura 24. Correlación de FRV vs. biógenos.

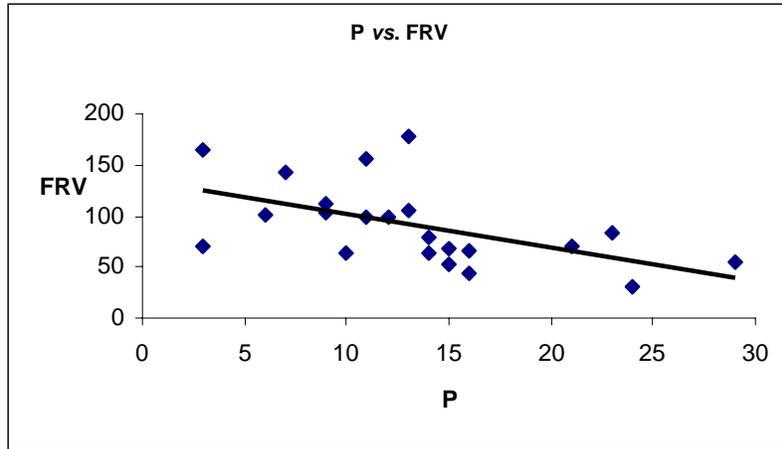


Figura 25. Correlación de pedernal vs. FRV

Los fragmentos de rocas sedimentarias (FRS) están compuestos principalmente por sedimentos autógenos y escasos fragmentos de rocas calcáreas. Se presentan con una abundancia que varía entre 0% y 19% con un promedio de 12% (Tabla 4), encontrándose principalmente en las fracciones más finas de la arena (Fig. 22e). De acuerdo con las correlaciones obtenidas (Tabla 5) para los FRS, las correlaciones entre estos y los FRV, así como los minerales pesados son inversas. Cuando los FRV abundan, el contenido de FRS decrece debido a la resistencia al intemperismo que los FRV presentan (Fig. 26). Las rocas predominantes en el área de estudio son rocas calcáreas, las cuales tienen una baja resistencia al intemperismo y en la desembocadura del Río Jamapa aparece el aluvión.

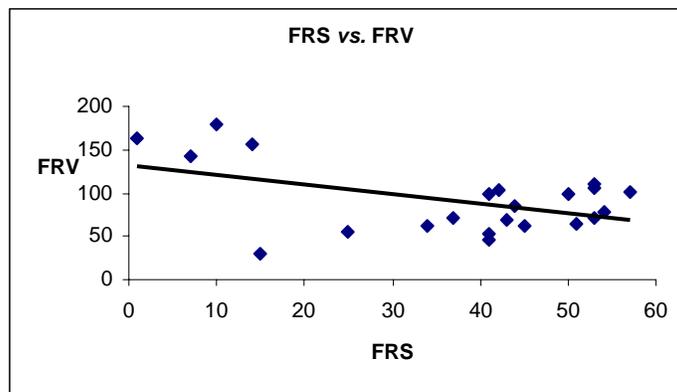


Figura 26. Correlación de FRS vs. FRV

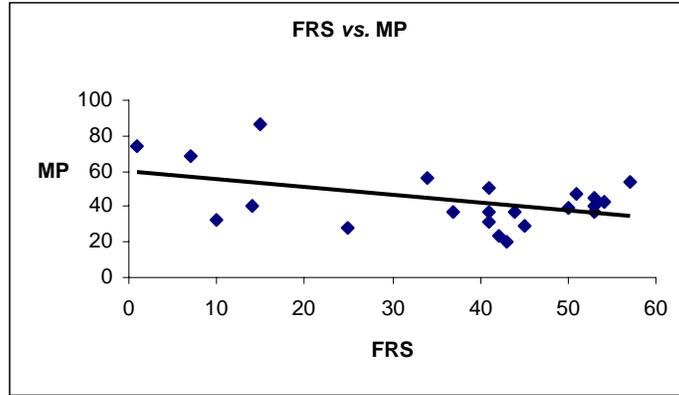


Figura 27. Correlación de FRS vs. minerales pesados.

