



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

CARACTERIZACIÓN DE SUBAMBIENTES SEDIMENTARIOS

DE LA LAGUNA SANTA MARÍA LA REFORMA, SIN.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

PRESENTA

MARCO AURELIO ZARATE CASTILLO

TUTOR PRINCIPAL

DR. CARLOS RENÉ GREEN RUIZ INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

COMITÉ TUTOR

DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DR. LIBERTO DE PABLO GALAN POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

DR. PAUL BLANCHON INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

MEXICO, JUNIO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México



**CARACTERIZACIÓN DE SUBAMBIENTES
SEDIMENTARIOS DE LA LAGUNA SANTA MARÍA LA
REFORMA, SIN.**

T E S I S

que para obtener el grado académico de
Maestro en Ciencias del Mar y Limnología
(Geología Marina)

p r e s e n t a

MARCO AURELIO ZÁRATE CASTILLO

Director de Tesis: DR. CARLOS RENE GREEN RUIZ

Comité Tutorial: DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS

DR. LIBERTO DE PABLO GALAN

DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

DR. PAUL BLANCHON

Mazatlán, Sin., Junio de 2013.

A G R A D E C I M I E N T O S

En primero lugar quiero dirigir mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber apoyado mi estancia en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL) para la realización de mis estudios con el número de registro No. 186518. A mi director de tesis, Dr. Carlos René Green Ruiz, por su apoyo total en todas las fases del proyecto, tanto en lo académico y en lo personal, en el cual siempre demostró ser un excelente mentor. Mi agradecimiento a la Universidad Autónoma de México (UNAM) en especial a su programa de posgrado. Agradezco también al personal del Centro de Investigación Científica y de Educación de Ensenada (CICESE): Dr. Jesús Arturo Martín Barajas y al Técnico Gabriel Rendón Márquez por todas las facilidades otorgadas durante mi estancia en dicho Instituto. También quiero hacer extensivo mi agradecimiento al Dr. Liberto de Pablo Galán del Instituto de Geología de la UNAM, miembro del Jurado de Examen, y al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por todo el apoyo prestado durante mi estancia en los Institutos de Geología y Ciencias del Mar y Limnología en la Cd. de México. De igual forma, agradezco a todo el personal de la Unidad Académica Mazatlán tanto en la biblioteca: Sra. María Clara Ramírez Jáuregui, en el centro de cómputo: German Ramírez Reséndiz, Carlos Suárez Gutiérrez y Herlinda Rojas Virgen; en mapoteca: Lic. Victoria Montes Montes, en el laboratorio de Geología: Ing. Alberto Castro del Río, a todos ellos muchas gracias. A todos mis compañeros y amigos por todos esos gratos momentos que pasamos juntos: Iván, Roberto, Alejandro, Daniel, Luis, Kory, Karina, Nicolás y Claudia. A mi amada esposa por darme ese empujón que me faltaba para culminar este viaje emprendido hace ya varios años. Un agradecimiento especial a los demás miembros del jurado: Dr. Enrique Nava Sánchez del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional, Dr. Paul Blanchon y Dr. Arturo Carranza Edwards, ambos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, ya que sin sus valiosas sugerencias y observaciones no hubiera sido posible finiquitar este trabajo, gracias. Por último, agradezco al Programa de Mejoramiento del Profesorado de la Secretaría de Educación Pública

por su apoyo parcial mediante la Red Temática de Colaboración Académica: Contaminación acuática: Niveles y efectos, con el proyecto: Monitoreo ambiental en la zona costera del noroeste de México y su ecotoxicología en organismos acuáticos, cuyo responsable es el Dr. Jorge Ricardo Rúelas Inzunza, investigador adscrito al Instituto Tecnológico de Mazatlán.

Dedicatoria:

A la gente que creyó en mí y también a la que no creyó

A mis padres y hermanos

A Nallely con todo mi amor...

I N D I C E

RESUMEN	1
I INTRODUCCIÓN	3
II ANTECEDENTES	10
III OBJETIVOS	17
GENERAL	17
PARTICULARES.....	17
IV HIPOTESIS	17
V ÁREA DE ESTUDIO	18
V.1.LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	18
V.2.MORFOLOGÍA	19
V.3.CLIMA.....	20
V.4.HIDROGRAFÍA.....	20
V.5.BATIMETRÍA	21
V.6.HIDRODINÁMICA	22
V.7.MARCO GEOLÓGICO	24
V.8.INTERVENCIÓN ANTROPOGÉNICA	25
VI MÉTODOS	27
VI.1.MUESTREO	27
VI.2.GRANULOMETRÍA	27
VI.3.DETERMINACIÓN DE CARBONATOS.....	28
VI.4.DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO.....	30
VI.5.MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN LIMO-ARCILLOSA	30
VI.6.MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARENOSA.....	33
VI.7.DETERMINACIÓN DE LOS MINERALES PESADOS	34
VI.8.SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	35
VI.9.ESTADÍSTICA.....	35
VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
VII.1.GRANULOMETRÍA.....	37
VII.2.RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS TEXTURALES.....	46
VII.3.CONTENIDO DE CARBONATOS.....	51
VII.4.CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO.....	52
VII.5.MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN ARCILLOSA.....	53
VII.6.DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES MINERALES DE LA FRACCIÓN ARENOSA	55
<i>VII.6.1.Distribución del cuarzo</i>	57
<i>VII.6.2.Distribución de los feldespatos y plagioclasas</i>	59
<i>VII.6.3.Distribución de los fragmentos de roca</i>	61
VII.7.MINERALES PESADOS	63
VII.8.DISTRIBUCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LA COLUMNA DE AGUA.	64
VII.9.SUBAMBIENTES SEDIMENTARIOS	65

CONCLUSIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	77

I N D I C E D E F I G U R A S

Fig. 5.1 Mapa de localización del sistema lagunar santa maría- la reforma	18
Fig. 5.2 Mapa de localización de los principales ríos que desembocan en el sistema lagunar santa maría- la reforma.....	21
Fig. 5.3 Batimetría (escala en m) del sistema lagunar santa maría- la reforma (Serrano et al., 2013).....	22
Fig. 5.4 Flujo (a) y reflujo (b) de las corrientes de marea (Serrano et al., 2013).....	23
Fig. 5. 5 Marco geológico en la cuenca del río mocorito	25
Fig. 6.1 Mapa de localización de muestras	29
Fig. 6.2. Localización de muestras para el análisis limo-arcilloso de los sedimentos de la laguna santa maría- la reforma	31
Fig. 6.3. Análisis de la abundancia relativa de los minerales arcillosos de acuerdo con biscaye (1965) adaptado por heath y pisias (1979).....	32
Fig. 6.4 Localización de muestras para determinar composición mineralógica	34
Fig.7.1 Distribución del tamaño promedio en el sistema lagunar	38
Fig. 7.2 Ubicación de los grupos bimodales en el sistema lagunarsanta maría- la reforma.	38
Fig. 7.3 Distribución bimodal de la estación 64	39
Fig. 7.4 Distribución bimodal de la estación 49	40
Fig. 7.6 Distribución bimodal de la estación 28	41
Fig. 7.7 Distribución bimodal de la estación 33	42
Fig. 7.8 Distribución bimodal de la estación 35	43
Fig.7.9 Distribución de la selección de grano en el sistema lagunar	44
Fig.7.10 Distribución del sesgo en el sistema lagunar.....	45
Fig. 7.11 Tamaño medio de grano contra grado de selección.....	47
Fig. 7.12 Tamaño medio de grano contra simetría	47
Fig. 7.13 Localización geográfica de los grupos texturales	48
fig. 7.14 Gráfica de los componentes principales texturales.....	49
Fig. 7.14 Distribución espacial del contenido de carbonato. los valores altos observados en la porción norte y el canal saliacca se localizan en bancos calcáreos en los bosques de manglar.....	52
Fig. 7.15 Distribución espacial del carbono orgánico.	53
Fig. 7.16 Similitud entre los difractogramas de los análisis de la mineralogía de la fracción limo-arcillosa de las estaciones de muestreo 7, 43 y 57.	54
Fig. 7.17 Clasificación mineralógica de las arenas del sistema lagunar santa maría-la reforma por acuerdo al criterio de dott (1964). q= cuarzo; f=feldespatos y l= fragmentos de roca.	56

Fig. 7.18 Localización de las muestras pertenecientes a la población 1.....	57
Fig. 7.19 Distribución del contenido de cuarzo en los sedimentos	58
Fig. 7.20 a) Partícula de grano de cuarzo b) Cuarzo policristalino (ambas fotografías fueron tomados en nicoles cruzados).	59
Fig. 7.21 Distribución del contenido de feldespato en los sedimentos.....	60
Fig. 7.22 a) Plagioclasa presentando macla polisintética y b) Feldespato alcalino teñido con cobaltinitrito de sodio (ambas fotografías fueron tomados con nicoles cruzados)	61
Fig. 7.23 Distribución del contenido de fragmentos de roca en los sedimentos.....	62
Fig. 7.24 a) Fragmento de roca sedimentaria, b) fragmentos de rocas volcánicas, y c) fragmento de roca metamórfica.	62
Fig. 7.25 Distribución de los minerales pesados en el sistema lagunar santa maría-la reforma.	64
Fig. 7.26 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en el sistema lagunar	65
Fig. 7.27 Análisis de componentes principales incluyendo los parámetros texturales y mineralógicos de los sedimentos del sistema lagunar santa maría – la reforma (n=20) ...	67
Fig. 7.28 Análisis de componentes principales de las muestras con análisis de sst en el agua suprayacente de los sedimentos del sistema lagunar santa maría – la reforma (n=41)	68
Fig. 7.29 Subambientes sedimentarios del interior de la laguna santa maría- la reforma.	73

I N D I C E D E T A B L A S

Tabla 6.1 Componentes considerados en el análisis de la composición mineralógica de la fracción arenosa del sedimento de santa maría-la reforma.....	33
Tabla 7.1 Promedios generales de los parámetros texturales de los sedimentos del sistema lagunar santa maría-la reforma mz_{σ} es el tamaño promedio; σ_{σ} es la desviación estándar (clasificación); ski_{σ} es el sesgo y kg_{σ} es la curtosis.....	37
Tabla 7.2 Análisis de componentes principales para los parámetros texturales	49
Tabla 7.3 Cargas de los parámetros en los dos componentes principales	50
Tabla 7.4 Diferencias significativas entre los parámetros texturales de los 4 grupos	51
Tabla 7.5 Análisis de componentes principales para los parámetros texturales y mineralógicos	66
Tabla 7.6 Cargas de los parámetros en los dos componentes principales	67
Tabla 7.7 Análisis de componentes principales de las 41 muestras de sst	69
Tabla 7.8 Cargas significativas de los parámetros en los dos componentes principales para las 41 muestras de sst.....	69
Tabla 7.9 Prueba t student, comparando los parámetros geoquímicos, mineralógicos y contenido de sólidos suspendidos totales de los diferentes subambientes sedimentarios.	70
Tabla 7.10 Características de los subambientes sedimentarios en el interior del sistema lagunar santa maría-la reforma.....	72

R E S U M E N

Se analizaron un total de 76 muestras de sedimento del fondo de la laguna Santa María- La Reforma determinándoles el tamaño de grano, minerales pesados, contenido de Carbono orgánico y Carbonatos, a 20 de éstas muestras se le realizo análisis de composición mineralógica y a 30 muestras análisis de composición mineralógica de limo y arcilla y 41 muestras de agua suprayacente de la misma realizándoles la concentración de sólidos suspendidos. Con todos estos análisis y la ayuda de un programa de computación, pudieron correlacionarse las muestras entre si, para poder subdividir la laguna en subambientes sedimentarios.

En relación al tamaño de grano se presentaron valores que fluctuaron entre los 1.6 y 6.6 ϕ teniendo un promedio de 2.8 ϕ , las sitúa dentro de la clasificación de arenas finas según la nomenclatura de Folk y Ward (1957). La distribución espacial de dicho parámetro esta influenciado por la hidrodinámica del sistema. Se observó que 15 de ellas presentaron bimodalidad, las cuales se dividieron en 5 grupos en función de su ubicación geográfica. Lo que sugiere oscilaciones en la energía cinética presente en el área. El grado de selección (σ_{σ}) osciló entre los 0.4 y 2.8 σ , con un promedio de 1.1 σ , indicando, que en términos generales, los sedimentos están moderadamente seleccionados. Se relacionaron los parámetros texturales dando como resultado la presencia de 4 grupos en cuanto a su características texturales. El contenido de carbonatos (CO_3) presentes en los sedimentos superficiales del sistema lagunar oscilan entre los 2.9 % y 57.09 % con un promedio de 18.9 %, los valores mas altos se encontraron en las cercanías del poblado de La Reforma debido a las actividades de la pesca ribereña, ya que los pescadores locales desechan ahí las conchas. Los valores de carbono orgánico contenidos en los sedimentos del área de estudio fluctúan entre 1.25 % y 13.03 % con un promedio de 4.16 %, registrándose los valores más altos en la proximidad del poblado La Reforma, debiéndose en gran parte a las descargas de desechos de dicho poblado.

En relación a la composición mineral de la fracción arenosa el principal componente fue el cuarzo con un 27 %, En función de la relación Q/F la fracción arenosa es considerada como inmadura. En cuanto al contenido de fragmentos de roca predominaron los de composición volcánica. La mineralogía de arcillas no fue un criterio para establecer los subambientes sedimentarios.

Se sugiere el modelo sedimentario constituido por seis subambientes, los cuales en promedio están constituidos por arenas finas, y mal seleccionados, excepto los subambientes E y F, los cuales presentaron una selección moderada. Los parámetros más importantes en la caracterización de dichos subambientes fueron los parámetros texturales y los minerales pesados., que a su vez están influenciados por la morfología de la laguna y las corrientes de marea.

I INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras constituyen una tercera parte de los litorales mexicanos y son fuente importante tanto de recursos alimenticios como turísticos para el país; por esta razón es fundamental entender su naturaleza, dinámica e historia (Lankford, 1977).

La importancia de los estudios de la composición elemental y mineralogía de los sedimentos de las lagunas costeras ha sido bien establecida. Dichos estudios han servido para evaluar el impacto de las actividades humanas y entender los procesos geoquímicos que ocurren en esta área de transición. Desafortunadamente estas investigaciones han sido desarrolladas en cuerpos de agua templados, y poca atención han recibido las lagunas costeras tropicales (Páez Osuna et al., 1984), las cuales poseen una dinámica costera diferente (grado y tipo de intemperismo, nivel de erosión y depósito de sedimentos), de acuerdo a las características climatológicas dominantes (temperatura, precipitación, etc.).

Tres eventos geológicos fueron de gran relevancia en relación con la formación de las lagunas costeras actuales. La primera fue la estabilización de la línea de costa durante un periodo interglaciar, hace aproximadamente entre 130 y 120 mil años, dicha estabilización permitió la construcción de elevaciones topográficas y depósitos deltaicos-lagunares, estos fueron reconocidos por primera vez por Price (1933). Los remanentes de estas elevaciones se encuentran preservados en los márgenes de las llanuras costeras actuales de México y están comúnmente asociadas a las lagunas costeras recientes. El segundo evento importante ocurrió al finalizar la glaciación Wisconsin e iniciar la transgresión holocénica, hace aprox. 18,000 años, cuando el nivel del mar estaba a 130 metros por debajo del actual, esto permitió que la actual plataforma continental estuviera expuesta a procesos de meteorización: valles y cañones fueron erosionados, las

llanuras de inundación de deltas experimentaron una alta sedimentación fluvial, etc. Dicha topografía aunada con el gran aporte de sedimentos, favoreció al desarrollo de las lagunas costeras actuales durante la transgresión. Posteriormente inicia una transgresión postglacial que comienza hace 14 mil años (Fairbanks 1989), provocando que existieran rápidas tasas de sedimentación de terrígenos. El tercer evento importante fue hace 5,000 años y comienza cuando la tasa de transgresión disminuye, el nivel medio del mar está de 3 a 4 m por debajo del actual. El proceso de construcción de barreras de arena comienza con la separación de porciones estrechas de la plataforma interior y de las depresiones inundadas, la sedimentación de terrígenos lentamente comienza a progradar hacia la línea de costa; los valles de los ríos principales son rápidamente rellenos, esto conlleva a la progradación de los deltas hacia la línea de costa reemplazando a las recientes bahías formadas. Este último evento continúa hasta el presente, aunque (Curry et al., 1969) han notado que la transgresión ha sido lenta debido a los cambios climáticos y a la acumulación de lodo sobre las arenas depositadas sobre la plataforma, de modo que priva a las zonas litorales de las fuentes principales del sedimento (Lankford, 1977).

La circulación de las aguas dentro de las lagunas costeras influye sobre la sedimentación y la morfología de la misma. Los aportes fluviales originan lóbulos deltaicos que progradan sobre los fangos de la cuenca, las velocidades de los flujos de marea son más rápidas en las entradas de los canales, pero la velocidad será progresivamente reducida por efectos de la fricción contra el fondo. Los procesos que intervienen en una laguna costera son muy complejos; factores dinámicos, químicos y biológicos, aparecen en clara relación con los mecanismos de sedimentación. Estos mecanismos están determinados por la disipación de la energía de los flujos fluviales, gradientes de densidad, la marea, las olas y fuerzas meteorológicas. En la medida que la energía se disipa, los sedimentos son transportados, mezclados, intercambiados o acumulados y la geometría del fondo se modifica.

Es indudable que los diferentes tipos de energía que existen en el área de depósito van a influir en las características granulométricas del sedimento (Carranza-Edwards, 1997). De tal forma que el tamaño del sedimento nos puede indicar el tipo de energía que ahí ocurre, por ejemplo los sedimentos arenosos reflejan la influencia del oleaje, en tanto un sedimento fino puede definir un ambiente de aguas tranquilas. El tamaño del sedimento también está en función de la composición litológica de las rocas del área fuente y con la distancia entre el área fuente y el área de depósito. La determinación del tamaño de las partículas que forman parte de los sedimentos es de gran importancia no solamente en trabajos sedimentológicos, sino también en investigaciones de carácter interdisciplinario, particularmente en los estudios de contaminación ambiental. (Carranza-Edwards, 1997). En cuanto a este rubro los minerales arcillosos son de gran relevancia ya que sus propiedades físico-químicas tales como: tamaño de grano fino, gran área superficial, capacidad de intercambio catiónico de moderada a alta, alta carga superficial negativa, entre otros. (Hirts, 1962), hacen de los minerales arcillosos importantes acarreadores y almacenadores de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en los cuerpos de agua.

La representación gráfica de los tamaños se realiza mediante histogramas, curvas de frecuencia y diagramas de dispersión, donde las más utilizadas son las curvas de frecuencia, generalmente acumulativas. Dentro de las medidas de clasificación o dispersión se encuentran la selección de grano y la desviación típica relacionados entre sí inversamente y que miden la desviación en la clasificación de un sedimento e indican las oscilaciones de energía cinética en el ambiente sedimentario respecto a su valor medio (Corrales-Zarazua et al., 1977).

Como ya se menciona en párrafos anteriores, los sedimentos poseen ciertas características que los puede diferenciar uno de otro, por eso es importante el caracterizar zonas dentro de un mismo sistema acuático, que guarden ciertas

características similares tales como tamaño de grano, batimetría, composición mineralógica, parámetros estadísticos similares, entre otros. Todo esto nos indicara de alguna forma el tipo de energía del flujo que ahí ocurre, así como la definición de subambientes sedimentarios dentro de la cuenca de depósito (Corrales-Zarazua et al., 1977).

En relación con la mineralogía de los sedimentos, en un cuerpo lagunar costero básicamente encontraremos una amplia variedad de minerales de diferente tipo, todo estará en función de la litología del área fuente. El origen de los materiales sedimentarios se ha definido como área madre en cuanto a la localización geográfica y roca madre en cuanto a las características de composición. La roca madre tiene gran influencia sobre las características texturales del sedimento, y en cuanto a la composición hay aspectos muy importantes condicionados por la roca madre (Corrales-Zarazua et al., 1977). A un sedimento que derive directamente de una roca ígnea se le llama de primer ciclo, y la mayoría, además de los granos estables, tiene fragmentos de roca y minerales inestables o metaestables, pues necesitarían tiempos de meteorización muy largos para estar formados solamente con minerales estables. El estudio de los minerales accesorios detríticos de la fracción densa (minerales pesados) es la mejor herramienta para saber si los sedimentos son de primer ciclo, debiendo ser todos ellos de procedencia ígnea y poseer especies minerales similares (Corrales-Zarazua et al., 1977).

Rocas madre metamórficas dan composiciones similares con las rocas ígneas o sedimentarias (protolito). aunque la mejor evidencia de su origen metamórfico lo constituye la presencia de los minerales pesados típicos de rocas metamórficas, los fragmentos de rocas metamórficas en las rocas de grano grueso son igualmente una evidencia de la naturaleza de la roca madre (Corrales-Zarazua et al., 1977).

Una gran parte de sedimentos procede a su vez de rocas sedimentarias más antiguas, lo que lleva al concepto de ciclos múltiples de sedimentación. Teóricamente un grano detrítico del primer sedimento aparecido en la corteza terrestre puede incorporarse como elemento detrítico a un sedimento actual. El reciclado es una de las mejores evidencias del origen sedimentario de la roca madre, con presencia de fragmentos de rocas como areniscas o pedernal y siempre con gran madurez mineralógica. Las texturas intraformacionales y de cantos blandos no son, en cambio, indicadoras de reciclado. Los minerales accesorios se presentan igualmente reciclados, bien redondeados, con grandes variaciones en las distintas especies y siempre con ausencia de los inestables. Granos de cuarzo, con bordes de crecimiento y redondeados, son otro criterio del origen sedimentario del sedimento. (Corrales-Zarazua et al., 1977).

Los carbonatos presentes en sedimentos llegan a formar una parte importante dentro de los mismos, ya que incluso llegan a ocupar más del 90% del total de los sedimentos (Green-Ruíz, 2000). Dicha concentración está en función del número de organismos calcáreos (corales, equinoideos, moluscos, foraminíferos, algas) presentes en el cuerpo lagunar, ya que dichos organismos sintetizan el carbono para crear sus exoesqueletos, los cuales son fragmentados cuando los organismos mueren. Por consiguiente, la mayoría del carbonato presente en los sedimentos de las lagunas costeras es de origen marino, por lo tanto, el contenido de los carbonatos reflejará las condiciones de depósito que predominan en la zona, es decir, que tan marino o no es el ambiente de depósito. Gutiérrez Estrada et al., (1981) mencionan que la presencia de conchas enteras o fragmentadas y de fragmentos biógenos depende de: 1) La erosión de antiguos depósitos de sedimentos biógenos carbonatados; 2) La distribución actual de los organismos Bentónicos y Nectónicos con endoesqueleto o exoesqueleto carbonatados; 3) La distribución de los endoesqueletos y exoesqueletos; y 4) El transporte y redepositación de los detritos por las corrientes lagunares de marea o del viento.

La materia orgánica presente en los sedimentos, desempeña un rol muy importante en la sedimentación de partículas en el fondo, particularmente con los sedimentos finos, ya que por su diferencia de cargas con estos, existe una afinidad, adhiriéndose a su superficie, y provocando su precipitación. Los altos flujos de materia orgánica pueden ser provocados por tormentas que acarrear gran cantidad de hojas y ramas (Ruiz Fernández, 1999); adicionalmente la materia orgánica posee una afinidad con los metales pesados por lo que juega un papel preponderante en su especiación (El-sokkary, 1992).

Los sedimentos de los estuarios y de las plataformas continentales pueden ser resuspendidos por corrientes de marea, oleaje y la interacción de ambos. La resuspensión por corrientes de marea ha sido observada en muchos estuarios (Roman & Tenore, 1978; Lavelle et al., 1984; Cloern et al., 1989; Hamblin, 1989). La resuspensión de los sedimentos del fondo provocada por el oleaje ha sido estudiada en cuerpos de agua con profundidades de 5-10 metros en Long Island (Lavelle et al., 1978), y menos de 2 metros en Chesapeake Bay (Ward et al., 1984), 4-10 metros en Start Bay, U.K. (Davies, 1985), y 2 m en el Estuario Ho Bugt, Denmark (Perjup, 1986). Bohlen (1987) observó que las corrientes de marea y el oleaje durante tormentas en el invierno resuspendían los sedimentos del fondo en sitios donde el agua alcanzaba los 12 m, en plataformas continentales del norte de California, con esto el esfuerzo de cizalla se incrementaba, siendo el mayor factor de control en la distribución superficial en la plataforma (Cacchione et al., 1987; Drake et al., 1992).

La resuspensión de los sedimentos es un proceso importante en cuerpos de agua someros, porque al estar en suspensión minimizan la cantidad de luz disponible para los pastos marinos, a su vez liberan nutrientes y contaminantes en la columna de agua, y pueden depositarlos en canales y pequeñas cuencas. (Schoellhamer, 1995).

La presencia de minerales pesados en sedimentos lagunares, llegan a ser una parte muy importante dentro de los mismos ya que las concentraciones llegan a ser potencialmente económica, dicha concentración depende de una serie de factores tales como la granulometría del sedimento, la cercanía del área de aporte y el proceso litoral dominante evidenciado a partir de los rasgos morfológicos costeros composición de las rocas fuentes, entre otros. (Monty y Bayarsky,1996).

II ANTECEDENTES

Muchos de los estudios de carácter sedimentológico de las lagunas costeras se han realizado, fundamentalmente, en zonas templadas. Lamentablemente, en lo referente a las lagunas localizadas dentro de la franja intertropical no ha sido lo mismo; esto obedece a muchos factores de diversa índole (Carranza-Edwards, 1997). Dichos estudios se han enfocado a la evaluación del impacto de las diversas actividades humanas sobre estos cuerpos de agua (Dallinger et al., 1987), y a determinar la relación existente entre los sedimentos de la fracción fina con los metales traza (Jenne, 1976; Horowitz, 1991), así como la amplia gama de contaminantes de tipo orgánico (Long et al., 1995; Smith et al., 1996), vertidos por el hombre. De acuerdo con los resultados obtenidos en los mencionados estudios, es importante localizar las zonas más aptas para el depósito de limos y arcillas en el sistema acuático. Varios son los factores que gobiernan estos patrones de depósito, tales como la salinidad, la circulación de las aguas dentro del cuerpo lagunar, la morfología de la laguna, etc. Griffin e Ingram (1955) estudiaron los minerales arcillosos del estuario de Neuse en Carolina del Norte, y enfatizaron el rol de la salinidad en la distribución de los minerales arcillosos, encontrando que en la zona de mezcla de las diferentes salinidades se favorecía la formación de flóculos de minerales arcillosos, con su consecuente depósito.

Pandarinath y Narayana (1992) estudiaron los sedimentos del estuario Gangolli y su asociación con metales traza en la costa oeste de la India y observaron que el método de difracción de rayos X indicó que la esmectita era el mineral más abundante de la fracción arcillosa, no encontrando ninguna asociación de ésta con los metales traza, debido a la desadsorción que se lleva a cabo en este tipo de sistemas. La abundancia relativa de los minerales arcillosos en este cuerpo de agua se debió principalmente al tipo de intemperismo predominante en el área y a la presencia de rocas volcánicas extrusivas.

Datta y Subramanian (1997) estudiaron la textura y mineralogía de los sedimentos y sus implicaciones ambientales del sistema de ríos Ganges-Brahamaputra-Meghna en la cuenca de Bengala, en Bangladesh, determinando el tamaño de grano por el método de tamizado; también obtuvieron muestras de sólidos suspendidos en varios puntos predeterminados dentro de la cuenca y se les determinó su mineralogía. En dicho estudio se encontraron los siguientes resultados: el principal tamaño de grano estaba comprendido entre 2.5 y 4 phi; el resto de las muestras estaba dominado por la fracción limosa; el tamaño de grano decrecía gradualmente de aguas arriba a aguas abajo del río Ganges; mas del 66 % de los sedimentos depositados fueron considerados de moderado a bien clasificados; en general todos los sedimentos eran positivamente asimétricos, lo cual indica una abundancia de sedimentos finos en relación al tamaño promedio; el 95% del tamaño promedio de los sólidos suspendidos fue mayor a 6 phi, teniendo una relativa distribución bien clasificada. En cuanto a la mineralogía, se encontró mayor abundancia relativa de cuarzo que de feldespato, indicando bajo relieve y condiciones de intemperismo tropical.

Carranza-Edwards y Rosales-Hoz (1997) estudiaron la tendencia y procedencia de las arenas de playa del suroeste del golfo de México, para dicho estudio se basaron en la fuente litológica y en la red fluvial, dividiendo los sedimentos en dos grupos: arenas de rocas volcánicas, en la región fuente, y arenas de fuentes no volcánicas. Utilizando diagramas triangulares de fragmentos de roca-cuarzo-feldespato, estos autores indicaron que la proximidad con las fuentes volcánicas eran las responsables de los fragmentos de roca contenidos en las arenas de playas. La madurez mineralógica y los índices de procedencia usados en los diagramas ternarios son de gran ayuda en la discriminación de las muestras de origen volcánico de las no volcánicas.

Carranza-Edwards et al., (1998) analizaron arenas de diferentes playas de la península de Baja California a fin de identificar las características texturales y la

composición mineralógica, encontrando que las playas del oeste están principalmente asociadas al bajo relieve y a las condiciones de alta energía del oleaje y las corrientes, mientras que con las arenas de la parte este son más finas y mejor seleccionadas, contienen bajo contenido de carbonatos y son ricas en cuarzo y feldespato en comparación con las arenas de la parte oeste. La madurez mineralógica fue mayor en las arenas de la parte oeste que de la parte este. Dichos contrastes probablemente tienen su explicación en el diferente relieve de la llanura costera y la diferente energía hidrodinámica del oleaje y las corrientes que son responsables de la dilución de fragmentos de roca por enriquecimiento de más fragmentos de cuarzo estable. Finalmente, se encontraron unas diferencias en cuanto el contenido de valores de $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$, dicho detalle es resultado de la presencia de algunas muestras de la costa Este con alto contenido de CaO , probablemente debido a la presencia de rocas basálticas.

En México hay pocos estudios en cuanto a la sedimentología de lagunas costeras, Gutiérrez-Estrada y Galaviz-Solís (1983) estudiaron los sedimentos recientes de las lagunas: el Carmen, el Pajonal y la Machona en Tabasco, México. Estos autores encontraron que los sedimentos lagunares eran terrígenos de grano grueso a muy fino, moderadamente bien a muy mal clasificados; arenas cuarzo-feldespáticas; limos o limos arcillosos y biógenos carbonatados. La barrera litoral está formada por arenas de grano de medio a fino. El aporte eólico de sedimentos hacia las lagunas no es significativo. Al comparar los parámetros estadísticos encontraron 4 grupos de sedimentos.

Por su parte, Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) caracterizaron sedimentológicamente y geoquímicamente la laguna costera de La Paz, B.C.S. Dichos autores emplearon un análisis multivariado en el que incluyeron datos de los parámetros texturales, de los contenidos de carbono orgánico e inorgánico, así como de la concentración de minerales pesados, para proponer la existencia de 7 subambientes sedimentarios al interior del mencionado cuerpo de agua.

Posteriormente, Shumilin et al. (2001) encontraron que la zona norte de la laguna, cerca del estero Zacatecas y el istmo de la barrera arenosa El Mogote está enriquecida con Cd y As y mencionan que corresponde a uno de los subambientes sedimentarios propuesto de Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), el cual está influenciado eólicamente por las arenas de las dunas de la barrera.

Olivas-Silva et al. (1992) realizaron un estudio sedimentológico de la laguna de Santa Rosa en Sonora México. Se analizaron la distribución de las facies sedimentológicas, con énfasis en la identificación textural, físico-química, química y mineralógica y se estudió la relación que estos parámetros guardan con la distribución de organismos bentónicos (bivalvos).

Pérez-Rojas et al. (1994) estudiaron los sedimentos recientes del lago Catemaco en Veracruz México. Ellos encontraron que en la distribución textural de los sedimentos superficiales del lago, en la parte central, donde la profundidad es mayor, predominaban las arcillas y arcillas limosas, mientras que hacía las riberas lacustres la textura es transicional y varía gradualmente de los limos arcillosos a las arenas gruesas y gravas. De acuerdo a su composición y comparando los parámetros texturales se identificaron 4 grupos de sedimentos.

En la laguna Santa María-La Reforma, García Escobar (1992) determinó la distribución textural y mineralógica de los sedimentos, subdividió al sistema lagunar en 4 zonas y encontró que la laguna Santa María-La Reforma presentó arenas muy finas y limos gruesos en las zonas mas alejadas de la línea de costa; por otro lado, en el canal principal predominaron las arenas medias. En los canales Yameto y Saliaca y en las grandes zonas de marismas se presentan arenas medias, finas y muy finas. En las zonas de baja energía se encontraron arenas finas hasta limos medios y en la laguna Playa Colorada no se observó un patrón regular de distribución textural encontrando tamaños que oscilaban de

gravas a arenas finas. En referencia a la mineralogía de la fracción arenosa, los principales componentes fueron el cuarzo y el feldespato así como también fragmentos de rocas volcánicas y metamórficas.

Rosales-Hoz et al. (2008) analizaron la composición geoquímica de los sedimentos superficiales alrededor del ecosistema arrecifal de Isla de Sacrificios, Veracruz, México. Donde a través de sus características texturales y químicas se determinó el impacto temporal de las descargas naturales en diferentes años. Determinaron que el tamaño de partículas de los sedimentos en las tres estaciones del año estuvo en función con las condiciones de energía prevalecientes en la zona. El grado de influencia de los sedimentos terrígenos se determinó por el contenido de Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O y K_2O , Al efectuar un análisis factorial reflejó que las características sedimentológicas y geoquímicas de los sedimentos varían estacionalmente.

En sedimentos modernos, la composición química varía con el tamaño de grano debido a cuatro factores: (1) fuentes múltiples que aportan distintos tamaños de grano texturalmente y mineralógicamente distintos, (2) intemperismo mecánico de fragmentos de roca en componentes mas finos, (3) intemperismo químico de partículas lábiles en productos de alteración y (4) selección de partículas durante el transporte en cuanto a su composición (Whitmore et al., 2004) Dichos factores son parte de un complejo sistema que controlan la naturaleza y composición de sedimentos clásticos (Johnsson y Basu, 1993; Johnsson, 1993). Muchos autores indican que el tamaño de grano afecta la composición modal y geoquímica. Hay dos escuelas opuestas concernientes a la dependencia del tamaño de grano: la primera cree que existe una dependencia fundamental entre la composición y el tamaño de grano, mientras que la otra cree que la composición puede ser determinada independientemente del tamaño de grano (Ingersoll et al., 1984). Los sedimentólogos petrógrafos y los geoquímicos sedimentólogos han estudiado tamaños específicos o han empleado métodos diseñados para reducir el efecto en

la composición geoquímica debida a la variación del tamaño de grano (Dickinson, 1970; Loring, 1991).

En cuanto a la relación existente entre la hidrodinámica y la sedimentación en cuerpos lagunares costeros, Vilas et al., (2005) estudiaron las Rias Bixas en el noroeste de España, encontrando que la distribución superficial de los sedimentos estaba regida por la combinación de la morfología y la hidrodinámica del sistema; el amplio rango de energía generada por el oleaje a lo largo del sistema determinaba los distintos patrones de distribución de facies; además, compararon las diferentes características granulométricas entre las distintas muestras de los diferentes zonas que componen el cuerpo lagunar, mostrando con ello la formación de diferentes ambientes sedimentarios debido a la energía del oleaje generada en la zona.

Gordon y Goñi (2004) estudiaron los factores que controlan la distribución y acumulación de terrígenos con materia orgánica en sedimentos del río Mississippi, encontrando que la acumulación de carbono orgánico guardaba una relación inversamente proporcional a la profundidad del agua, es decir que los valores más altos se encontraban en la profundidades más someras, quizá debiéndose a su relación con el área superficial de ciertos minerales y su aparente transporte diferencial en el área de estudio, encontrando en esta parte el 37% del total de carbono orgánico; sin embargo, la morfología del fondo influye también en su distribución, ya que en el talud se encontró el 33 % de material orgánico, desempeñando un papel muy importante en la acumulación del carbono orgánico, ya que abarca una gran parte del área de estudio.

Poppe et al., (2005) realizaron estudios mineralógicos de los sedimentos de los ríos y plataforma insular del Norte Central de Puerto Rico, evaluando la fracción limosa respecto a minerales pesados económicamente importantes, encontrando que dicha fracción esta más enriquecida en relación con la fracción arenosa, principalmente conteniendo material detrítico, pero también granos

autígenos. La presencia de estos tipos de minerales de la fracción limosa se debe en gran parte a la erosión de lateritas dominadas por la abundancia de óxidos de hierro. En cuanto a la variación espacial en la mineralogía de la fracción limosa, ésta es considerable. Dentro de Río Cibuco, la variabilidad de sistema está relacionada con las diferentes composiciones de las rocas fuente, así como también con la rápida erosión a las que son sometidas. Sobre la plataforma, la abundancia de mineral pesado en el limo es mayor en las bocas del río disminuyendo hacia el mar.

III OBJETIVOS

General

Determinar la presencia de subambientes sedimentarios en el sistema lagunar Santa María-La Reforma con base en la distribución espacial de la composición textural y mineralógica de los sedimentos superficiales y la cuantificación de los sólidos suspendidos en el agua suprayacente.

Particulares

- Determinar la composición textural de los sedimentos.
- Cuantificar los contenidos de carbono orgánico y carbonatos en los sedimentos.
- Determinar la composición mineralógica de las fracciones arenosa y limo-arcillosa de los sedimentos
- Determinar los contenidos de minerales pesados en los sedimentos
- Identificar las posibles áreas de aporte de los sedimentos
- Cuantificar y determinar la variación espacial de los sólidos suspendidos y el tamaño promedio de los sedimentos superficiales en el área de estudio
- Determinar la relación entre la sedimentación con la hidrodinámica y la morfología de la laguna

IV HIPOTESIS

Como consecuencia de los diversos aportes de sedimentos a través de descargas naturales, así como a la geomorfología e hidrodinámica prevalecientes en la laguna Santa María-La Reforma, se espera que se presenten diferentes subambientes sedimentarios en este cuerpo de agua, los cuales deben ser evidenciados por las características texturales y mineralógicas del sedimento superficial y la dinámica de las aguas suprayacentes.

V ÁREA DE ESTUDIO

V.1. Localización geográfica

La Laguna Santa María-La Reforma se encuentra localizada en la parte occidental del litoral mexicano, en la costa este del Golfo de California, perteneciente al estado de Sinaloa; entre los paralelos $24^{\circ} 43'$ y $25^{\circ} 15'$ de latitud norte y los meridianos $107^{\circ} 55'$ y $108^{\circ} 26'$ de longitud oeste (Fig. 5.1). La altitud media del área circundante se aproxima a los 4 msnm (Contreras, 1985)

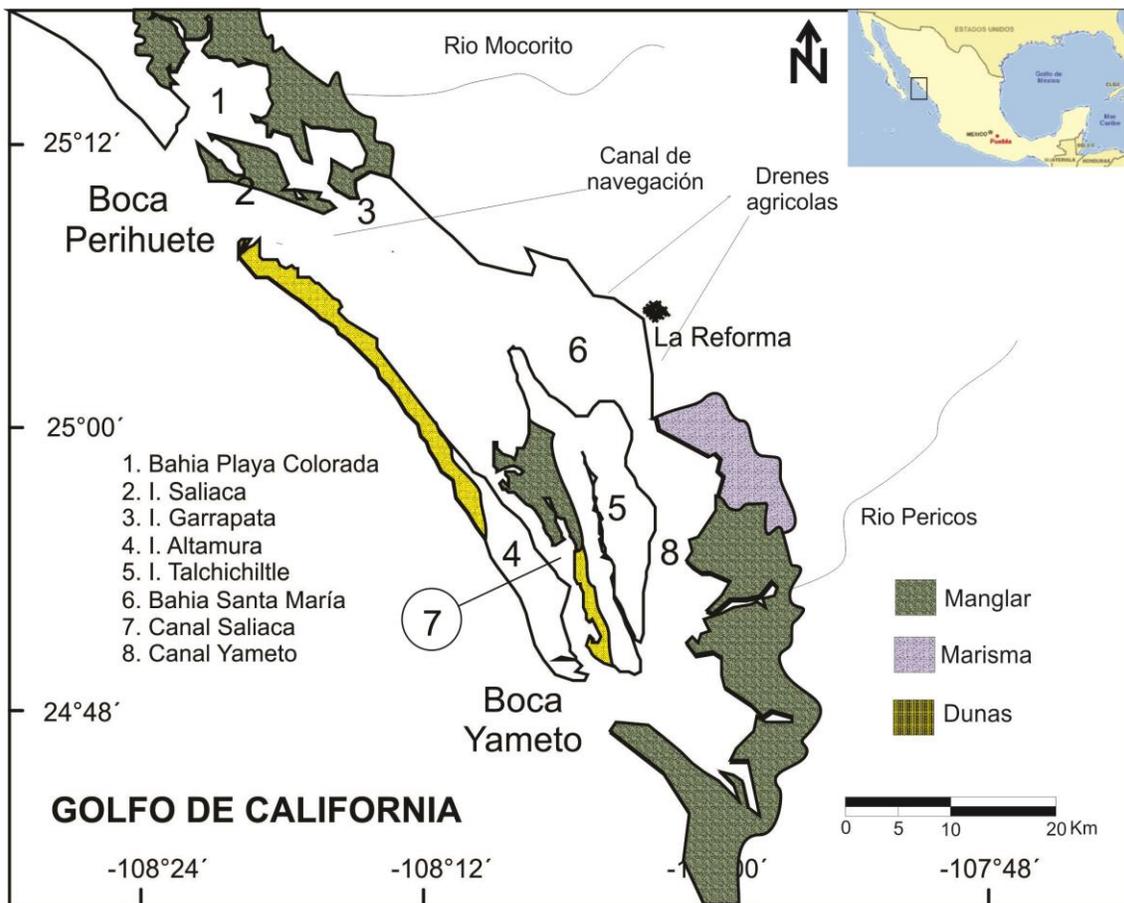


Fig. 5.1 Mapa de localización del sistema lagunar Santa María- La Reforma

V.2.Morfología

La zona de estudio abarca una superficie de 57,000 hectáreas y comprende tres lagunas y dos canales, siendo la de mayor área Santa María- La Reforma y las de menor superficie Santa María (al sur), y Playa Colorada (al norte) (Fig. 5.1). Se presentan dos bocas principales, con las cuales el sistema lagunar se comunica con el Golfo de California. En la laguna Santa María-La Reforma se encuentran los islotes del Fierro, de la Risción y del Mero, por otro lado la isla Saliaca separa las lagunas Playa Colorada y Santa María- La Reforma (García-Escobar, 1992).

En relación a la clasificación genética del sistema lagunar Santa María-La Reforma, Lankford (1977) lo clasifica dentro del tipo III-A que corresponde al de plataforma interna de barrera, con depresiones inundadas en los márgenes internos del borde continental rodeando superficies terrígenas en los márgenes internos y protegidos del mar por barreras arenosas ocasionadas por las corrientes y el oleaje. Dicho sistema lagunar presenta barreras tipo Gilbert-de Beaumont presentando escurrimiento ausente o muy local. La energía es relativamente baja con excepción en condiciones de tormenta y en las zonas de canales. Cabe mencionar la presencia de dunas, manglares y marismas alrededor de este cuerpo de agua, la cuales pueden fungir como fuentes o zonas de retención de sedimentos.

Inman y Nortstrom (1971) clasifican genéticamente esta región como costa de arrastre de neoeje, mientras que Shepard (1973) la clasifica geomorfológicamente como costa secundaria por depositación marina con planicies costeras e islas de barrera.

V.3.Clima

De acuerdo al sistema de Clasificación Climática de Köppen, modificado por García (1964), se observa el tipo de clima BW(h')W(e'), manifestándose un clima cálido, muy seco, con temperatura media anual sobre 22° C y media del mes mas frío de 18° C, y presentando lluvias en verano (García-Escobar, 1992).

V.4.Hidrografía

El sistema hidrográfico de la zona de estudio forma parte de la vertiente del Pacífico y está localizada dentro de la región hidrológica número 10 (SARH, 1975). El río mas importante dentro del área es el Mocerito, teniendo como afluentes los arroyos el Molinal, Santa Rosa y Huacapas. Dichas corrientes son de carácter perenne formando un sistema de drenaje subparalelo y dendrítico. El sistema lagunar está influenciado por dos cuencas hidrológicas importantes: la cuenca del río Mocerito y la cuenca del río Pericos; las cuales abarcan en conjunto, 3092 km².

La cuenca del río Mocerito se origina en la Sierra de Parras con una altura promedio de 2000 msnm, teniendo una dirección inicial de este a oeste la cual cambia su trayectoria en dirección hacia el sureste al llegar a Guamuchil, desembocando en el sistema lagunar Santa María-La Reforma (Fig 5.2). Esta cuenca cuenta con un área de 1965 km² (SARH, 1975).