Así mismo, de acuerdo con las correlaciones obtenidas (Tabla 5) para los FRS en relación con Mz_ϕ y SkI , los FRS tienden a ser más abundantes entre más finas son las partículas de sedimento (Fig. 28 y Fig. 29), mientras que los FRV tienden a ser más abundantes cuando el tamaño de la partícula de sedimento es mayor (Fig. 30).

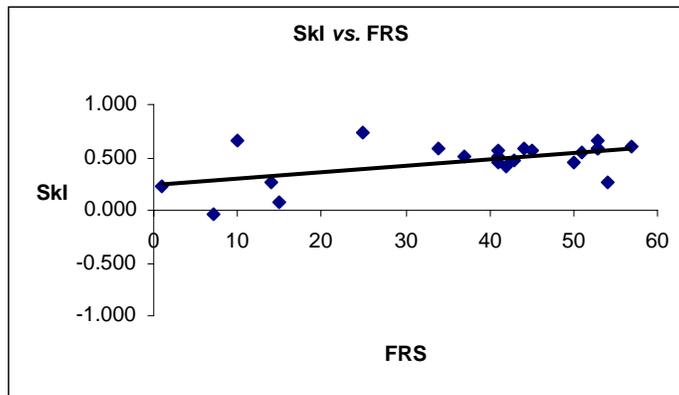


Figura 28. Correlación de SkI vs. FRS.

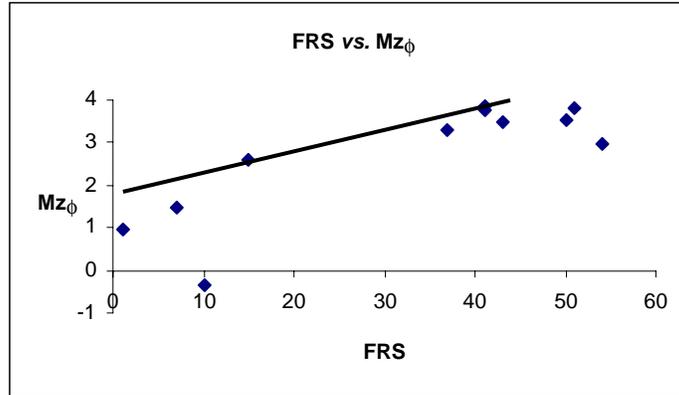


Figura 29. Correlación de FRS vs. $Mz\phi$.

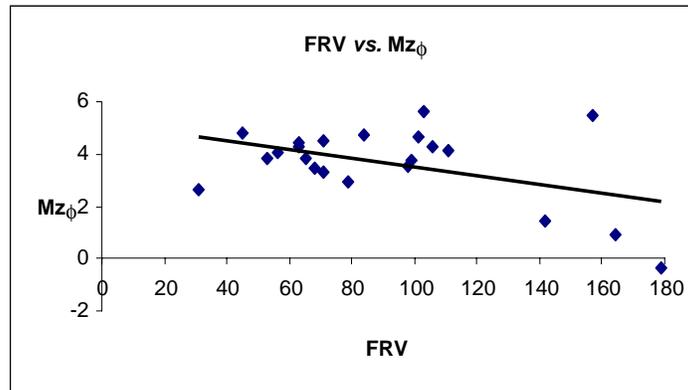


Figura 30. Correlación de FRV vs. $Mz\phi$.

De la misma manera, la presencia de biógenos es mayor en sedimentos más finos que en sedimentos gruesos (Fig. 31), distribuyéndose principalmente en la parte central de la zona de estudio (Fig. 22f). Estos biógenos se desplazan del norte hacia el sur del área de estudio y su abundancia se reduce en presencia de minerales pesados (Fig. 32).

Los minerales pesados forman el tercer grupo más abundante en las muestras de sedimento (Tabla 4) con un promedio de 15% y tienden a encontrarse en la fracción gruesa del sedimento, como se observa en la figura 22g, donde la mayor abundancia se ve asociada con la desembocadura del Río Jamapa.