Fig. 5.2 Mapa de localización de los principales ríos que desembocan en el sistema lagunar Santa María- La Reforma

V.5. Batimetría

El sistema lagunar de Santa María-La Reforma cuenta con una superficie de 586 km² y un volumen estimado de 1907 km³, con una profundidad máxima de 27.8 m registrada en la boca de Yameto. La boca de Perihuate presenta una profundidad de 22 m y entre las islas Altamura y Saliaca, la profundidad promedio del sistema es de 3.25 m. Como rasgo batimétrico distintivo se observa la presencia de dos canales, los cuales inician en la boca norte, y se prolongan hacia las riberas del cuerpo principal de la laguna. El canal que se extiende paralelo a la Isla Altamura, con longitud de 16 km se ve interrumpido por zonas bajas y la presencia de varias islas pequeñas, este

canal tiene una profundidad máxima de 12 m; mientras que el canal localizado en la parte oriental del sistema, con una longitud de 20 km, registra una profundidad máxima de 17 m. Entre ambos canales se registran profundidades menores a un metro (Serrano et al., 2013) (Fig. 5.3).

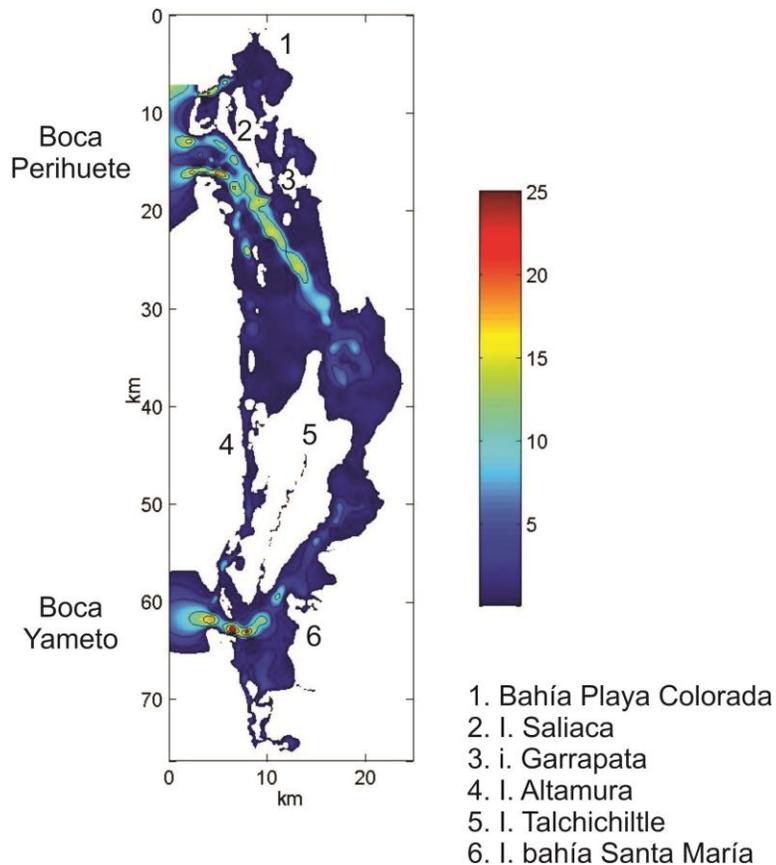


Fig. 5.3 Batimetría (escala en m) del Sistema Lagunar Santa María- La Reforma (Serrano et al., 2013)

V.6.Hidrodinámica

Las corrientes dentro del sistema lagunar Santa María-La Reforma se deben principalmente al intercambio de agua entre el sistema y el Golfo de California como resultado del flujo y reflujos de marea a través de las dos bocas del

sistema lagunar, y están íntimamente relacionados con la batimetría. Serrano et al. (2013) estudio las corrientes obteniendo un modelo que se presenta en la fig. 5.4.

La velocidad más intensa se registró en la boca norte (1.8 ms⁻¹). En la boca sur la velocidad no excede 1.2 ms⁻¹. Cabe destacar que los canales sirven de guía al flujo y reflujos de marea, registrando velocidades de hasta 1 ms⁻¹. Las áreas de menor velocidad se localizan en el ala izquierda de la Isla Talchichilte y al sur del umbral (cercano al poblado de La Reforma). Por otra parte, en las bahías y ensenadas la velocidad no excede los 0.2 ms⁻¹

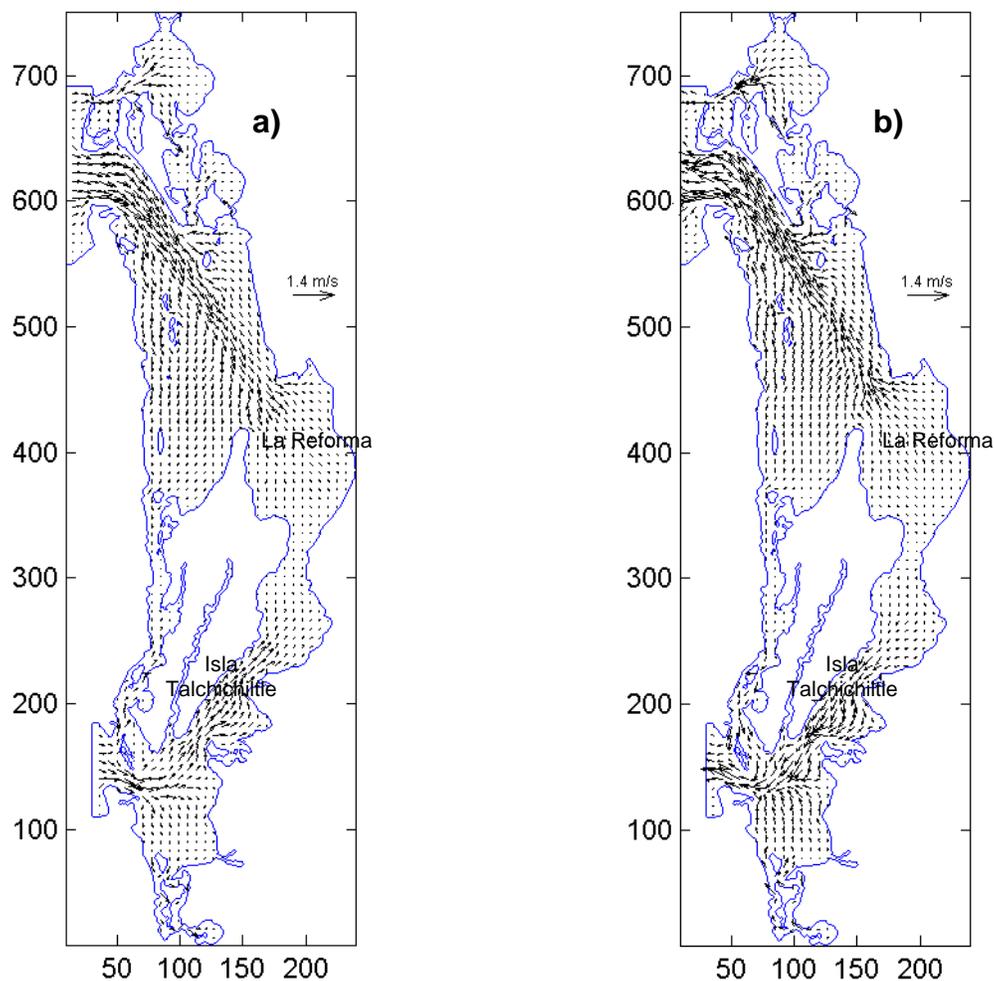


Fig. 5.4 Flujo (a) y reflujos (b) de las corrientes de marea (Serrano et al., 2013).

V.7.Marco Geológico

Si bien el área de estudio se acota al sistema lagunar Santa María-La Reforma, es importante conocer el marco geológico circundante, dado que los sedimentos depositados en dicho cuerpo de agua, provienen principalmente de las cuencas de drenaje adyacentes.

Las unidades geológicas que predominan en el área de estudio (INEGI, 1984) (Fig. 5.5) presentan una edad del Cretácico Superior hasta el Reciente. La secuencia más antigua esta conformada por el intrusivo Máfico del Cretácico esta conformado por emplazamientos ígneos que sucedieron en el Cretácico Superior y continuaron hasta el Terciario (López-Ramos, 1980). Dichos emplazamientos forman parte del batolito de Sinaloa, compuestos principalmente por granodiorita, granito, tonalita, diorita y monzonita, teniendo como principales constituyentes cuarzo, plagioclasa sódica, feldespato potásico, biotita, hornblenda, piroxenos y como accesorios la epidota, hematita, magnetita, moscovita, de textura holocristalina pórfidica, presentándose moderadamente fracturada, con intemperismo profundo e intrusionando discordantemente a rocas del Jurásico Superior y subyace discordantemente bajo rocas del Terciario (SPP, 1982).

El complejo ígneo extrusivo félsico del Terciario está conformado por diferentes unidades: unidad basalto, unidad basalto-brecha volcánica máfica, unidad brecha volcánica máfica, arenisca, conglomerado, toba, y por último aluvión del Cuaternario.

La era Cenozoica da inicio con derrames andesíticos, conformados por grandes depósitos de basalto y emisiones piroclásticas de potente espesor que ocurrieron durante el Oligoceno-Mioceno, que posteriormente dieron lugar a la Sierra Madre Occidental. Para finales del Terciario, los eventos volcánicos fueron

de composición intermedia y máfica, en el transcurso de este periodo y el Cuaternario se emplazaron coladas de basalto de olivino y emisiones piroclásticas de composición máfica, así como el depósito de sedimentos clásticos continentales que rellenan las cuencas tectónicas (SPP, 1982). Finalmente en el Cuaternario se desarrollaron depósitos clásticos gruesos, medianos y finos de origen aluvial, eólico y lacustre.

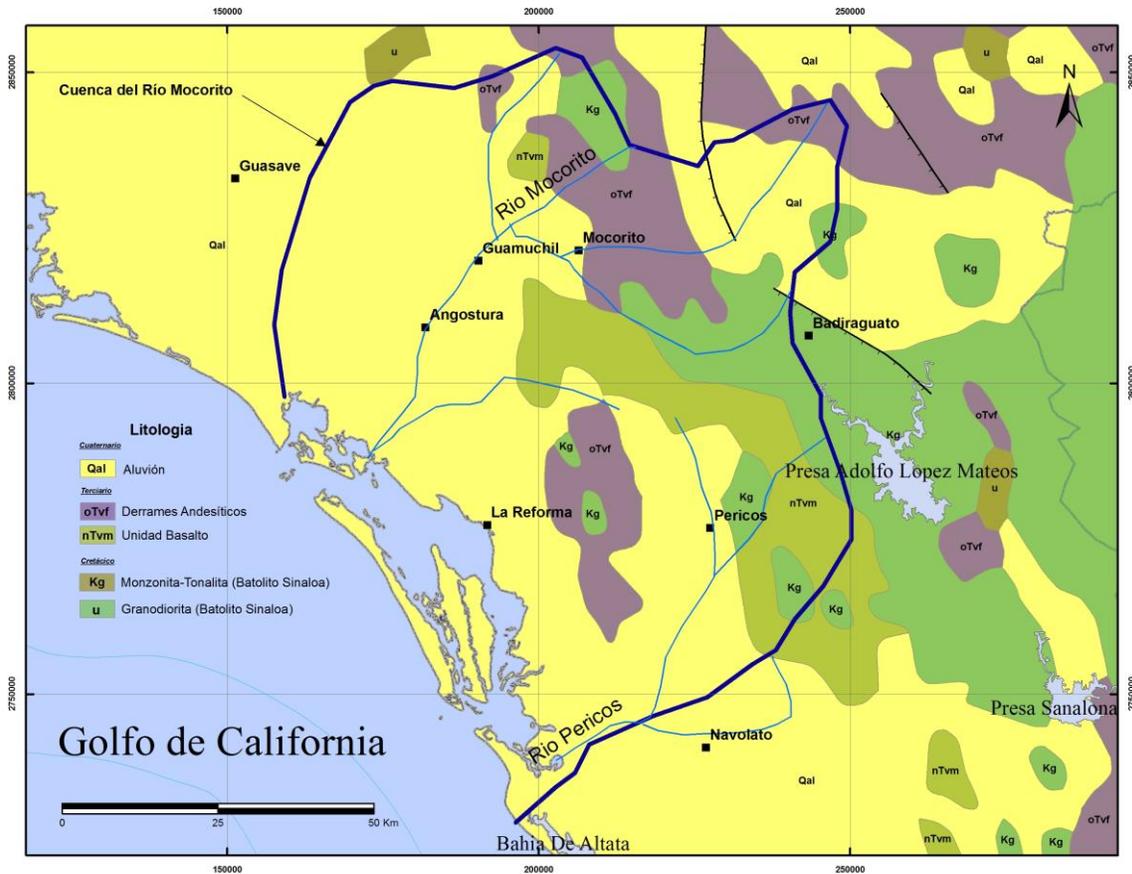


Fig. 5. 5 Marco geológico en la cuenca del río Mocarito

V.8. Intervención antropogénica

El papel del hombre en la distribución de los sedimentos es importante, ya que la utilización de embarcaciones con motor fuera de borda que son puestos en

marcha en las zonas más someras, resuspenden el sedimento; así como también el uso de diferentes artes de pesca (red de arrastre) modifican el fondo marino. El sistema lagunar ha sido dragado varias veces para construir canales de navegación y facilitar el libre tránsito de las embarcaciones. Así mismo, la construcción de la presa Eustaquio Balbuena en 1973 en la zona serrana del cauce natural del río Pericos, redujo considerablemente su aporte tanto sedimentario como de agua dulce. Cabe señalar que tanto el río Mocorito como el río Pericos solo descargan su caudal en épocas de lluvia. Actualmente la mayor influencia de agua dulce proviene principalmente de las aguas servidas de la actividad agrícola a través de los drenes situados en la parte central del sistema. La laguna costera Santa María- La Reforma está completamente rodeada de una de las zonas agrícolas más importantes del país. Esta actividad abarca toda la planicie costera central de Sinaloa, con una amplitud promedio aproximada de 40 km.

La modificación del flujo global de los sedimentos es causa de los mayores impactos en zonas costeras. Además de irrumpir el balance de los procesos sedimentarios de erosión y depósito (azolve de los cuerpos de agua), es necesario considerar que los sedimentos son un importante acarreador y fuente para los metales pesados y otros contaminantes, y juegan un papel importante en la removilización de los mismos para el medio ambiente acuático. La transferencia de metales a partir de sedimentos hacia los organismos, como un importante fuente de dichos elementos ha sido reportada (Zoumis et al, 2001).

VI MÉTODOS

VI.1.Muestreo

Se colectaron alrededor de 76 muestras de sedimentos superficiales, en puntos previamente establecidos (Fig. 6.1), de acuerdo a la morfología de la laguna y la posibilidad de acceso, procurando la marea alta para los sitios más someros. Para llevar a cabo dicho muestreo se hizo el recorrido en el sistema lagunar a bordo de lanchas y para la obtención de las muestras, se utilizó una draga tipo Van Veen. Las muestras obtenidas se almacenaron en hieleras, manteniéndolas a una temperatura aproximada de 4° C, para posteriormente congelarlas hasta su análisis correspondiente (Spanopoulos-Zarco, 2009). Asimismo se colectaron 41 muestras de agua representativas del cuerpo lagunar para cuantificar los sólidos suspendidos, por medio de botellas tipo Niskin horizontal en los puntos previamente determinados; el volumen muestreado fue de aproximadamente 4 litros, las profundidades de dichas muestras, en función de la batimetría; en los canales se tomaron muestras del fondo y de la parte subsuperficial. Para tener una idea de la influencia del ambiente marino, se midió la salinidad del agua en todas las estaciones usando un refractómetro portátil.

VI.2.Granulometría

Las muestras de los sedimentos superficiales se analizaron con un analizador de tamaño de partículas por difracción de un haz de luz láser (marca Coulter Modelo LS230) (Armstrong-Altrin et al., 2008), para lo cual la muestra debe de estar en el rango de tamaño de partículas de 0.045 (límite de medición; Eshel et al., 2004) a 2000 μm . Si la muestra se encuentra dispersa y seca, se puede analizar directamente en el equipo, (aproximadamente 0.1 g), y de esa manera obtener los parámetros texturales. En el caso de que la muestra presente gravas se tendrá que tamizar y separar de las arenas y lodos, las gravas se cuantifican al final (en este caso, las muestras obtenidas en el presente estudio no

presentaron gravas), una vez que la otra parte de la muestra fue analizada en el Coulter LS230 reajustándose los valores totales de la muestra. Se realizaron dos a tres repeticiones por muestra dependiendo de su homogeneidad (cuando la muestra es muy heterogénea se realizan como mínimo de 5 a 6 repeticiones y así poder obtener un promedio final). El siguiente paso es agitar y homogenizar la muestra y con un pipeta pasteur tomar una pequeña porción y adicionarla al equipo láser, posteriormente el equipo indicará la cantidad de muestra aceptable (rango entre 8 y 12 % de obscuración), para que el equipo pueda iniciar el análisis de tamaños de partículas. Una vez analizada la muestra, el equipo manda la información a la computadora y transforma la información detectada en una grafica (% de volumen de muestra vs. diámetro de partículas), y el listado de todos los tamaños de partículas detectados, el cual es exportado a una macro elaborada en Excel para obtener los parámetros estadísticos (texturales) de dicha muestra (tamaño grafico promedio, Mz; desviación estándar grafica inclusiva σ ; grado de asimetría grafica inclusiva, Ski; y curtosis, Kg).

VI.3.Determinación de carbonatos

El contenido de carbonatos (CO_3) se determinó por titulación del exceso de HCl 1N con NaOH 0.5 N añadido a una alícuota de sedimento seco y molido (Rauret et al., 1988; Alvarado-Zambrano, 2012). La actividad del ácido sobre los carbonatos presentes en el sedimento se representa en la siguiente reacción:



La técnica consistió en pesar una cantidad de sedimento (aprox. 1 g) y colocarla en un tubo de polipropileno, se agregaron 10 ml de HCl 1N (recién valorado con NaOH 0.5 N). Posteriormente, se agitó mecánicamente por 10 minutos y se centrifugo por 5 minutos a 2500 rpm. El líquido sobrenadante se separó y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 150 ml y se tituló con solución de

NaOH 0.5 N empleando fenolftaleína como indicador. El cálculo del porcentaje de carbonatos se llevó a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$\%CaCO_3 = [(V N) HCl - (V N) NaOH \times PM CaCO_3 \times 0.05] / \text{Peso muestra}$$

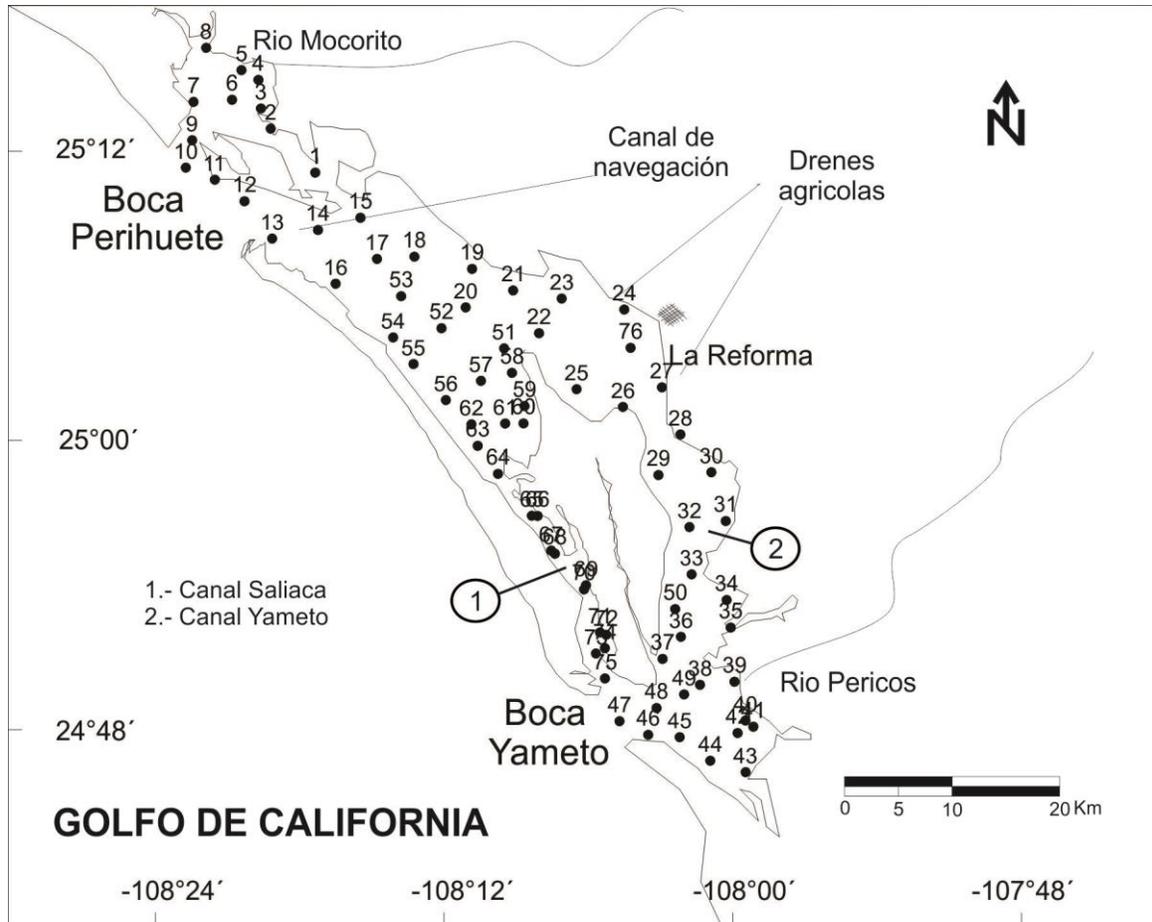


Fig. 6.1 Mapa de localización de muestras

La precisión de la técnica se corroboró mediante la valoración de triplicados de una muestra, obteniéndose un promedio de 23.78%. El límite de detección para esta técnica ha sido valorado en el laboratorio como 2.7% (Alvarado-Zambrano, 2011).

VI.4.Determinación de carbono orgánico

Los valores de carbono orgánico presentes en los sedimentos del área de estudio se determinaron por la técnica de pérdida por ignición (Dean, 1974; Bojórquez-Sánchez, 2011), que consiste en pesar una cantidad (aprox. 0.5 g) del sedimento seco y molido, la cual se colocó en un crisol previamente pesado, para posteriormente someterla a una temperatura de 550 °C en un periodo de 2 h dentro de una mufla marca Vulcan A-1750, después se dejó enfriar a temperatura ambiente, una vez que se enfrió se pesó nuevamente, y por diferencias de peso y regla de tres se obtuvo el peso perdido en porcentaje del carbono orgánico.

VI.5.Mineralogía de la fracción limo-arcillosa

En total se tomaron 30 muestras para el análisis de la mineralogía de arcillas, de las cuales 10 fueron tomadas para el análisis de la mineralogía de limos (Fig. 6.2). La abundancia relativa de los minerales arcillosos se determinará con el método semicuantitativo sugerido por Biscaye (1965), adaptado por Heath y Pias (1979). Como se puede observar en la (Fig. 6.3), se eliminará la materia orgánica de cada muestra de sedimento con H₂O₂ (30%), para posteriormente separarlas de las arenas por el método de tamizado (apertura de 63 μ de los limos y las arcillas y estos por decantación y centrifugado (Ruiz-Fernández, 1999; Green-Ruiz et al., 2006). Una vez que se haya obtenido la fracción arcillosa, se procederá a montar las láminas añadiendo una gota de mezcla arcilla-agua en portaobjetos circulares de 1cm de diámetro y se dejarán que se sequen a temperatura ambiente por un período de 24 horas, las laminas serán analizadas en un difractor de rayos X marca SIEMENS el cual emplea un software ifracc/AT versión 3.11, usando radiación de CuK (a una velocidad de barrido de 2 φ por minuto).

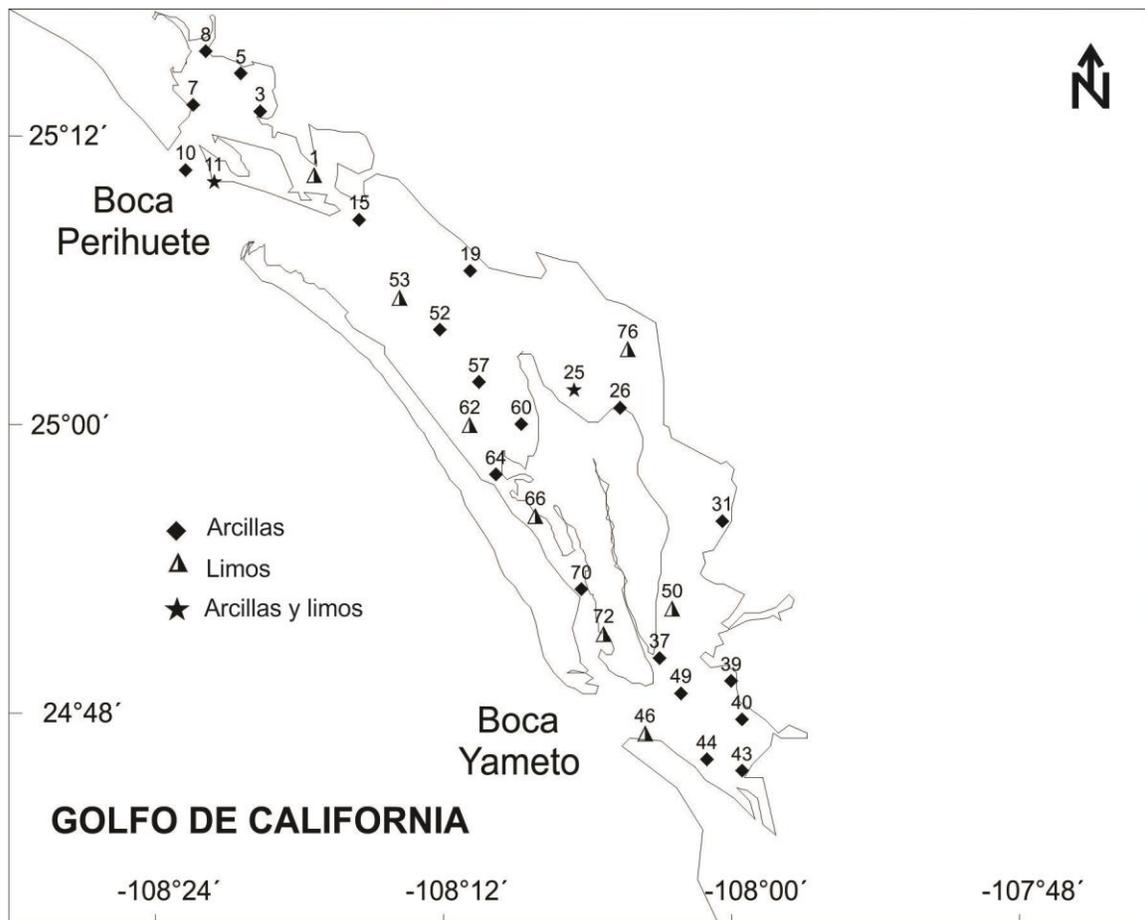


Fig. 6.2. Localización de muestras para el análisis limo-arcilloso de los sedimentos de la laguna Santa María- La Reforma

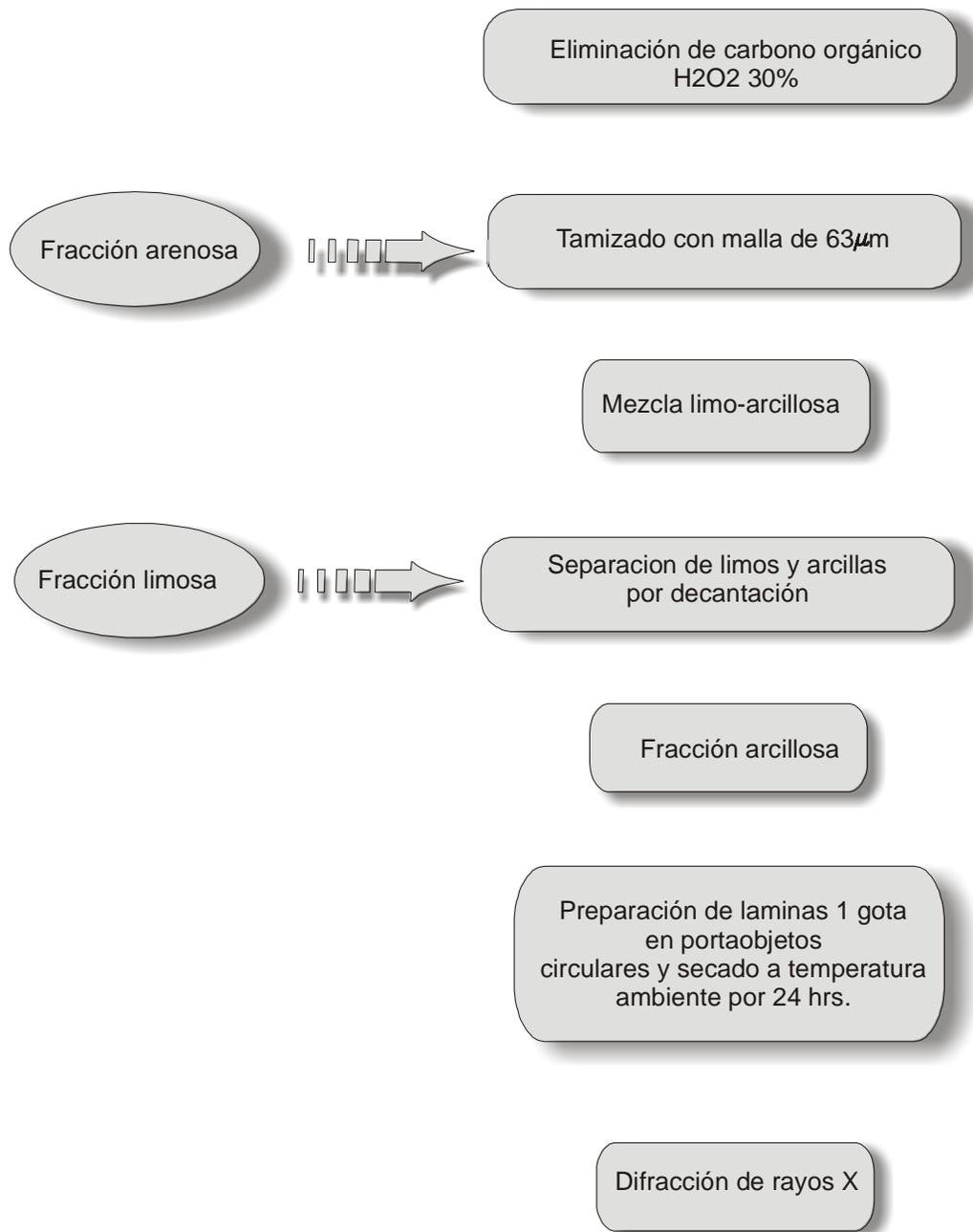


Fig. 6.3. Análisis de la abundancia relativa de los minerales arcillosos de acuerdo con Biscaye (1965) adaptado por Heath y Piasias (1979).

VI.6. Mineralogía de la fracción arenosa

La composición mineralógica de la fracción arenosa se determinó por medio de un análisis modal bajo la técnica de conteo de puntos propuesta por Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984; Armstrong-Altrin et al., 2012). Dicha técnica consiste en determinar la composición de los granos de arena, contando estos en un microscopio petrográfico (OLYMPUS BH2) (aprox. 300 partículas), 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 de coordenadas (x-y). Se diferenciaron los granos del sedimento localizados en el centro de la retícula de acuerdo a su composición mineralógica (Tabla 6.1). En total se analizaron 20 muestras, las cuales se seleccionaron en función de su localización dentro de la laguna (Fig. 6.4), tratando de abarcar toda el área de estudio; dichos análisis se realizaron en las instalaciones del laboratorio de petrología del CICESE en la Cd. de Ensenada, B.C., bajo la supervisión del Dr. Arturo Martín Barajas.

Tabla 6.1 Componentes considerados en el análisis de la composición mineralógica de la fracción arenosa del sedimento de Santa María-La Reforma.

Componentes mineralógicos	
CUARZO	(Q)
FELDESPATO	(F)
PLAGIOCLASA	(P)
LÍTICOS VOLCÁNICOS	(Lv)
LÍTICOS SEDIMENTARIOS	(Ls)
LÍTICOS METAMÓRFICOS	(Lm)
DENSOS	(D)
MISCELÁNEOS	(M)
PEDERNAL	(Ch)

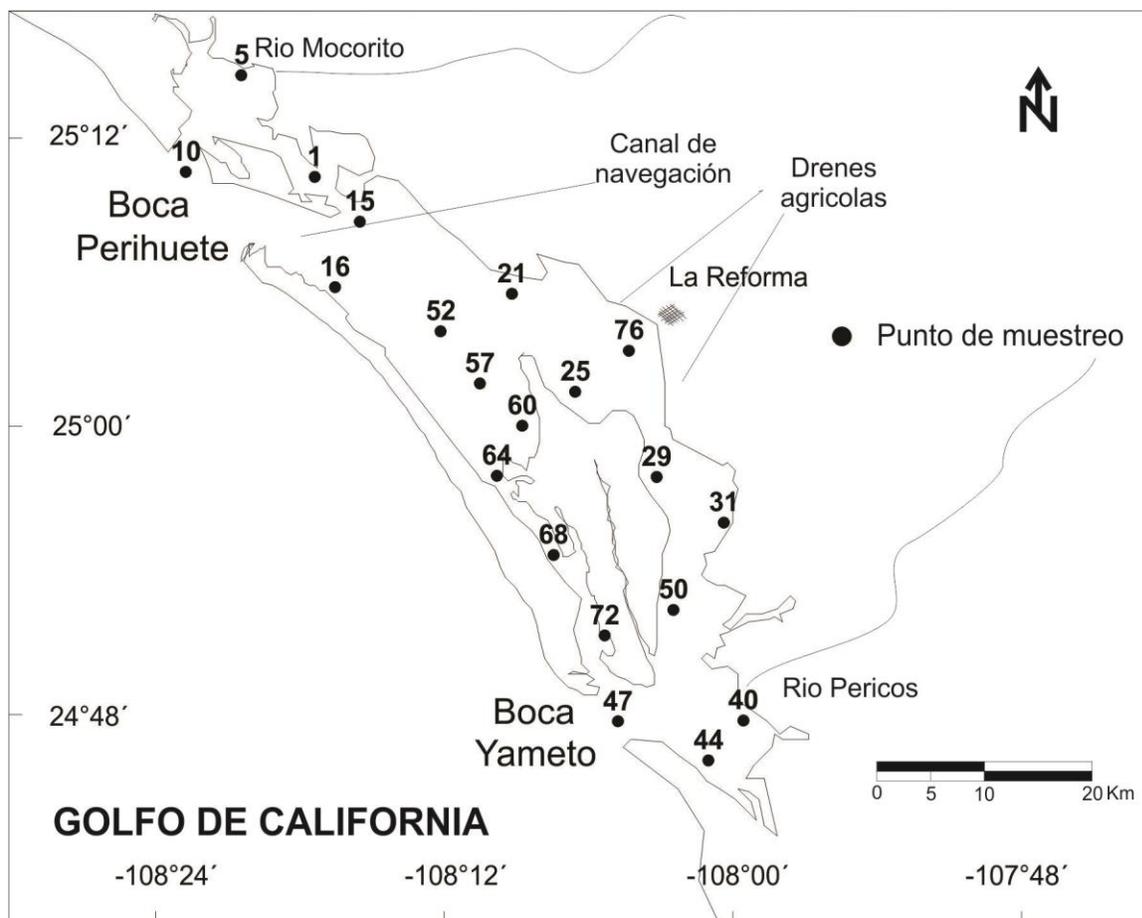


Fig. 6.4 Localización de muestras para determinar composición mineralógica

VI.7.Determinación de los minerales pesados

La determinación de los minerales pesados (MP) se calculó considerando todas las fracciones de la muestra, separando los minerales ligeros mediante el uso del bromoformo (CHBr_3); líquido de densidad 2.84 g/ml, según el criterio definido por Krumbein y Sloss (1969), dicho método consiste en colocar en un embudo de separación, de 250 ml de capacidad, aproximadamente 100 ml de bromoformo y dejar caer los sedimentos, previamente pesados. Dentro del embudo, después se agita vigorosamente y se espera a que, debido a la diferencia de densidades se depositen los minerales pesados y floten los ligeros en el bromoformo, posteriormente se filtran los minerales para secarlos y pesarlos.

Relacionando el peso total de la muestra con el de los minerales pesados se obtiene el porcentaje correspondiente.

VI.8.Sólidos suspendidos totales

Para el filtrado del agua se utilizaron filtros Millipore GF/F de fibra de vidrio de 0.45 μm , previamente secados en una estufa a 40° C y pesados en una balanza analítica. Se filtraron determinados volúmenes de agua para cada filtro, dependiendo de la estación hasta llegar a la saturación del mismo y agregando posteriormente en cada filtro agua destilada para remover las sales retenidas. Después se colocaron los filtros dentro de cajas de Petri en una estufa a 40° C durante 72 horas, posteriormente fueron pesados y por diferencia se determinó la cantidad de sólidos suspendidos (Chanin et al., 1958, APHA-AWWA-WPCF, 1989).

Cálculos:

$$\text{SST (mg/L)} = \frac{\text{peso de membrana con muestra (g)} - \text{peso membrana sin muestra (g)}}{(1 \times 10^6) \text{ ml de muestra filtrados}}$$

VI.9.Estadística

Es evidente que el uso de la Estadística en la Sedimentología es muy importante, ya que al realizar una adecuada interpretación gráfica y estadística de un análisis granulométrico, podemos comprender con mayor facilidad los procesos actuales y por consiguiente inferir los procesos que se llevaron a cabo en un ambiente sedimentario del pasado geológico, lo cual tiene una implicación tanto científica como económica.

La aplicación de métodos de análisis multivariantes, específicamente Análisis de componentes Principales (ACP) al tratamiento de datos, facilita el estudio cuando se trabaja con una amplio conjunto de variables y muestras,

resuelve problemas como la clasificación y agrupamiento de éstas y ayuda a conocer la estructura interna de los grupos (Jöreskog *et al.*, 1976), una vez que se obtuvieron los datos correspondientes a todas las variables descritas en párrafos anteriores, la aplicación de este método se realizó con un paquete estadístico (STATISTICA ver.7) a fin de establecer asociaciones o interrelaciones entre éstas y poder definir los subambientes sedimentarios. Se realizaron tres aproximaciones: la primera utilizando solamente la información de los parámetros texturales del sedimento; la segunda, incluyendo los datos de la mineralogía, y la tercera, agregando los valores de sólidos suspendidos totales y de los contenidos de carbonato y carbono orgánico.

Asimismo, se realizaron pruebas de T student, con el fin de encontrar diferencias significativas que contribuyan a la diferenciación de los subambientes sedimentarios.

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1. Granulometría

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico los parámetros estadísticos fueron los siguientes:

Tamaño medio (Mz_{σ}) indica el tamaño promedio de los granos del sedimento, sus valores se reportan en unidades φ ($\varphi = -\text{Log}_2 D$; $D =$ diámetro expresado en mm). Las 76 muestras del sistema Santa María-La Reforma presentaron valores que fluctuaron entre los 1.6 y 6.6 σ , teniendo un promedio de 2.8 σ (Tabla 7.1); dicho valor las sitúa dentro de la clasificación de arenas finas según la nomenclatura de Folk y Ward (1957). Las fracciones más finas de los sedimentos, se restringen a la zona donde convergen las corrientes de marea, en conjunción con las zonas más someras; es decir donde la energía es mínima. Las fracciones más gruesas se distribuyen a lo largo de los canales, siendo las zonas más profundas; y en las bocas, en las cuales la energía es máxima. En las riberas lagunares de la parte central, la textura varía gradualmente de limos gruesos a arenas finas (Fig. 7.1).

Tabla 7.1 Promedios generales de los parámetros texturales de los sedimentos del sistema lagunar Santa María-La Reforma Mz_{σ} es el tamaño promedio; σ_{σ} es la desviación estándar (clasificación); SkI_{σ} es el sesgo y KG_{σ} es la curtosis.

	Mz_{σ}	σ_{σ}	SkI_{σ}	KG_{σ}
Promedio:	2.82	1.08	0.13	1.50
Desviación Estándar:	0.92	0.69	0.33	0.66

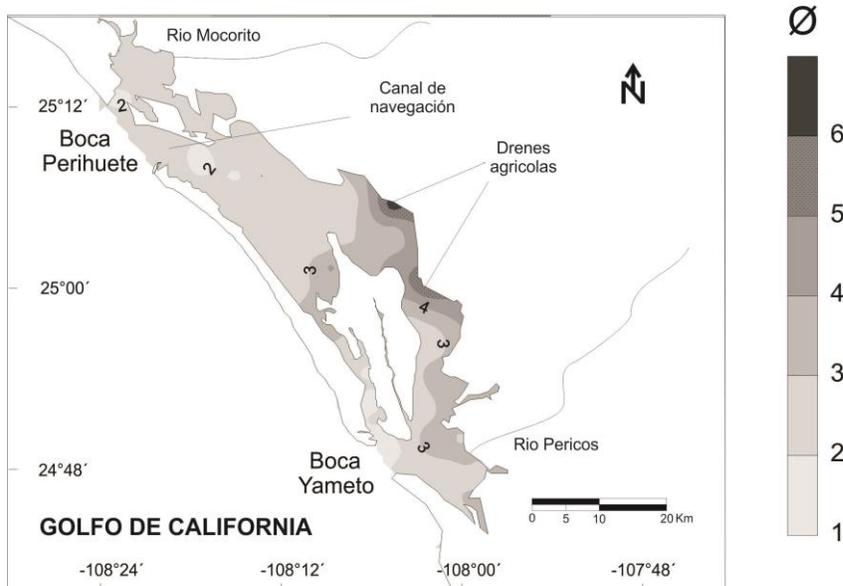


Fig.7.1 Distribución del tamaño promedio en el sistema lagunar

Analizando los histogramas de frecuencia para las 76 muestras colectadas, se observó que 15 de ellas presentaron bimodalidad, las cuales se dividieron en 5 grupos en función de su ubicación geográfica (Fig. 6.2; Anexo I).

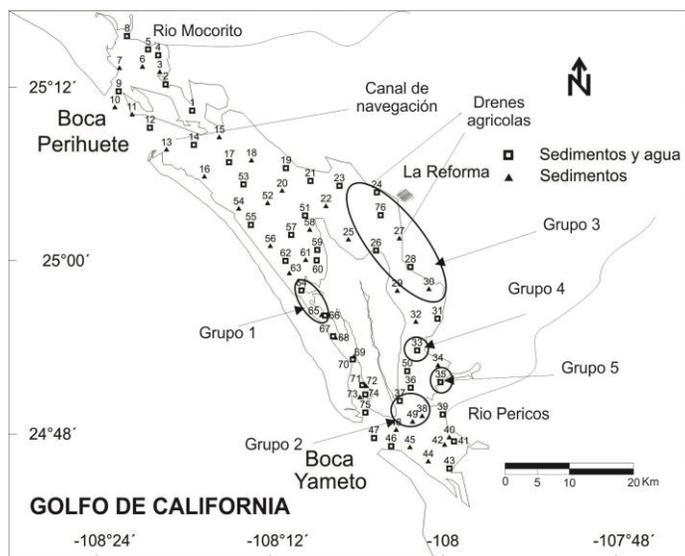


Fig. 7.2 Ubicación de los grupos bimodales en el sistema lagunar Santa María- La Reforma.

El grupo 1 esta conformado por las estaciones 64, 65 y 66, las cuales se encuentran localizadas en las inmediaciones del canal Saliaca entre la isla Talchichiltle y la isla de Altamura. La estación 64 es la más representativa de este grupo, ya que fue la estación que mostró la bimodalidad más marcada (Fig. 7.3), conformada por dos poblaciones compuesta de arenas finas y limos medios. La presencia de dichas poblaciones se debe quizá al choque de corrientes que al converger, pierden energía, suscitando con esto el asentamiento de su carga sedimentaria.

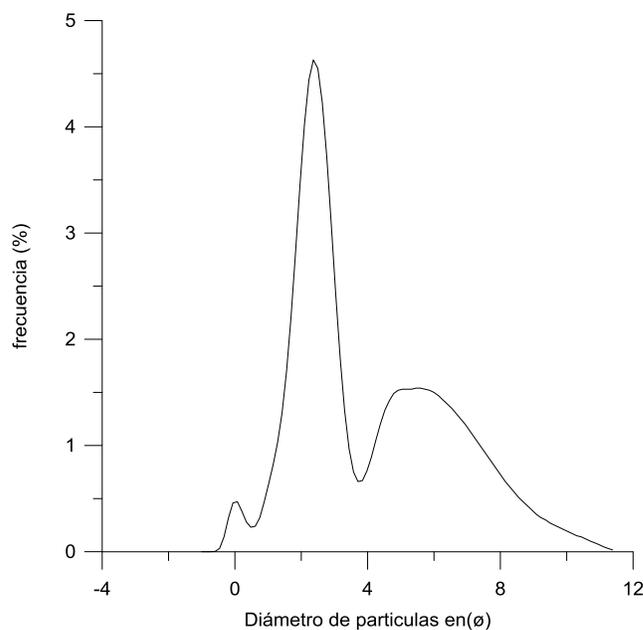


Fig. 7.3 Distribución bimodal de la estación 64

El grupo 2, compuesto por las estaciones 37, 38 y 49 ubicadas en la porción sur del sistema, en la entrada del canal Yameto, siendo la estación 49 la más representativa (Fig. 7.4). La bimodalidad en esta área, se debe quizás a la batimetría, ya que en la zona existe una pequeña depresión quasicircular aunada a la estrechez de la entrada del canal Yameto, donde las corrientes de marea, pierden fuerza al entrar, debido al cambio en la morfología del fondo, originando con esto el depósito del material acarreado.