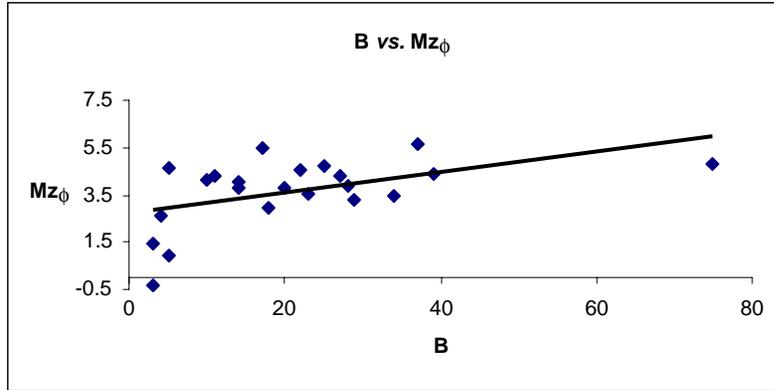


Figura 31. Correlación de biógenos vs. $Mz\phi$.

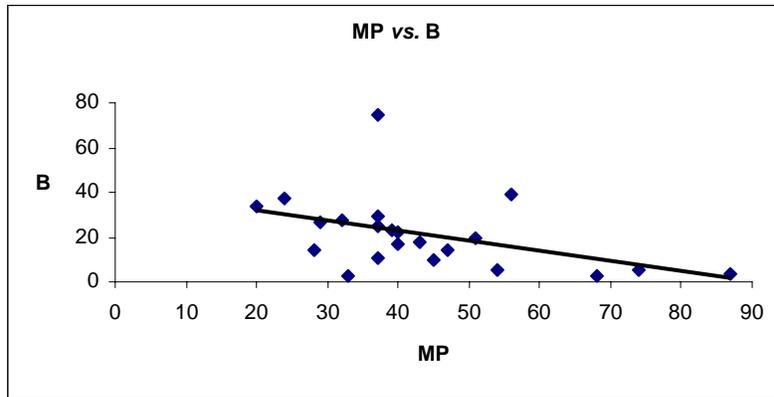


Figura 32. Correlación de minerales pesados vs. biógenos.

Tabla 5. Matriz de correlación mineralógica y de parámetros texturales analizados en la fracción arenosa de las muestras. n= 22; nivel de significancia del 95%; valores mayores a 0.423.

	FRS	M	P	FRV	F	C	MP	B	Mz _φ	σ _{Iφ}	Skl	K _G
FRS	1.000	0.054	0.091	-0.485	0.186	0.056	-0.454	0.308	0.606	0.098	0.530	0.087
M		1.000	0.065	0.043	-0.185	0.033	-0.121	-0.067	-0.137	0.157	0.198	0.008
P			1.000	-0.537	0.562	0.297	-0.172	0.074	0.192	0.340	0.260	0.376
FRV				1.000	-0.229	-0.794	0.116	-0.491	-0.458	-0.169	-0.228	-0.566
F					1.000	-0.062	-0.367	-0.227	0.151	0.008	0.140	0.036
C						1.000	0.023	0.337	0.127	0.151	0.079	0.590
MP							1.000	-0.447	-0.395	-0.370	-0.638	0.402
B								1.000	0.502	0.299	0.278	-0.148
Mz _φ									1.000	0.564	0.333	0.004
σ _{Iφ}										1.000	0.543	-0.129
Skl											1.000	-0.261
K _G												1.000

Se normalizaron los tres componentes; cuarzo, feldespato y fragmentos de roca (C+F+FR) del conteo de granos de la fracción arenosa mostrados en la Tabla 5 y se utilizaron para graficar C:F:FR en un diagrama ternario como la composición mineral principal (Fig. 30).

Tabla 6. Porcentajes de cuarzo-feldespato-fragmentos de roca presentes en la fracción arenosa.

LÁMINA	%C	%F	%FR
1	28	22	50
2	24	41	35
3	20	38	42
4	30	20	51
5	9	31	60
7	12	22	66
8	26	26	48
9	7	27	65
10	47	28	25
11	10	26	64
12	3	20	77
13	35	18	47
14	8	22	70
15	18	29	52
16	10	22	68
19	9	30	61
20	6	27	67
21	13	29	58
22	27	25	48
23	5	20	76
24	5	27	67
25	3	24	74

Los sedimentos caen dentro de los campos de litarenita feldespática, litarenita, y felsarenita lítica; sin embargo, de acuerdo con el diagrama ternario (Fig. 33), el campo en el que caen la mayoría de las muestras corresponde con el de litarenita feldespática.