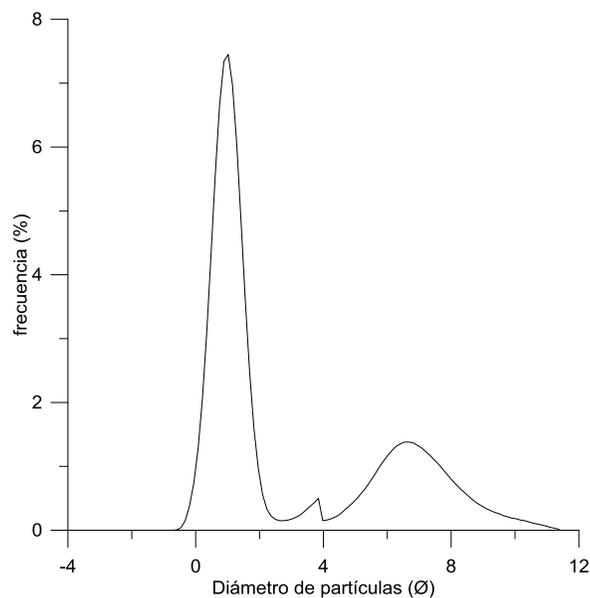


Fig. 7.4 Distribución bimodal de la estación 49

El grupo 3 consta de las estaciones 24, 26, 27, 28, 30 y 76, de las cuales la 24 y la 28 presentan bimodalidad más acentuada (Figs. 7.5 y 7.6). Dicho grupo se encuentra en forma paralela a las riberas lagunares del sistema, en la cercanía del poblado de La Reforma, en donde se presentan las zonas más someras del sistema y donde convergen las corrientes de marea. La combinación de dichos elementos da la pauta para poder inferir que dichos factores son los responsables de la bimodalidad en estas estaciones, ya que es una zona propicia para el depósito de sus cargas sedimentarias debido a la pérdida de fuerza a causa de la fricción de las corrientes con el fondo del sistema lagunar. Ahora bien, las estaciones 24 y 28, están constituidas en gran parte por material muy fino, comparadas con todas las estaciones en la zona de estudio. Dichas estaciones se encuentran ubicadas en los límites de la costa, donde existen algunos drenes de descarga hacia la laguna, que traen en mayor parte material muy fino que es redistribuido por las corrientes presentes en el lugar. Las estaciones que están cercanas a ellas se ven influenciadas en su comportamiento textural.

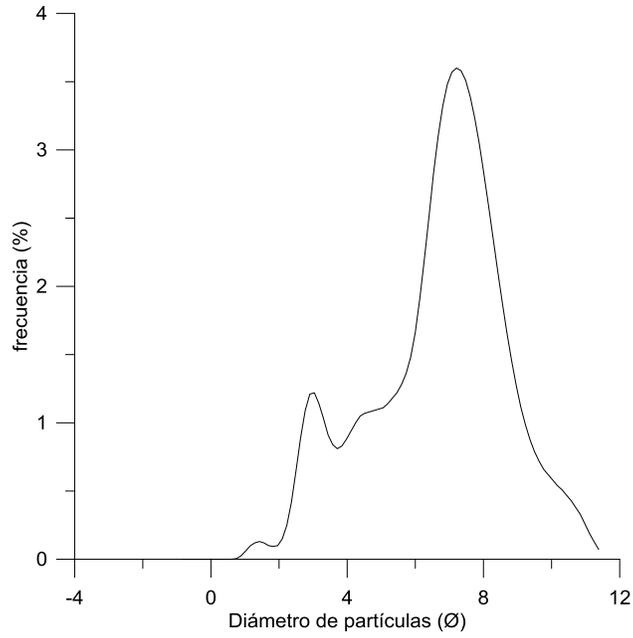


Fig. 7.5 Distribución bimodal de la estación 24

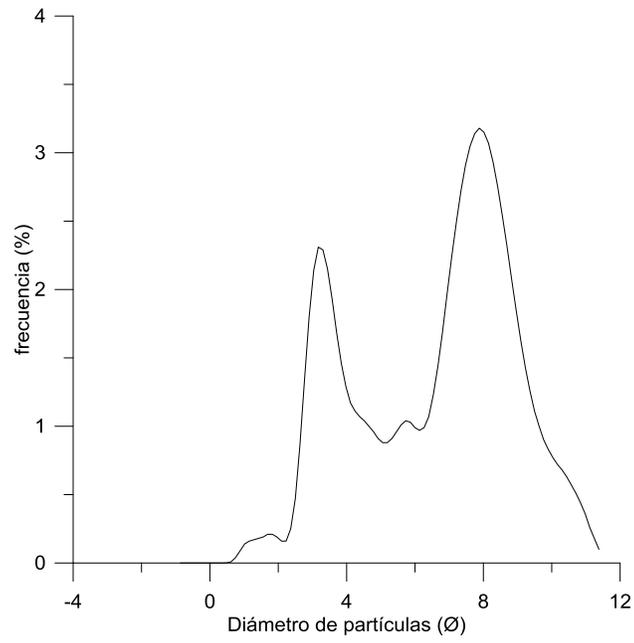


Fig. 7.6 Distribución bimodal de la estación 28

El grupo 4, que está localizado en la parte más estrecha del canal Yameto al sureste del cuerpo lagunar (estación 33), se caracteriza por presentar dos poblaciones de sedimentos, una dominada por limos medios y otra por arenas finas (Fig. 7.7). La co-existencia de ambas poblaciones puede deberse a que esta zona es un área de encuentro de dos corrientes de flujo en sentido contrario lo que ocasiona que las velocidades disminuyan hasta que se anulen una a otra, creando una zona de calma y por tanto de depósito de material fino (limos y arcillas), mientras que la cercanía del margen este de la laguna y de los drenes agrícolas (al norte) y de la desembocadura del río Pericos (al sur) explica el aporte de sedimentos de mayor tamaño (arenas).

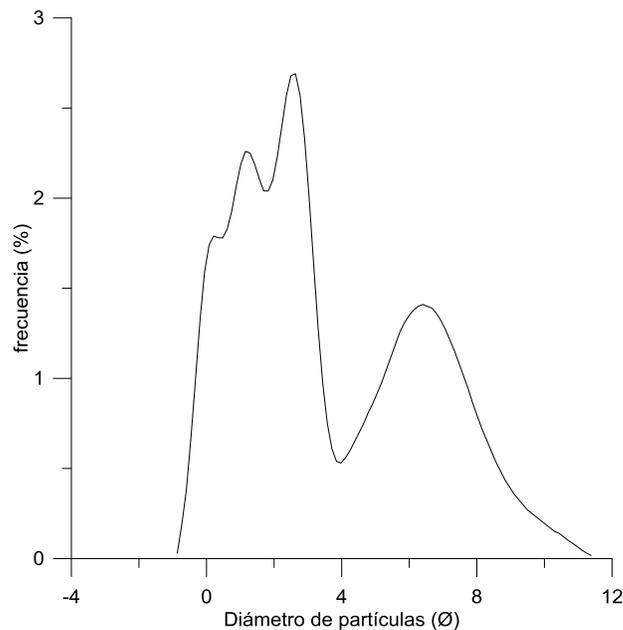


Fig. 7.7 Distribución bimodal de la estación 33

Por último el grupo 5 conformado por la estación 35 (Fig 7.8), presentó 2 poblaciones compuestas de limos finos y arenas finas. Esta estación se encuentra ubicada en la boca de un estero, lo cual nos indica que, probablemente es de esa zona donde provenga el material fino.

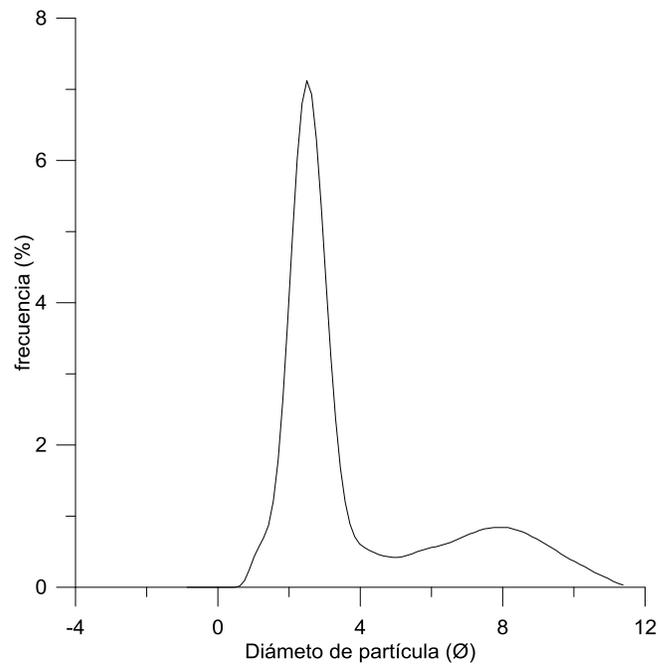


Fig. 7.8 distribución bimodal de la estación 35

El grado de selección (σ_s) osciló entre los 0.4 y 2.8 σ , con un promedio de 1.1 σ , indicando, que en términos generales, los sedimentos están moderadamente seleccionados. En las zonas cercanas a las riberas lagunares se observó un cambio gradual de selección de grano de muy mal seleccionado a moderadamente seleccionado; dichas variaciones nos pueden sugerir la existencia de variaciones hidrodinámicas, en las cuales se suceden rápidamente periodos de calma y de circulación. En la parte central se observó una moderada selección. El mejor grado de selección se observó en la porción centro y centro-sur del canal de Altamura, el cual recibe las arenas bien clasificadas que son transportados por el viento desde las dunas de la isla del mismo nombre (Fig.7.9).

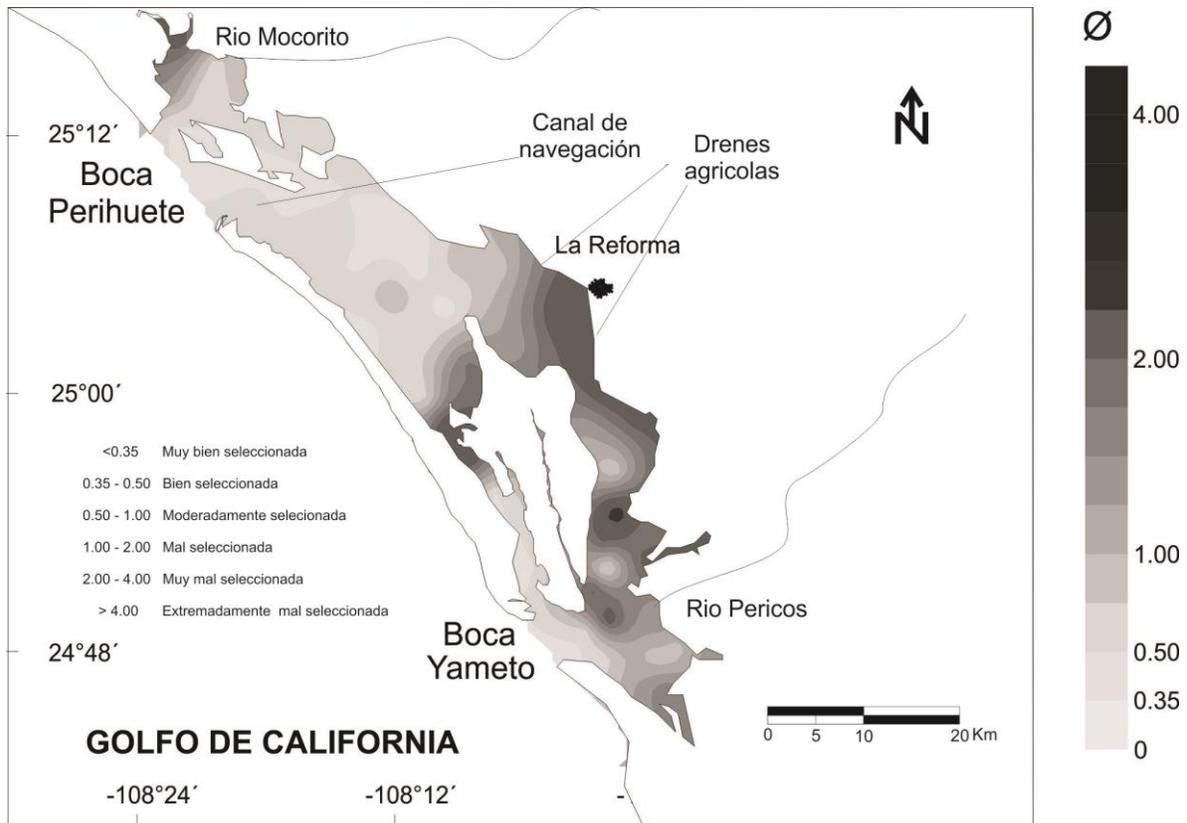


Fig.7.9 Distribución de la selección de grano en el sistema lagunar

El sesgo (Sk_0) es un parámetro estadístico que representa el grado de asimetría de la curva de distribución de frecuencia. Los valores son positivos cuando la población de sedimentos contiene exceso de material fino y la curva presenta una cola hacia la derecha; la asimetría negativa o curva con cola a la izquierda nos representa el exceso de material grueso. De acuerdo con Carranza-Edwards (1980), Nolasco-Montero y Carranza-Edwards (1987), Kasper-Zubillaga y Carranza-Edwards (2005), los valores de sesgo reflejan la influencia de procesos costeros (i.e. variación de las condiciones de energía en el ambiente sedimentario, intensidad y duración del agente durante el depósito de los sedimentos) en la distribución del tamaño de las partículas sedimentarias y la mezcla de material biogénico (fragmentos de concha) y litogénico. Los resultados obtenidos para dicho parámetro presentaron un mínimo de -0.5 (fuertemente sesgado hacia los gruesos) y un máximo de 0.7 (fuertemente sesgado hacia los finos), con un

promedio total de 0.1, lo que se traduce que en términos generales la curva se comporta casi simétrica; en términos granulométricos, de manera muy general, nos refleja un ambiente homogéneo. Los valores positivos del sesgo (Fuertemente sesgados a los finos) quedan restringidos a la porción central y sur del cuerpo lagunar concretamente cerca del poblado de La Reforma y cerca de la desembocadura del río Pericos (Fig. 7.10) influenciados por la descarga de los drenes agrícolas y por las condiciones hidrodinámicas que predominan en dicha zona ya que están asociadas a zonas de menor velocidad (ver Hidrodinámica), tal como se menciona en párrafos anteriores, es importante mencionar que en esta zona se localizaron valores altos de los carbonatos aun cuando existe una correlación negativa de los valores del sesgo con los carbonatos ($r = -0.05$), lo cual es debido a que ésta es una zona de desconche.

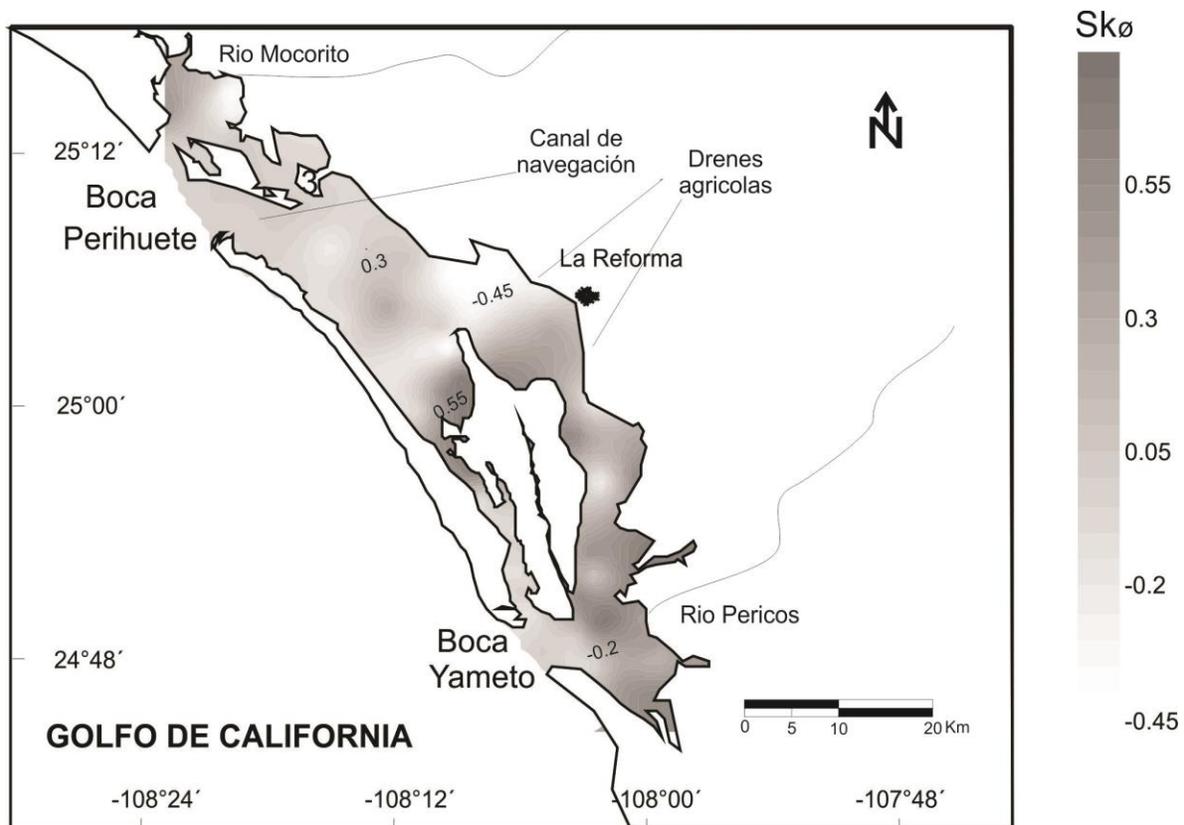


Fig.7.10 Distribución del sesgo en el sistema lagunar

La curtosis (KG_o) es la medida de la relación entre el grado de clasificación de las colas y la parte central de la curva. Cualitativamente describe el alejamiento de una curva normal. Nordstrom (1977) discute que los valores de curtosis están fuertemente relacionados con las variaciones de energía y el régimen del oleaje, exponiendo además, que los valores altos del parámetro son registrados en las playas de baja energía. Los sedimentos del sistema lagunar en general presentaron un valor mínimo de 0.7 y un máximo de 3.2, con promedio general de 1.5, indicando una curva platicúrtica.. En general, en los resultados obtenidos es notoria la predominancia de sedimentos platicúrticos y en cuanto a su distribución geográfica se aprecia una amplia distribución geográfica a lo largo y ancho del sistema lagunar lo que nos refleja una nula predominancia de algún tamaño.

VII.2.Relación entre parámetros texturales

Se relacionaron los parámetros texturales, tanto tamaño medio (Mz) contra grado de selección (Fig. 7.11), como tamaño medio contra asimetría (Fig. 7.12). En función de la similitud en sus características granulométricas, aunado a su localización geográfica, se distinguieron cuatro grupos (Fig. 7.13). En las figuras mencionadas se observan a primera instancia dos conjuntos de datos, que al verificar su ubicación geográfica permite diferenciarlos en cuatro grupos sedimentarios; de los cuales el que contiene mayor número de muestras es el grupo IV, abarcando un total de 31 muestras; éste grupo junto con el grupo I fueron los que presentaron mejor grado de selección, y mayor tamaño de las partículas. El tamaño medio osciló de arenas medias hasta arenas muy finas; es decir, en algunas zonas muy locales hay aporte de material fino, por lo tanto no hay una población que predomine una sobre otra. Otro factor importante es la hidrodinámica, ya que al estar localizados en zonas donde la energía es alta, el tamaño de grano es más grueso ($2.4 \pm 0.3 \sigma$). En contraparte, los grupos II y III, son los que presentaron el peor grado de selección. Las fracciones mas finas se encuentran en dichos grupos los cuales se ubican en una zona donde hay aporte

fluvial, reflejándose en la asimetría, ya que presentan un sesgo hacia los gruesos. El grupo que presentó la mejor simetría en su curva de frecuencia fue el grupo I, esto se debe a que en la zona donde se localizó, hay aporte eólico de las dunas. En conclusión la comparación de estos parámetros nos permite delimitar zonas que tienen características granulométricas similares.