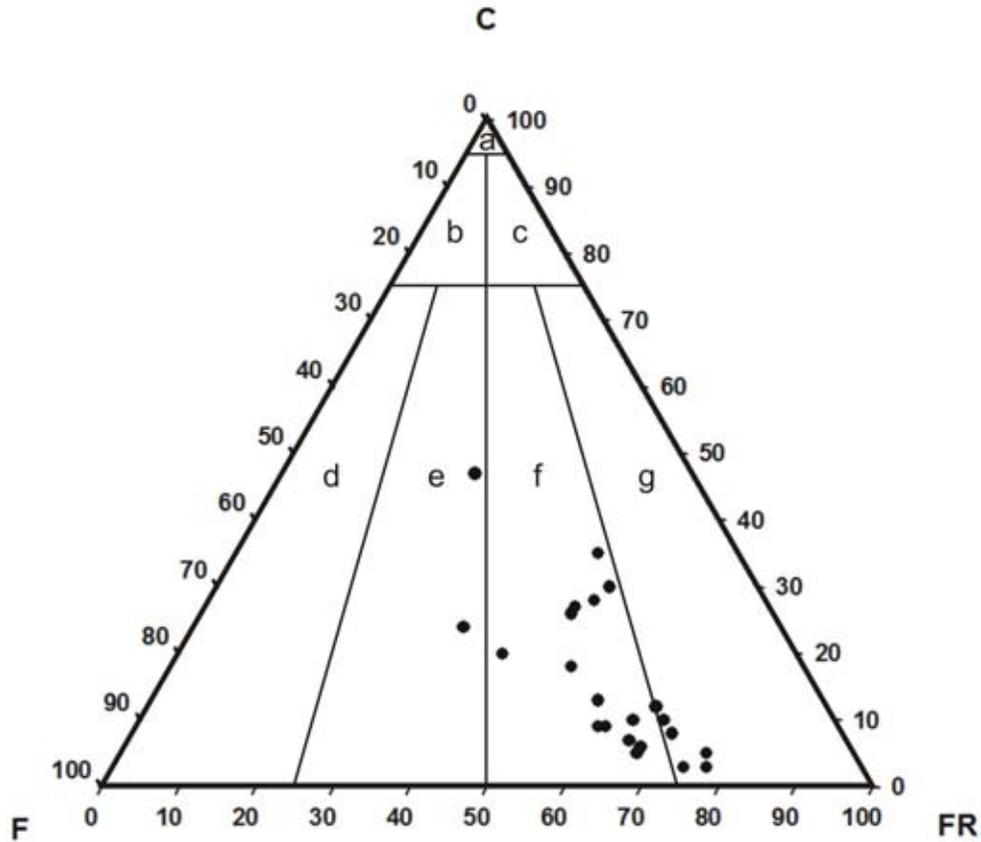


Figura 33. Diagrama ternario de Folk en el que se representan las muestras de la fracción arenosa, que corresponden con: a) cuarzoarenita, b) subarcosa, c) sublitarenita, d) arcosa, e) arcosa lítica, f) litarenita feldespática y g) litarenita.

De acuerdo con Pettijohn (1975), se calculó el índice de procedencia de la fracción arenosa de cada muestra (Tabla 7), obteniéndose valores bajos que nos indican que el sedimento tiene una procedencia supracortical (dominancia de fragmentos de rocas volcánicas y sedimentarias), siendo los fragmentos de rocas volcánicas los más abundantes.

Tabla 7. Índice de procedencia
de la fracción arenosa.

MUESTRA	IP
1	0.43
2	1.15
3	0.90
4	0.39
5	0.53
7	0.34
8	0.53
9	0.42
10	1.11
11	0.41
12	0.25
13	0.38
14	0.31
15	0.56
16	0.33
19	0.50
20	0.40
21	0.50
22	0.53
23	0.26
24	0.40
25	0.32

VII. CONCLUSIONES

Geomorfología

En las isobatas de 26 y 27 m se observa una interrupción en el paralelismo de las isobatas, la cual por su forma parecida a la línea de costa actual y de acuerdo con otros estudios relacionados con elevaciones bruscas del nivel del mar, podrían representar una antigua línea de costa.

Se infiere que los nortes presentes en esta área del Golfo de México afectan la distribución del sedimento, ya que el sedimento viaja en la dirección dominante del transporte litoral, es decir, en dirección norte-sur.

El antiguo delta que aparece marcado en la carta de la Secretaría de Marina, de acuerdo con la batimetría realizada en este trabajo, ha desaparecido, posiblemente debido a la retención de sedimento que las 11 presas emplazadas a lo largo de la cuenca hidrológica del Río Jamapa llevan a cabo.

Análisis textural

Las concentraciones de gravas que contienen algunas muestras corresponden a restos de organismos y conchas cuya presencia se explica por la proximidad que hay entre la zona de muestreo y los diversos arrecifes del SAV; así mismo, la Laguna de Mandinga es un aportador potencial de restos de moluscos.

Las arenas se encuentran distribuidas en las zonas cercanas a los arrecifes y son distribuidas tanto por las *suradas* como por los vientos del norte, los cuales a su vez remueven el sedimento fino depositado en la superficie y dejan al descubierto el sedimento arenoso depositado anteriormente.

Los sedimentos terrígenos finos aparecen en una concentración relativamente importante.

Frente a la desembocadura del Río Jamapa se encuentran distribuidos sedimentos lodosos, los cuales impiden el crecimiento de arrecifes en esta zona, debido a que los sedimentos finos crean condiciones de agua turbia, mientras que los arrecifes requieren aguas limpias para su formación y preservación.

Otro factor potencial que amenaza el estado de los arrecifes, podrían ser las aguas municipales, dependiendo de su tratamiento.

Un factor que contribuye al aporte de sedimentos finos y turbios es la retención de sedimentos más gruesos en las presas de la cuenca del Río Jamapa.

El sedimento arcilloso se concentra en dos zonas, al noreste, en la parte más profunda del área de estudio en donde el tirante de agua es mayor, lo cual permite el depósito de material más fino y al suroeste en donde existe una mayor influencia de las corrientes litorales.

El sedimento refleja la influencia fluvial que los grandes ríos del área tienen en el aporte de sedimento hacia la plataforma continental somera y que se transporta principalmente mediante el mecanismo de saltación.

Petrología

El cuarzo, debido a las características litológicas de la zona no se encuentra distribuido ampliamente.

Las mayores concentraciones de feldespatos se encuentran frente a la desembocadura del Río Jamapa, lo cual sugiere que este río es el principal aportador. Se observa también que las máximas concentraciones de feldespatos coinciden con las máximas concentraciones de arcillas.

En los puntos donde se encuentran sedimentos más gruesos hay mayor abundancia de fragmentos de rocas volcánicas mientras que entre más fino es el sedimento, se encuentran mayor cantidad de fragmentos de rocas sedimentarias.

Debido a las condiciones de temperatura y humedad presentes en la zona, los fragmentos de rocas sedimentarias se intemperizan más rápido que los fragmentos de rocas volcánicas por lo que entre mayor sea la abundancia de fragmentos de rocas volcánicas menor será la abundancia de fragmentos de rocas sedimentarias.

Los biógenos se encuentran asociados con sedimentos finos y no son tan abundantes en presencia de minerales pesados.

La mayoría de las muestras corresponden con litarenitas feldespáticas.

Así mismo, el sedimento refleja su origen supracortical (FRV>FRS), y la ausencia de fragmentos de rocas plutónicas y metamórficas hace evidente que la procedencia de emplazamiento profundo no tiene lugar en esta área.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, C. J. y R. Trápaga, 1996. Geodinámica de México y minerales del mar. 1ª ed. Fondo de Cultura Económica, México.

Aguayo, C. J., 2004. Neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México dentro del marco tectono-estratigráfico regional evolutivo del sur de México. Ingeniería, Investigación y Tecnología (1).

Álvarez Jr. M., 1962, Provincias fisiográficas de la República Mexicana. Bol. Soc. Geol. Mex., 24(2):3-20.

Álvarez-Rivera, U., L. Rosales-Hoz y A. Carranza-Edwards, 1986. Heavy metals in Blanco River sediments, Veracruz, Mexico. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 13(2):1-10.