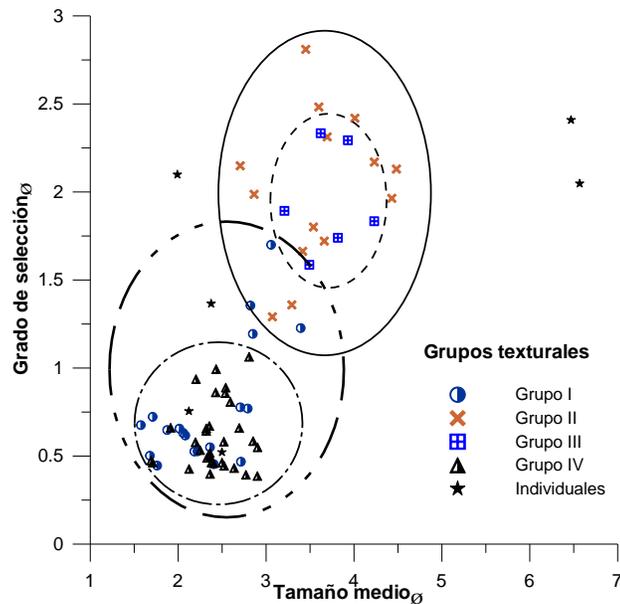


Fig. 7.11 Tamaño medio de grano contra grado de selección

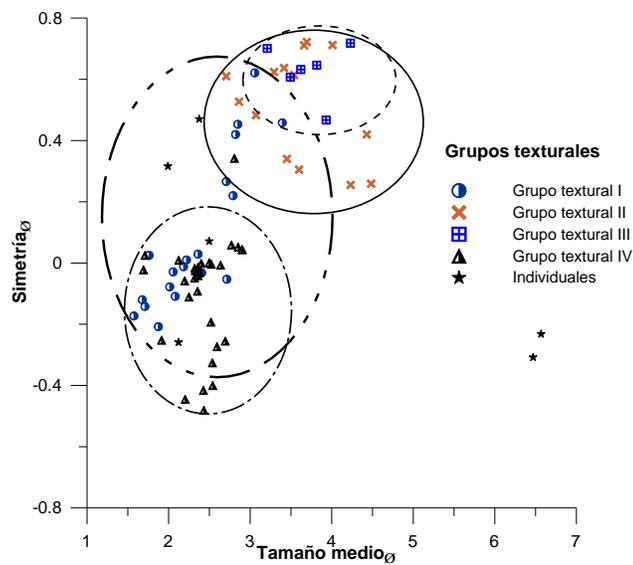


Fig. 7.12 Tamaño medio de grano contra simetría

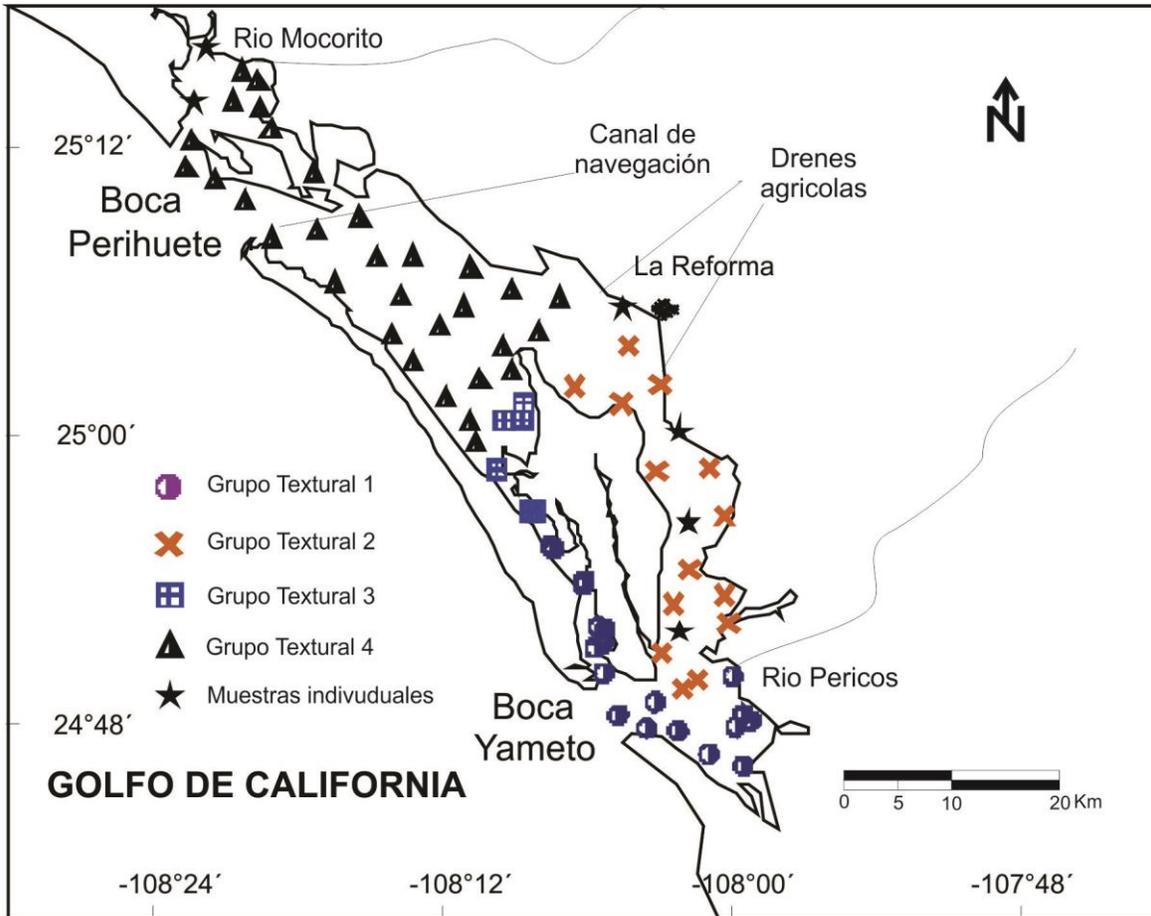


Fig. 7.13 Localización geográfica de los grupos texturales

Para reforzar la identificación de áreas con características texturales similares, se procedió a realizar un análisis de componentes principales. Dicho análisis dió como resultado la presencia de 2 componentes principales, los cuales explican el 84.7 % de la varianza (Tabla 7.2). El primer componente explica el 58.1 de la varianza y se caracteriza únicamente por tener cargas negativas (< -0.7) para el Mz_{σ} , σ_{σ} , Sk_{σ} , (Tabla 7.3); mientras que el segundo componente solo agrupo al KG_{σ} con carga negativa, explicando el 26.6 % de la varianza. De esta manera se manifiesta la independendencia de este parámetro con respecto a los demás parámetros analizados. La Fig. 7.14 nos muestra que el grupo IV, se encuentra claramente diferenciado de los demás. El grupo III, solo se encuentra

diferenciado por su posición geográfica, ya que se encuentra separado de los demás por una barrera física como lo es la isla Talchichiltle.

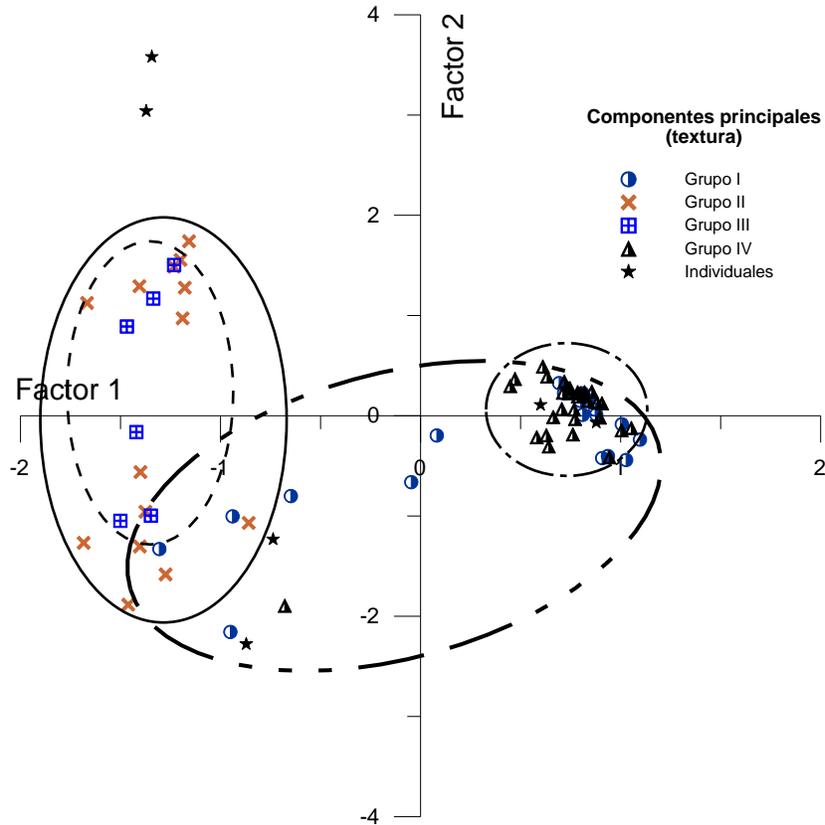


Fig. 7.14 Grafica de los componentes principales texturales

Tabla 7.2 Análisis de componentes principales para los parámetros texturales

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componentes	Eigenvalores	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	2.3	58.1	2.3	58.1
2	1.1	26.6	3.3	84.7

Tabla 7.3 Cargas de los parámetros en los dos componentes principales

	C1	C2
Mz_σ	-0.75	0.54
σ_σ	-0.91	0.21
SK_σ	-0.82	-0.26
KG_σ	-0.47	-0.81

Para reforzar aún más la demarcación de las diferentes facies sedimentarias presentes en el sistema lagunar, se procedió a buscar diferencias significativas mediante una prueba T student,. Dicho análisis se llevó a cabo tomando en cuenta solo tres de los cuatro parámetros texturales ya que la kurtosis fue muy homogénea en todo el sistema. En la Fig. 7.13 se observa la localización de los grupos texturales. El grupo I con respecto al grupo II presentó sedimentos significativamente más gruesos, mejor grado de selección y sesgo hacia los gruesos (Tabla 7.4). El grupo I con relación al grupo III mostró partículas significativamente mas gruesas, mejor grado de selección y sesgo hacia los gruesos, sin embargo el grupo I con respecto al grupo IV no presentaron diferencias significativas, pero geográficamente se encuentran separados por el grupo III, el cual a su vez sí presento diferencias significativas con el grupo IV, mostrando sedimentos mas finos, menor grado de selección y sesgo hacia los finos con respecto al grupo anteriormente señalado. Por otra parte, entre los grupos II y III no se observaron diferencias significativas, aunque geográficamente se encuentran separadas por la isla Talchichiltle como se menciona anteriormente. Por último entre los grupos II y IV sí se observaron diferencias significativas en los tres parámetros analizados; presentando el grupo II menor tamaño de grano y grado de selección, y sesgo hacia los finos.

Tabla 7.4 Diferencias significativas entre los parámetros texturales de los 4 grupos

Grupos	Mz_{σ}	σ_{σ}	Sk_{σ}
I	2.3 ± 0.5^{ab}	0.8 ± 0.4^{ab}	0.1 ± 0.2^{ab}
II	3.6 ± 0.5^{ac}	2.0 ± 0.4^{ac}	0.5 ± 0.2^{ac}
III	3.7 ± 0.4^{bd}	1.9 ± 0.3^{bd}	0.6 ± 0.1^{bd}
IV	2.4 ± 0.3^{cd}	0.6 ± 0.2^{cd}	-0.1 ± 0.2^{cd}
^a I y II; ^b I y III; ^c II y IV; ^d III y IV			

VII.3. Contenido de carbonatos

El contenido de carbonatos (CO_3) presentes en los sedimentos superficiales del sistema lagunar oscilaron entre los 2.9 % y 57.1 %, con un promedio de 18.9%. Los valores más altos se encontraron en bancos calcáreos aislados (Fig. 7.14). Aun cuando en la literatura se maneja que los carbonatos están asociados a sedimentos de mayor tamaño y que, en general, no se presentó una correlación significativa ($r=0.02$) entre los valores de contenido de carbonatos y el tamaño promedio de los sedimentos, dichas anomalías se restringen a la porción centro y sur del sistema, asociadas a zonas de arenas medias a finas. En la porción central, los valores altos también se deben a que en dichas zonas se vierten desechos de moluscos derivados de la actividad pesquera de la región (desconchaderos). Este sistema es muy importante para la pesquería de moluscos, principalmente de almeja blanca (*Chione californiensis*) y pata de mula (*Anadara sp*), que sustentan mayoritariamente la captura registrada como almejas (Lyle-Fritch, 2003). Los valores que se localizaron en la porción norte y en las inmediaciones del canal Saliaca se deben quizá a que en estas zonas se registran

las menores velocidades y profundidades más someras, favoreciendo el desarrollo de organismos de composición calcárea, aunado a la presencia de bosques de manglar que sirven como sustrato para dichos organismos.

Los valores altos de carbonatos cerca de la desembocadura del río Mocorito están asociados a arenas medias y a la presencia de bosques de manglar.

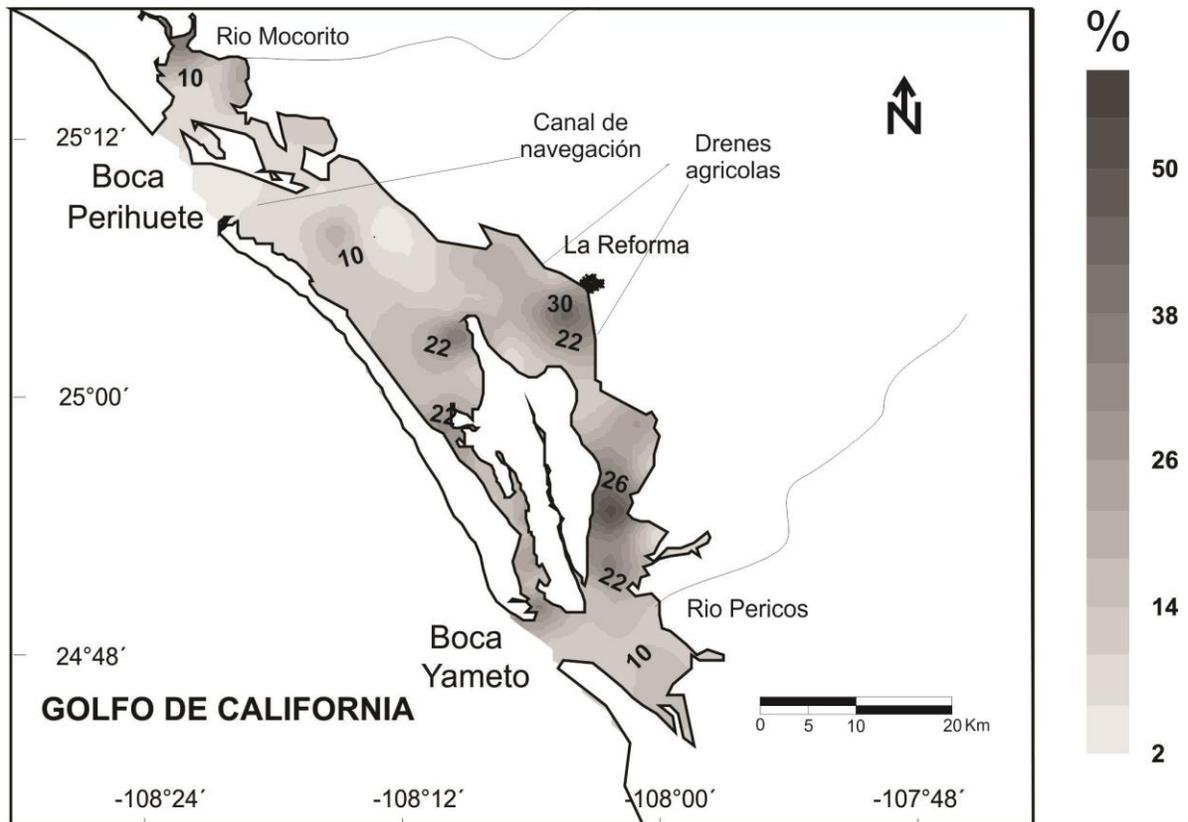


Fig. 7.14 Distribución espacial del contenido de carbonato. Los valores altos observados en la porción norte y el canal Saliaca se localizan en bancos calcáreos en los bosques de manglar.

VII.4. Contenido de carbono orgánico

Los valores de carbono orgánico contenidos en los sedimentos del área de estudio fluctúan entre 1.2 % y 13.0 %, con un promedio de 4.2 %. Los valores más altos se encontraron en las cercanías del poblado La Reforma y en la boca

Yameto, así como en la porción sur de la isla Altamura y en las bocas de varios esteros presentes en el área en cuestión; debiéndose en gran parte por el aporte fluvial del sistema hidrológico que acarrea material orgánico en las crecidas hacia el sistema lagunar, distribuyéndose principalmente en las ensenadas y bahías de la laguna. Los valores intermedios son los que predominan en dicho sistema. Los valores mínimos se encuentran en la boca Perihuete, obedeciendo tal vez a la alta energía presente, debido a las corrientes de marea que no permiten la acumulación de materia vegetal (Fig 7.15)

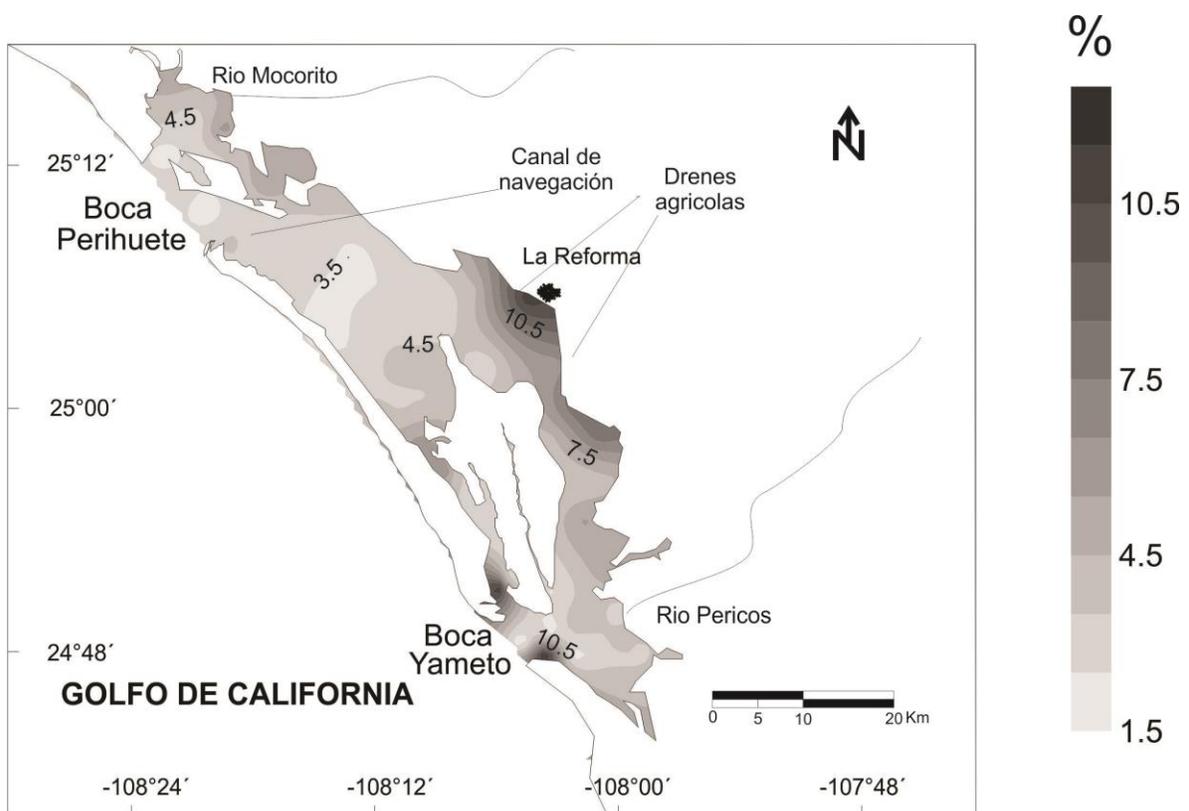


Fig. 7.15 Distribución espacial del Carbono orgánico.

VII.5. Mineralogía de la fracción arcillosa

El análisis de difracción de rayos X, de la fracción limo-arcillosa de los sedimentos del área de estudio, indicó que todas las muestras analizadas

exhibieron una mineralogía muy similar; por lo tanto, este parámetro no pudo ser utilizado como un criterio para subdividir los subambientes sedimentarios presentes en el área de estudio. En la Fig. 7.16 se muestra el resultado del análisis de 3 muestras seleccionadas de distintos lugares dentro del sistema, y se observa que los difractogramas de dichas muestras son muy similares, tomando en cuenta lo anterior, no se realizó el análisis semicuantitativo correspondiente. Se presentan una serie de picos de altura similar (formando una meseta) entre los 7.16 y 14.04 Å, que corresponden a los minerales más abundantes y que pertenecen al grupo de la caolinita-clorita (aproximadamente 7 Å) y de la illita (aproximadamente 10 Å). Respecto a la continuidad de la meseta hasta una distancia basal de 14 Å, cabe mencionar que, en un estudio realizado en bahías de la costa de Carolina del Norte, Ingram et al. (1959) encontraron un mineral con la misma distancia basal, el cual no pudieron identificar, ya que se confundía con vermiculita y clorita, pero poseía características diferentes a estos últimos minerales.

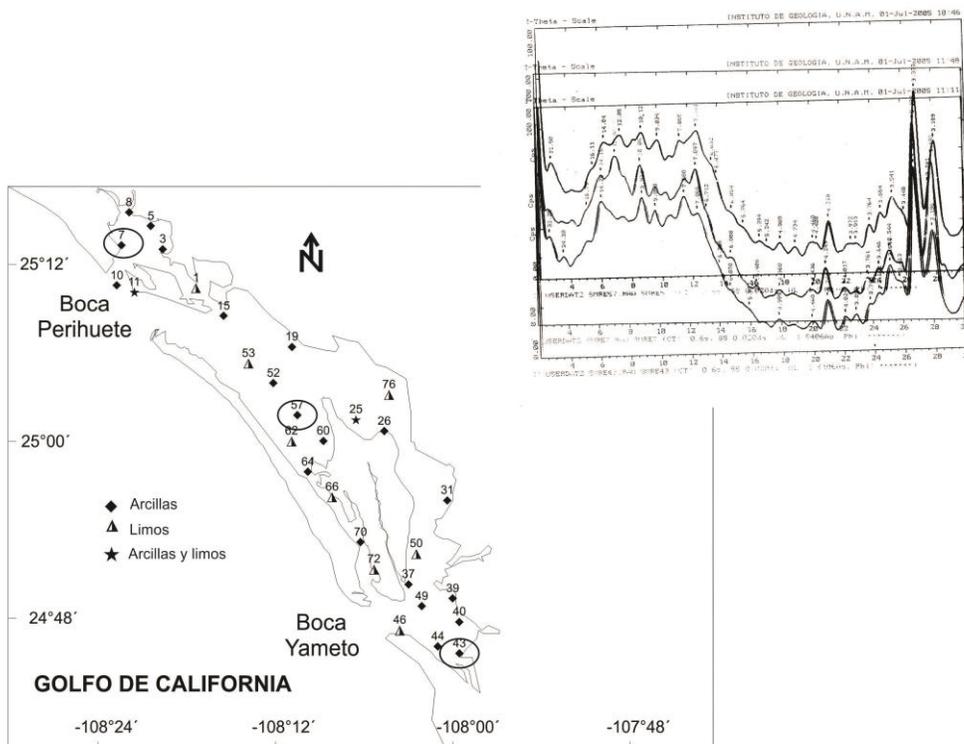


Fig. 7.16 Similitud entre los difractogramas de los análisis de la mineralogía de la fracción limo-arcillosa de las estaciones de muestreo 7, 43 y 57.

VII.6. Distribución de los principales componentes minerales de la fracción arenosa

Se contaron un promedio de 340 puntos por cada muestra, tiñendo los feldespatos y plagioclasas con cobaltinitrato de sodio y rodozinato, respectivamente, para facilitar su identificación en el microscopio, adoptando un color amarillo los feldespatos alcalinos y un rosa las plagioclasas. Los porcentajes relativos mayores en la composición fueron para el cuarzo y las plagioclasas con un promedio de 27.8% y 41.7%, respectivamente. Esto puede deberse a que en la litología del área predominan rocas que contienen porcentajes altos de estos minerales. La relativa abundancia de los feldespatos calco-sódicos sugiere que los sedimentos están sujetos a ciertos factores tales como un alto relieve y poco grado de meteorización y/o de transporte, ya que los relieves agudos promueven gran velocidad de erosión y en el caso del cuarzo también puede deberse a que es un mineral muy estable en comparación con otros. En el caso de los fragmentos líticos, predominan los de origen volcánico (56 %); esto puede deberse a que en el área circundante prevalecen las rocas ígneas extrusivas. La presencia de fragmentos de pedernal no fue de gran trascendencia, ya que apenas constituyó el 1% del total de los componentes.