Ayala-Castañares, A. y M. Gutiérrez-Estrada, 1990. Morfología y sedimentos superficiales de la plataforma continental frente a Tabasco y Campeche, México. An. Insti. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 17(2):163-190.

Benavides, G. L., 1956. Notas sobre la geología petrolera de México: Descripción de las provincias petroleras. XX Congreso geológico internacional, México, p. 350-562.

Blanchon, P. y L. Montaggioni, 2003. Impact of rapid sea level and climate change on late Quaternary reef development. Sedimentary Geology. 159(2003):1-3

Cabrera-Ramírez, M. A. y A. Carranza-Edwards, 2002. The beach environment in Mexico as a potencial source of placer minerals. Marine Georesources and Geotechnology. 20:187-198

Cabrera-Ramírez, M. A., 2003, Estudio de sedimentos del ambiente de plataforma frente al Río Pánuco. Tesis de Maestría del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 94 p.

Cárdenas-Vargas, J. *et al.*, 1994, Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz. Consejo de Recursos Minerales. México, 123 p.

Carranza-Edwards, A., M. Gutiérrez y R. Rodríguez, 1975, Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 2(1):81-88.

Carranza-Edwards, A., 1980, Ambientes sedimentarios recientes de la llanura costera sur del Istmo de Tehuantepec., An. Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 7(2):13-66.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y S. S. Pérez, 1995. A reconnaissance study of carbonates in Mexican Beach sands. *Sedimentary Geology*. 101:261-268.

Carranza-Edwards, A., 1997. La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales. *Actas INAGEQ*, 3:235-243.

Carranza-Edwards, A., 1997. Riesgos geológicos en el ambiente marino. Foro Nacional Prevención de riesgos y vulnerabilidad en los asentamientos humanos.

Carranza-Edwards, A., E. Centeno, L. Rosales-Hoz y R. Lozano, 2001, Provenance of beach gray sands from western Mexico. *Journal of South American Earth Science*. 14(2001):291-305.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, J. Urrutia-Fucugauchi, A. Sandoval-Fortanel, E. Morales-de la Garza y R. Lozano-Santa Cruz., 2005. *Geochemical*

distribution pattern of sediments in an active continental shelf in Southern Mexico. *Continental Shelf Research*. 25(2005):521-537.

Davies, D. K. y M. R, Facundus, 1971. Mineralogy, petrography and derivation of sands and silts of the continental slope, rise and abyssal plain of the Gulf of Mexico. U.S. Geol. Survey. Contributions of the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Chapter 2.

Douglas, D.J., 1946. Interpretation of the results of mechanical analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*. 16(1):19-40.

Enkerlin, A. P., G. Cano, R. A. Garza y E. Vogel, 1997. *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. Internacional Thomson Editores. México, 690p.

Folk, R. L, 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.

Galavíz-Solís, A., M. Gutiérrez-Estrada y A. Castro del Río, 1986. *Morfología, sedimentos e hidrodinámica de las lagunas Dos Bocas y Mecoacán, Tabasco, México*. ICMYL, UNAM. Contribución 515.

García E., 1990. *Regiones climáticas, Atlas Nacional de México*. Instituto de Geografía, UNAM.

Kasper-Zubillaga, J.J., A. Carranza-Edwards y L. Rosales-Hoz, 1999. Petrography and geochemistry of Holocene sands in the western Gulf of Mexico: Implications for provenance and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research*. 69(5):1003-1010.

Kasper-Zubillaga, J.J. y W. W. Dickinson, 2001. Discriminating depositional environments of sands from modern source terrones using modal analysis. *Sedimentary Geology* 143:149-167.

Kasper-Zubillaga, J.J. y A. Carranza-Edwards, 2005. Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwest Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3):383-390.

Inman, D. J. y C. E. Nordstram, 1971, On the tectonic and morphologic classification of coast. *Journal Geology*, 70(1):1-21.

Jiménez-Román, A. y L. E. Maderrey-Rascón, 1990. Escurrimiento medio anual, Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM.

Lecuanda-Camacho, R., 1993. Un triángulo para la representación poblacional e interpretación genética de los sedimentos arenosos. *Ciencias Marinas*. 19(1):1-14.

Lugo-Hubp, J., 1990. El relieve de la República Mexicana. *Revista del Instituto de Geología*, UNAM, 9(1):82-111.

Méndez-Ubach, M. N., Sous-Weiss, V y A. Carranza-Edwards, 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del Estado de Veracruz, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM. pp. 45-56.

Morales, G. E. y A. Carranza-Edwards, 2000. Procedimiento recomendable para analizar la granulometría de sedimentos lodosos: Ejemplo para una porción del sur del Golfo de México. *Hidrobiológica*.

Moss, A. J., 1962. The physical nature of common sandy and pebbly deposits. Part I. *American Journal of Science*. 260(5):337-373.

Munsell Color Company, 1975. Munsell Soil Color Charts. Munsell Color Company Inc., Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore MD USA, 34 p.

Ortega, G. F., et al., 1992, Texto explicativo de la Carta Geológica de la República Mexicana. 5ª edición. Escala 1:2'000,000.

Pettijohn, F. J., P. E., Potter, y R., Siever, 1973. Sand and sandstone. New York, Springer, 618p.

Pettijohn, F. J., 1975. Sedimentary Rocks. Harper and Row Publishers, New York.

Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y U. Álvarez-Rivera, 1985. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River Mexico. An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 13(3):263-272.

Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Santiago y E. Morales, 2005. Spatial trends in the geochemical composition of sediments in the Panuco River discharge area, Gulf of Mexico. Environmental Geology. 48:496-506.

Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y O. Celis-Hernández, 2007. Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. Bull Environ Contam Toxicol. 78:353-357.

Sánchez, G. P, A. Yáñez, J. Ramírez, J. W. Day y P. H. Templet, 2004. Some socio-economic indicators in the Mexican states of the Gulf of Mexico. Ocean & Coastal Management. 47(2004):581-596.

Secretaría de Marina, 1998. Carta Veracruz a Puerto de Alvarado (S.M. 822), Escala 1:60,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2005. Carta Geológico-Minera Estado de Veracruz. 1ª edición. Escala 1:500,000.

Servicio Geológico Mexicano, 2007. Texto explicativo de la carta geológica de México. 6ª edición. Escala 1:2'000,000.

Shepard, F. P., 1973, Submarine geology. 2nd Edition. Harper & Row. New York.

Tamayo J. L., 1991, Geografía moderna de México. 10º ed, Trillas, México, 400p.

Tapia-García, M., M. C. García-Abad, A. Carranza-Edwards y F. Vázquez-Gutiérrez, 2007. Environmental characterization of the continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Geofísica Internacional*. 46(4):249-260.

Vidal-Zepeda, R., 1990. Precipitación media anual y su probabilidad, Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM.

Vidal-Zepeda, R., 1990. Temperatura media, Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM.

Villanueva, F. S. y A. Botello, 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe mexicano, una revisión. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*. 8(1):47-61.

Visher, G. S., 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*. 39(3):1074-1106.

Yáñez-Arancibia, A. A. y J. W. Day, 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management*. 47(2004):727-757.

Referencias electrónicas:

CONANP, 2004. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

<http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/33.pdf>

CSVA, 2006. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua.

http://www.csva.gob.mx/sih/proyecto_2/pag_proyecto_img_visor.php?xregion=5&xtematica=6

GEV, 2008. Gobierno del Estado de Veracruz.

http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=313,4308823&_dad=portal&_schema=PORTAL

GEV, 2008. Gobierno del Estado de Veracruz.

http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=313,4308768&_dad=portal&_schema=PORTAL

GEV, 2008. Gobierno del Estado de Veracruz.

http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=313,4308671&_dad=portal&_schema=PORTAL

INEGI, 2008. Instituto Nacional de Geografía e Informática.

<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/ver/fisio.cfm?c=444&e=12>

INEGI, 2008. Instituto Nacional de Geografía e Informática.

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/ver/rh.cfm?c=444&e=30>

Mora R. J., 2004. El problema de la basura en México. Editado por la Fundación Adolfo Christlieb Ibarrola.

<http://www.fundacion-christlieb.org.mx/estudios/estudio30.pdf>

Ovalles-Viani, Francisco, 2003. El color del suelo: definiciones e interpretación CENIAP HOY no. 3, Venezuela.