En cuanto a la clasificación de Dott (1964) y mencionada por Pettijohn et al. (1972), las arenas del sistema lagunar son clasificadas como arkosa, por contener más del 25% de feldespatos y más feldespato que fragmentos de roca. La relación Cuarzo: Feldespato (Q/F) varía entre 1:1 a 1/2.3, mientras que los fragmentos líticos oscilan entre un 20 y 40%. En función de la relación Q/F, la fracción arenosa es considerada como inmadura.

En relación con la existencia de diferentes poblaciones mineralógicas que coadyuvan a definir ambientes sedimentarios, se observó que al parecer existen dos poblaciones de sedimentos (Fig 7.17), de las cuales la población 1 tiene

mayor contenido de cuarzo y menor de fragmentos líticos, lo cual puede significar mayor madurez mineralógica.

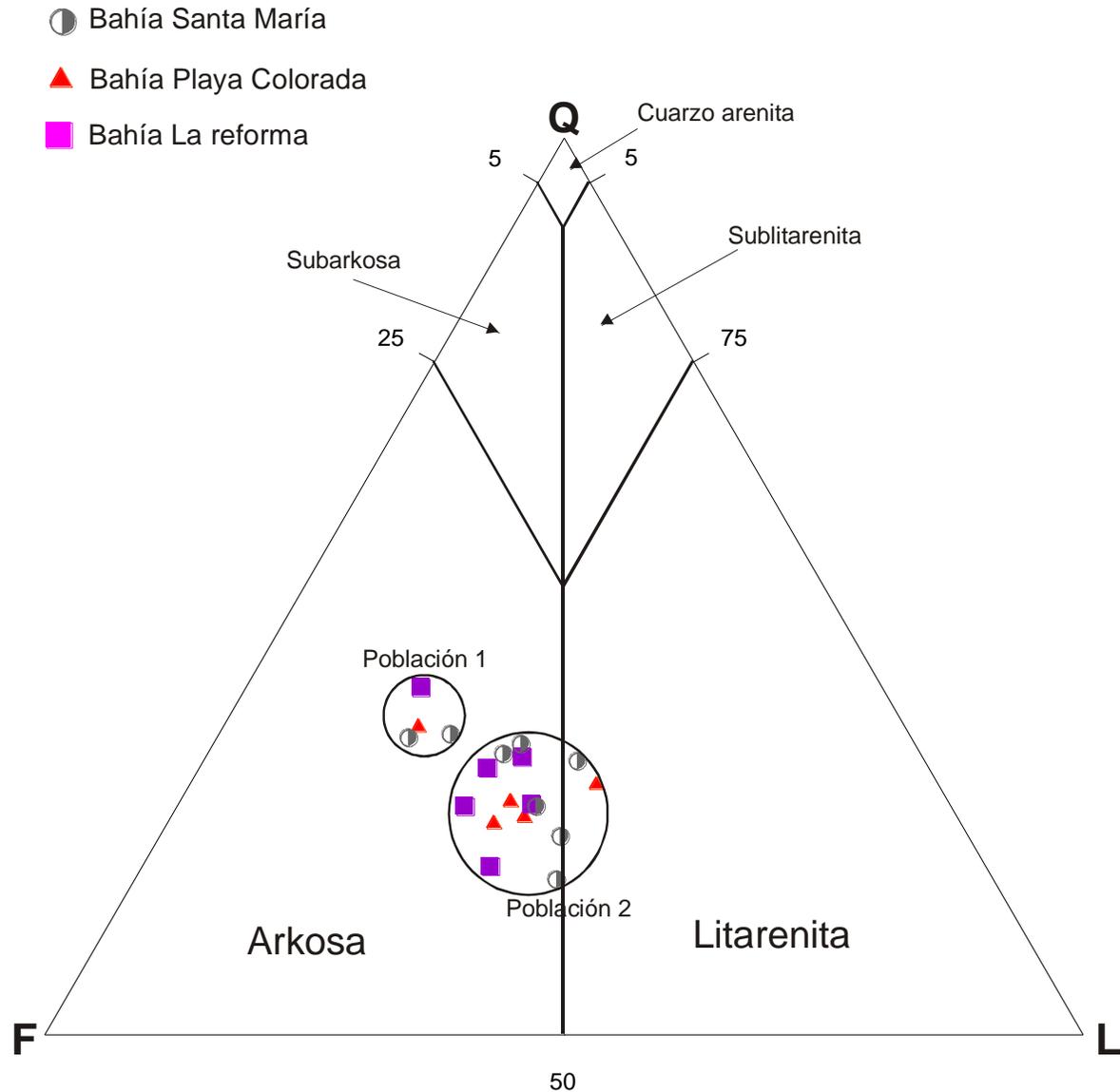


Fig. 7.17 Clasificación mineralógica de las arenas del sistema lagunar Santa María-La Reforma por acuerdo al criterio de Dott (1964). Q= cuarzo; F=feldespato y L= fragmentos de roca.

La muestra 5 que pertenece a la población 1 está geográficamente diferenciada de las otras tres (Fig. 7.18). Aunque las estaciones 29 y 31 corresponden a un ambiente de canal, tienen las mismas características que la

muestra 5 que está asociada a un ambiente más lagunar. Asimismo, las muestras que conforman la población 2 están ampliamente distribuidas en todo el sistema lagunar. Lo anterior sugiere que no existe un patrón preferencial bien definido en cuanto a la distribución mineralógica; por lo tanto, no podríamos establecer con ello un criterio para definir ambientes sedimentarios.

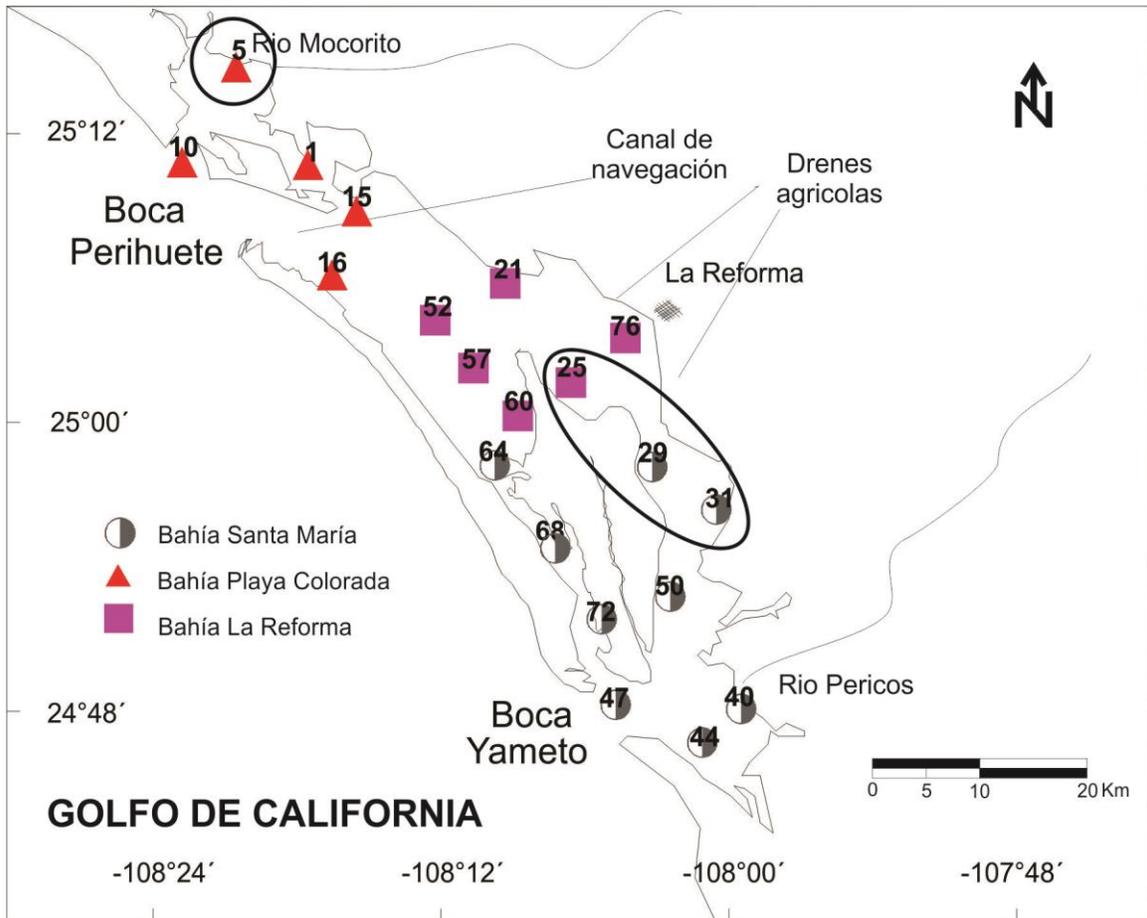


Fig. 7.18 Localización de las muestras pertenecientes a la población 1.

VII.6.1. Distribución del cuarzo

Las concentraciones del cuarzo en los sedimentos oscilan entre un 17.2% y un 38.7%, con un promedio de 27.8%. La distribución de dicho elemento está controlado por una serie de factores que van desde la morfología misma del sistema lagunar, las corrientes de marea, descargas de los ríos y el enmascaramiento por abundancia de Carbonatos; sin embargo, la distribución del

cuarzo no muestra un patrón bien definido. Se observan 3 posibles fuentes de aporte: (1) los drenes agrícolas cercanos al poblado de La Reforma; (2) en la parte norte la desembocadura del Rio Mocerito y (3) en la parte sur la desembocadura del Rio Pericos, en donde se puede observar los valores más altos, Una vez que dichos aportes se encuentran en el interior del cuerpo de agua son distribuidos en forma zonal por las entradas de agua dulce y distribuidos por las corrientes de marea. Otra zona que muestra valores altos se da en las proximidades de la isla de Altamura y en el canal conformado por ésta y la isla de Talchichiltle, esto puede deberse a que en dichas islas hay presencia de dunas, y por aporte eólico aunado con la poca o casi nula corriente de marea probablemente favorezca a su depositación en dicha zona. (Fig 7.19).

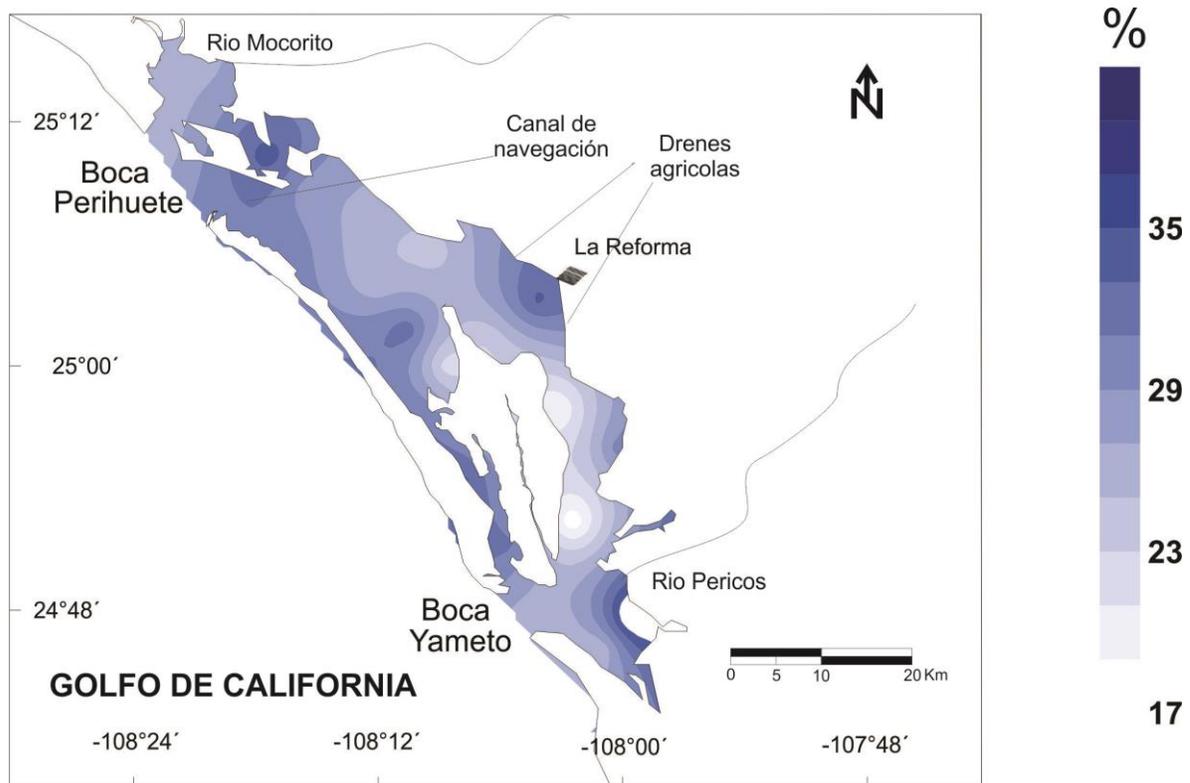


Fig. 7.19 Distribución del contenido de cuarzo en los sedimentos

Las formas que presentan las partículas de grano son en general subredondeadas a subangulosas (Fig. 7.20), esto implica que han pasado por un moderado transporte. Algunos granos presentaron pequeñas inclusiones fluidas en el interior, esto quiere decir que eran de origen hidrotermal y/o metamórfico. En general el cuarzo provenía de diferentes rocas, ya que también algunos mostraron pequeñas rayaduras, implicando transporte eólico y otros presentaron cuarzos policristalinos, lo que le confiere su origen metamórfico.

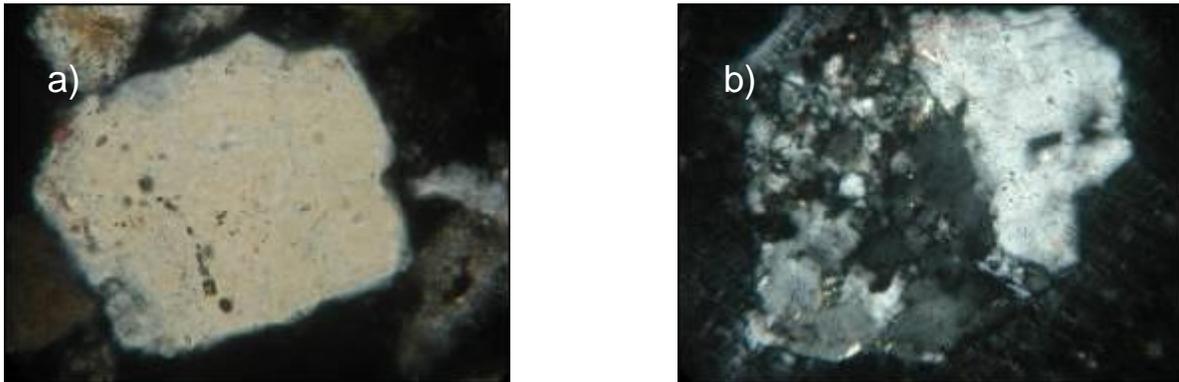


Fig. 7.20 a) Partícula de grano de cuarzo b) cuarzo policristalino (ambas fotografías fueron tomados en nícoles cruzados).

VII.6.2. Distribución de los feldespatos y plagioclasas

Las cantidades presentes de feldespato tanto alcalino como calco-sódico en los sedimentos fluctuaron entre 32.9 y 48.4 %, con un promedio de 41.7%; predominando las plagioclasas sobre el feldespato alcalino en un 57.5 % con respecto al total de éstas partículas. Los valores más altos se encontraron en las cercanías de la riberas lagunares (Fig. 7.21) conforme se alejan de éstas su concentración va disminuyendo gradualmente. Sobresalen dos puntos: la parte sur del sistema y un punto cercano al poblado de La Reforma, en donde la concentraciones se elevan, probablemente debido a que dichas zonas podrían ser la entrada de las fuentes de suministro, y una vez que éstos minerales entran al

interior del sistema lagunar son redistribuidos por las corrientes de marea. Lo anterior, nos sugiere que el aporte predominante es continental y no marino. Con respecto a la batimetría, en las partes más someras se encuentran los valores más altos. Este comportamiento puede deberse a que en las zonas profundas prevalecen condiciones de alta energía, permitiendo que no se depositen los feldespatos, en contraparte con las zonas someras donde se presentan condiciones de energía óptimas para su depósito. Es importante señalar que las zonas de valores altos del feldespato concuerdan casi en su totalidad con las del cuarzo lo que implica que ambos minerales provienen de una fuente común. En cuanto a las formas que presentaron fueron de subredondeados a subangulosos, mostrando muchas de ellos signos de alteración y/o disolución; esto nos sugiere que fueron sometidos al intemperismo químico. Las plagioclasas generalmente presentaron maclas polisintéticas (Fig. 7.22).

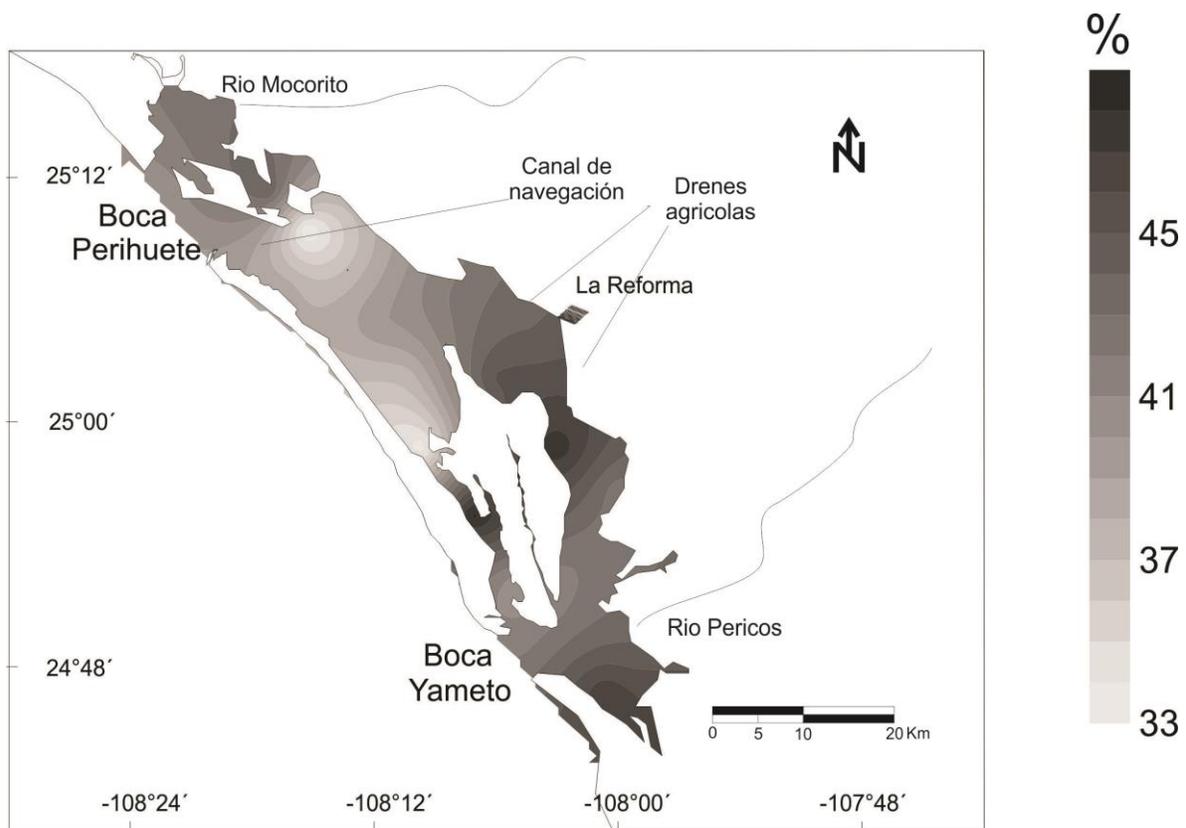


Fig. 7.21 Distribución del contenido de feldespato en los sedimentos

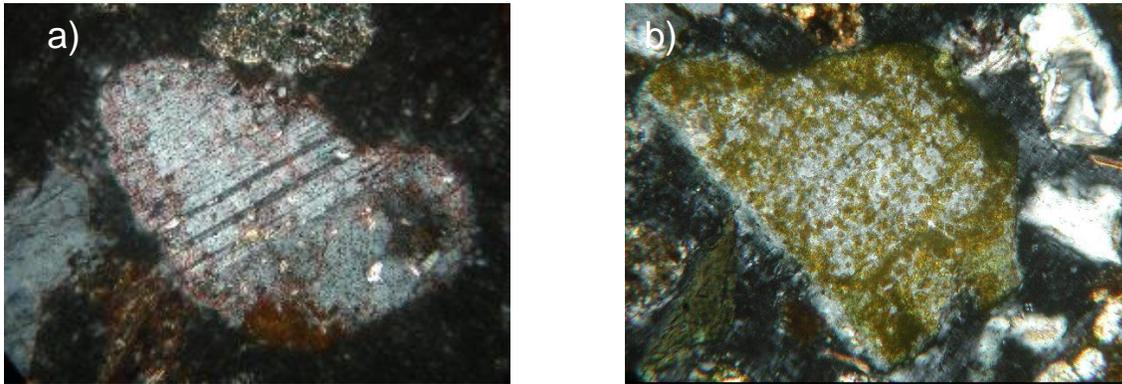


Fig. 7.22 a) Plagioclasa presentando macla polisintética y b) feldespato alcalino teñido con cobaltinitrito de sodio (ambas fotografías fueron tomados con nicoles cruzados)

VII.6.3. Distribución de los fragmentos de roca

Las cantidades presentes de líticos en los sedimentos variaron entre el 16.9 y 40.7 %, con un promedio de 30.6 %. Los valores más altos se encontraron en el extremo de la parte sur , alrededor de la isla Saliaca, en la cercanía del poblado de La Reforma y en las bocas; concluyendo que las aportaciones son tanto de origen marino como continental; ya que conforme se alejan de las bocas, dichos valores disminuyen gradualmente hacia el interior de la laguna. Por el contrario, los valores mínimos se localizaron en el canal Yameto, gradualmente aumentando hacia el interior de la laguna, lo que hace suponer que el reflujó de las corrientes de marea, se encarga de redistribuirlo en el fondo de la laguna (Fig. 7.23). En relación a las formas que presentaron, al igual que el cuarzo y los feldespatos, fueron de subredondeados a subangulosos, (Fig. 7.24), lo que nos indica que han sufrido un moderado transporte. En cuanto a la composición, predominaron los fragmentos volcánicos con una abundancia relativa del 55.8%, siguiéndole los fragmentos de roca metamórfica con un 24.7% y los fragmentos derivados de rocas sedimentarias presentaron un valor del 19.5%,