<http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n3/texto/fovalles.htm>

Pereyra-Díaz, D. y A. Pérez Sesma, 2007.

<http://www.ine.gob.mx/cclimatico/descargas/pdf/6.pdf>

SAGARPA, 2003. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

<http://www.sagarpa.gob.mx/dlq/veracruz/informacion/carfiscasddr7g.htm>

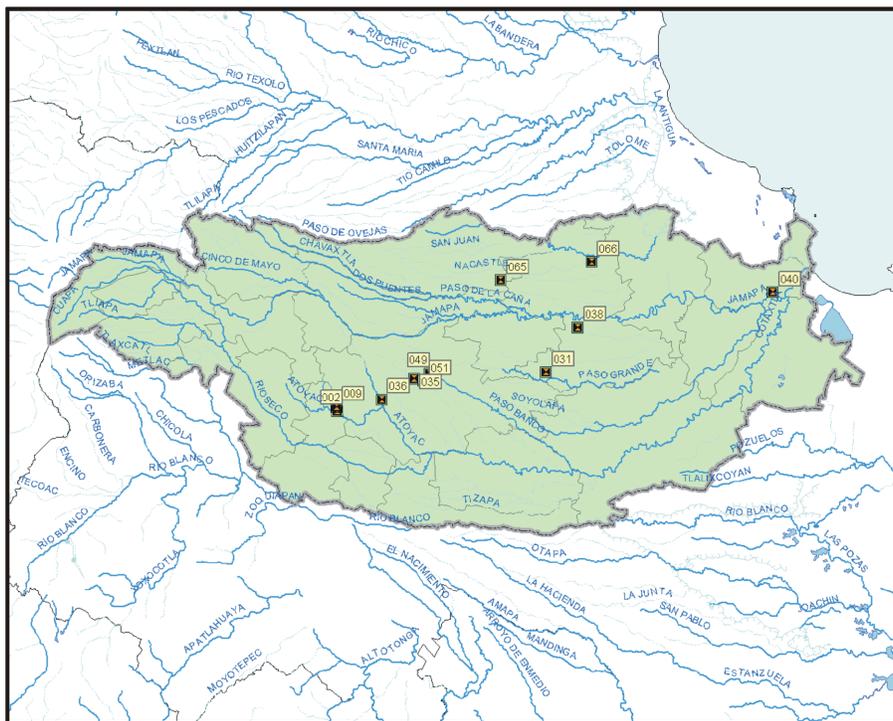
Sánchez-Zavala, J. L. y E. Centeno-García, 2000, Técnicas y aplicaciones del estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica. Instituto de Geología, UNAM.

http://www.geologia.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=709&Itemid=434

SEDESOL, 2006. Atlas de riesgos naturales para el municipio de Boca del Río, Veracruz. Secretaría de Desarrollo Social.

[http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=153,4196499&_dad=portal&_sc_hema=PORTAL&_cfgFile=demo&_origQuery=&Veracruz=Ciudadano&_sortDir=&_sortField=&_score=&_arSrch=&_PagPrincipal=&_userQuery="atlas%20de%20riesgos%20naturales"](http://portal.veracruz.gob.mx/portal/page?_pageid=153,4196499&_dad=portal&_sc_hema=PORTAL&_cfgFile=demo&_origQuery=&Veracruz=Ciudadano&_sortDir=&_sortField=&_score=&_arSrch=&_PagPrincipal=&_userQuery=)

ANEXOS



Anexo 1. Ubicación de las 11 presas localizadas dentro de la cuenca hidrológica del Río Jamapa.

Clave	Nombre	Municipio
002	Alfredo V. Bonfil	Atoyac
009	Santa Anita	Atoyac
031	Loma Triste	Soledad de Doblado
035	Mata de Gallo	Paso del Macho
036	El Chiquihuite	Paso del Macho
038	La Oaxaquilla	Soledad de Doblado
040	El Tejar	Medellín
049	Los Limos	Paso del Macho
051	Hermanos Calderón	Paso del Macho
065	San Francisco Nacastle	Comapa
066	Espinal Santa Bárbara	Soledad de Doblado