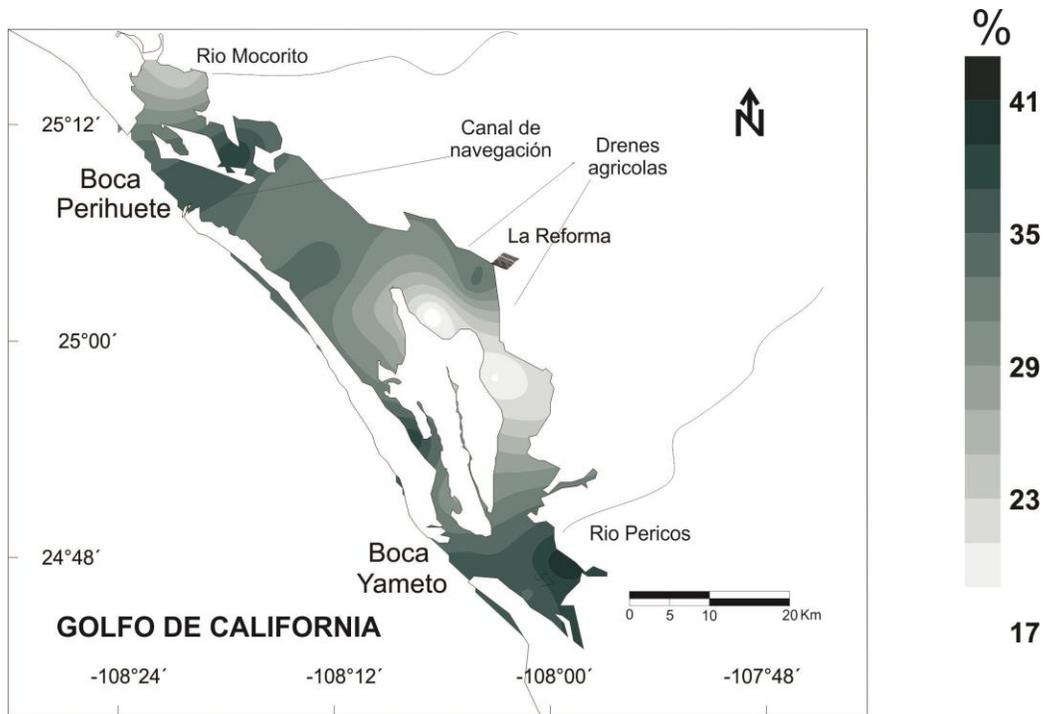


Fig. 7.23 Distribución del contenido de fragmentos de roca en los sedimentos

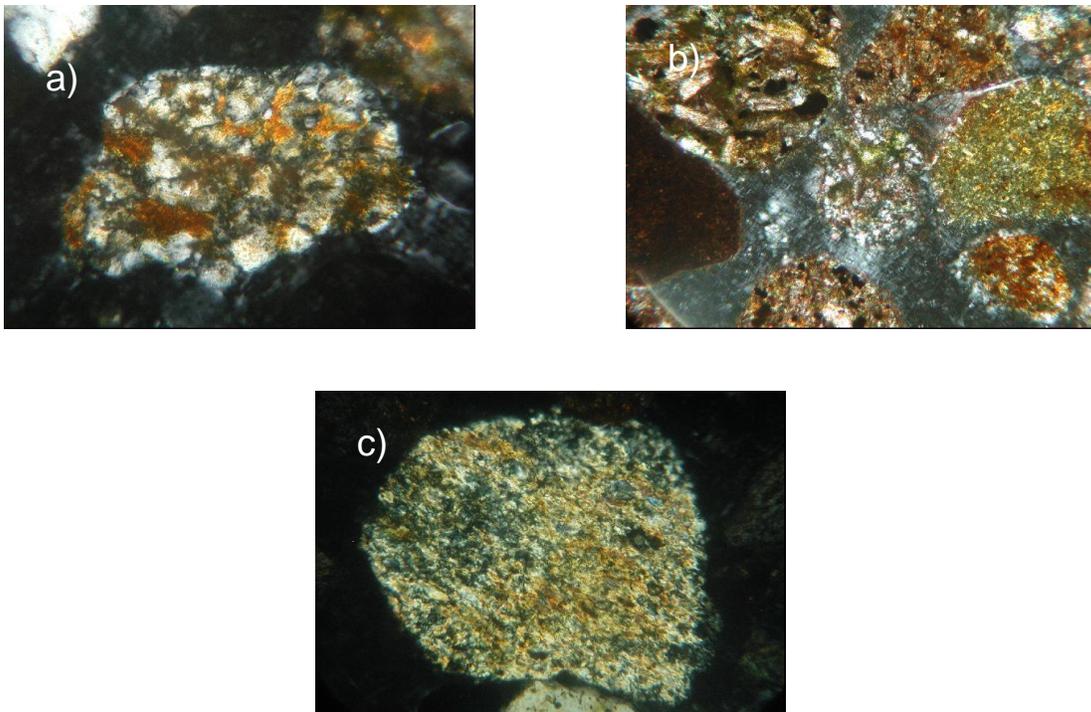


Fig. 7.24 a) Fragmento de roca sedimentaria, b) fragmentos de rocas volcánicas, y c) fragmento de roca metamórfica.

VII.7.Minerales pesados

La concentraciones presentes en los sedimentos del sistema fluctuaron desde 0.0 % hasta un máximo de 20.6 %, con un promedio de 2.7%. Las zonas que presentaron las más altas concentraciones se restringen a dos puntos (Fig.7.25). El primero está localizado en la parte noroeste del sistema y corresponde al extremo interior del canal Saliaca con una profundidad de 11 m, el cual inicia en la boca Perihuate con una profundidad de 22 m (Serrano et al.,2013). Los minerales pesados son transportados por las corrientes de marea. Éstas, al perder fuerza debido a la fricción con el fondo, depositan dicho material, por ser más densos que otros. El oleaje puede ser también un factor importante en dicha concentración. Las olas lanzan material a la playa y la resaca arrastra los materiales más livianos, los cuales son transportados por la deriva a lo largo de la costa, de modo que se produce una concentración de minerales pesados en las playas, sobre todo durante la época de tormentas. Si bien, no se analizaron muestras de sedimentos subaéreos en la playa, existe una relación entre los sedimentos de dicha zona y las muestras de la laguna en esta área, las cuales fueron recolectadas a una profundidad menor a 1 metro y a unas pocas decenas de metros de la línea de costa. La otra zona de acumulación se localiza en la entrada de la boca Yameto, en la parte sur del sistema, ésta se ubica en la confluencia de las salidas de varios esteros. Su aporte sería de origen continental y los minerales pesados son distribuidos por las corrientes de flujo y reflujos de las corrientes de marea. Cabe señalar que ambas zonas concuerdan con dos de las tres zonas de enriquecimiento de minerales pesados (> 24 %) reportadas por García-Escobar (1992). La tercera zona indicada por dicho autor se ubicaba en la parte central del canal Yameto, en donde actualmente se encontraron concentraciones menores al 5 %, posiblemente debido a algún cambio en el aporte sedimentario, originado por la acción del hombre, a través de los diversos drenes agrícolas o esteros que existen en esta área.

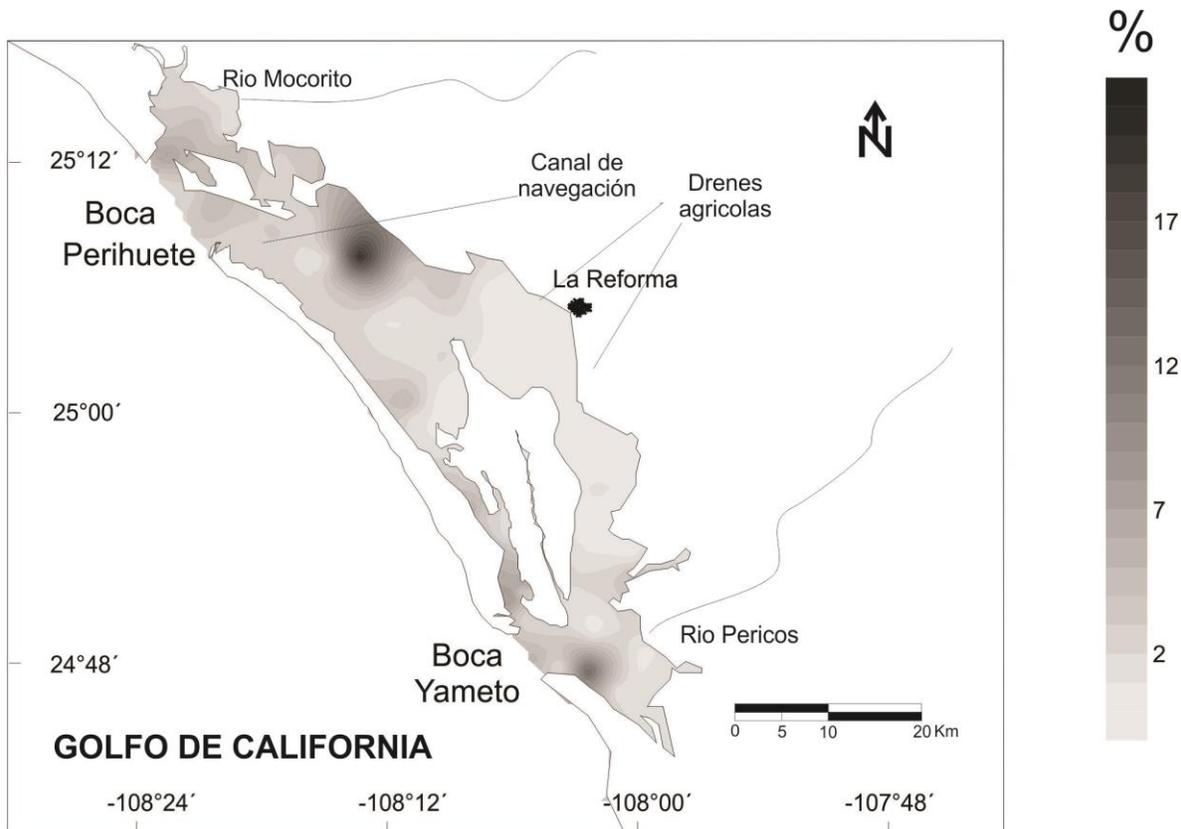


Fig 7.25 Distribución de los minerales pesados en el sistema lagunar Santa María-La Reforma.

VII.8. Distribución y cuantificación de los sólidos suspendidos totales en la columna de agua.

Para conocer la distribución y cuantificar los sólidos suspendidos totales en la columna de agua del sistema lagunar, se analizaron un total de 41 muestras. Los valores obtenidos oscilan entre los 5.6 y 140.0 mg/L, teniendo como promedio 30.3 mg/L en todo el sistema lagunar. Los valores más altos se restringen concretamente a dos zonas (Fig 7.26) lo cual puede deberse a la batimetría e hidrodinámica del área de estudio. Dichas zonas se encuentran en las partes más someras del sistema, en donde al converger las corrientes de marea y debido a la fricción del fondo, resuspenden el sedimento propiciando que exista material en suspensión. La zona cercana al poblado La Reforma está influenciada por las

descargas urbanas, así como el tránsito de lanchas hacia y desde las playas de esta población netamente pesquera.

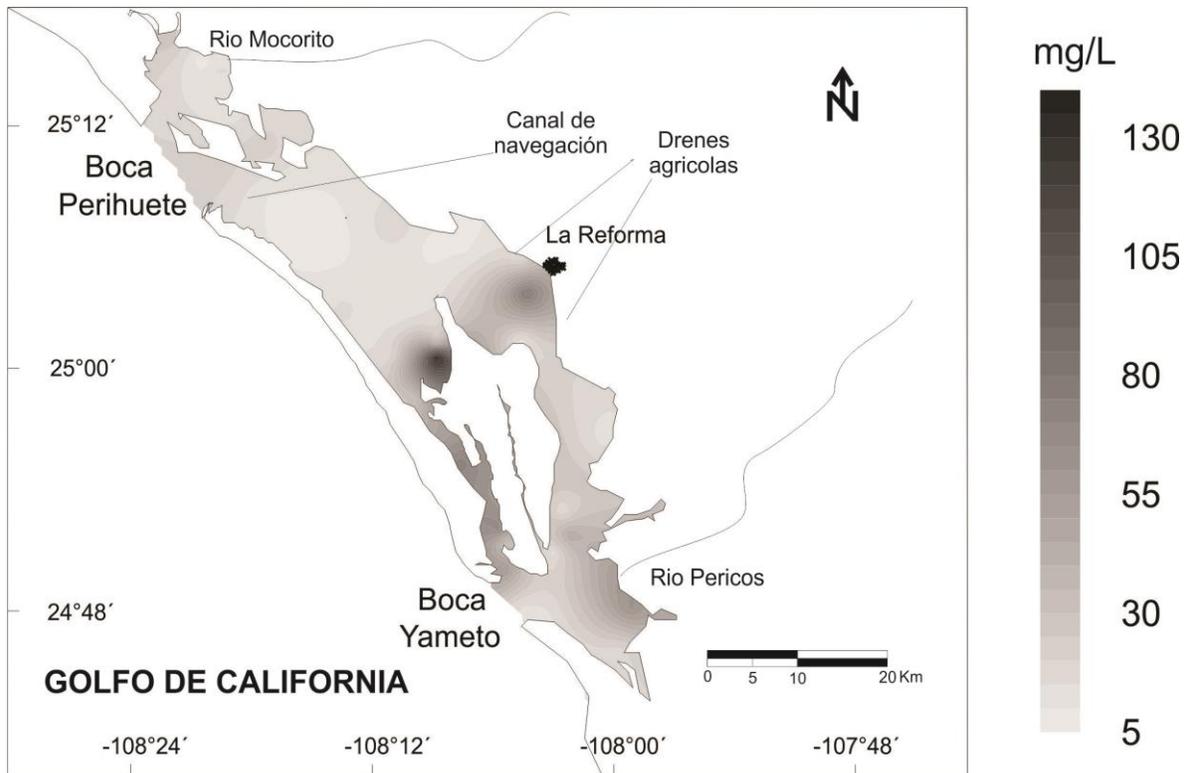


Fig. 7.26 Distribución espacial de los sólidos suspendidos totales en el sistema lagunar

VII.9. Subambientes sedimentarios

Teniendo todos los parámetros analizados, y dado el número de estos, se realizó un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), con la finalidad de tener más argumentos que conlleven a la delimitación de las diferentes facies sedimentarias existentes en la zona de estudio, tales como elementos texturales y mineralógicos. La figura 7.27 nos muestra la gráfica de los componentes principales; cabe mencionar que dicho análisis se realizó solo con 20 muestras, ya que fueron en las que se analizó la mineralogía de la fracción arenosa. El análisis de componentes principales dio como resultado la presencia

de dos componentes, los cuales explican el 67.1 % de la varianza (Tabla 7.5). El primer componente explica el 48.1% y se caracteriza por tener 4 cargas positivas (< 0.7) para los 4 parámetros texturales (Mz_{σ} , σ_{σ} , Sk_{σ} , y KG_{σ}) y una carga negativa para los minerales pesados ($< - 0.7$) (Tabla 7.6), lo que sugiere que los 4 parámetros texturales siguen siendo la base para poder diferenciar los subambientes; sin embargo, la inclusión de los minerales pesados (MP) fue el criterio para poder separar (1) el grupo II (ver sección VII.2) en dos subambientes: B y C (el subambiente B contiene más MP que el subambiente C) y (2) el grupo III en los subambientes D y E (el subambiente D contiene más MP que el subambiente E). Los grupos I y IV no se subdividieron, pero en adelante serán referidos como A y F, respectivamente. El segundo componente agrupa al cuarzo (Qz) con carga positiva y a los fragmentos de roca (L) con carga negativa, explicando el 19 % de la varianza, manifestándose la independencia de éstos parámetros con los anteriormente señalados.

Tabla 7.5 Análisis de componentes principales para los parámetros texturales y mineralógicos

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componentes	Eigenvalores	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	4.8	48.1	4.8	48.1
2	1.9	19	6.7	67.1

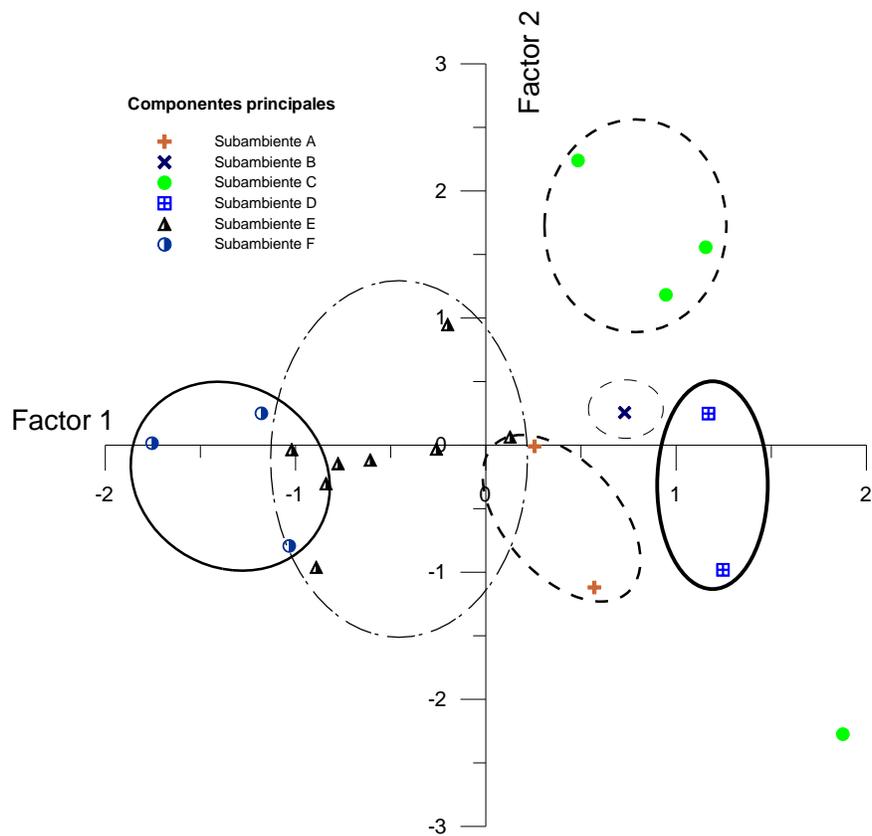


Fig. 7.27 Análisis de componentes principales incluyendo los parámetros texturales y mineralógicos de los sedimentos del sistema lagunar Santa María – La Reforma (n=20)

Tabla 7.6 Cargas de los parámetros en los dos componentes principales

	C1	C2
Mz_φ	0.93	0.54
σ_σ	0.85	0.21
SK_σ	0.84	-0.26
KG_σ	0.81	-0.81
MP	-0.88	
Qz		0.71
L		-0.81

Con idea de reforzar la distinción de los 6 diferentes subambientes sedimentarios, se realizó el PCA, pero ahora tomando en cuenta los valores de sólidos suspendidos de 41 muestras, incluyendo también los parámetros texturales, geoquímicos (contenidos de carbonatos y carbono orgánico) y de minerales pesados (Fig. 7.28), dando como resultado la presencia de dos componentes principales, los cuales explican el 57.7 de la varianza (Tabla 7.7). El primer componente explica el 38.2% de la varianza y se caracteriza por tener 2 cargas negativas (< -0.7) para Mz_o , σ_o y una carga positiva MP (Tabla 7.8). lo que nuevamente nos indica que los parámetros texturales y los MP son los que dan la pauta para delimitar las facies sedimentarias. El segundo componente no agrupa significativamente ninguno de los parámetros analizados; sin embargo, explica el 19.5 de la varianza. Es importante señalar que uno de los criterios fundamentales para subdividir grupos con características similares fue su ubicación geográfica, principalmente cuando muestras pertenecientes a un mismo grupo estaban separadas geográficamente por muestras de otros grupos.

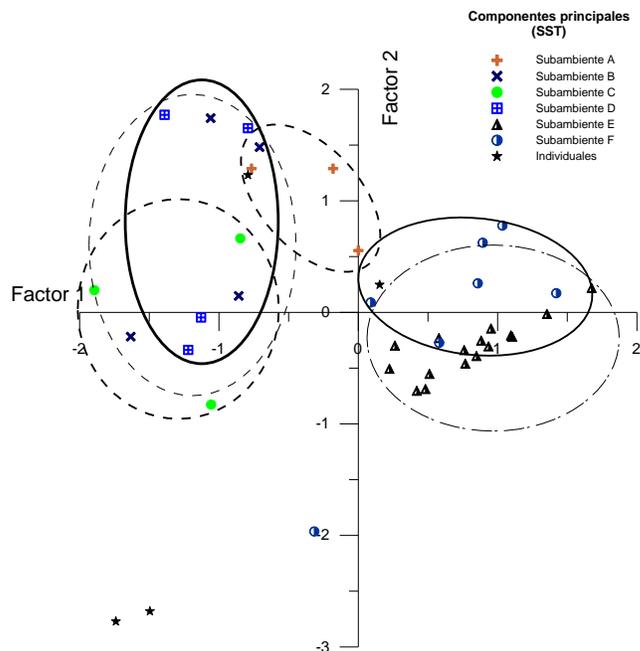


Fig. 7.28 Análisis de componentes principales de las muestras con análisis de SST en el agua suprayacente de los sedimentos del sistema lagunar Santa María – La Reforma (n=41)

Tabla 7.7 Análisis de componentes principales de las 41 muestras de SST

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componentes	Eigenvalores	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	3.1	38.2	3.1	38.2
2	1.6	19.5	4.6	57.7

Tabla 7.8 Cargas significativas de los parámetros en los dos componentes principales para las 41 muestras de SST

	C1
Mzϕ	-0.76
σ_{σ}	-0.91
MP	0.78

Posteriormente se realizó una prueba de T student, con el fin de encontrar diferencias significativas que contribuyan a la diferenciación de los subambientes sedimentarios. En dicho análisis se tomaron en cuenta los parámetros geoquímicos, mineralógicos y los SST (Tabla 7.9). Tal como se esperaba, se encontró una diferencia significativa en los niveles de MP, entre los subambientes B y C, y D y E. Además el subambiente B presentó mayor contenido de carbonatos y cuarzo que el C y el subambiente D menor concentración de SST que el E. Lo anterior confirma la división de los grupos texturales II y III en dos subambientes cada uno, como se sugirió anteriormente. El subambiente A presentó algunas diferencias significativas con los otros subambientes, caracterizándose por su mayor contenido de fragmentos líticos. Por su parte, el subambiente F resalta por su alto contenido de MP, diferenciándose significativamente de los otros.

Tabla 7.9 Prueba T student, comparando los parámetros geoquímicos, mineralógicos y contenido de sólidos suspendidos totales de los diferentes subambientes sedimentarios.

Subambiente	CO ₃ ⁼	C _{org}	1 MP	Qz	F	L	SST
A	14.2±0.9 ^{abce}	3.7±0.6 ^b	1.4±0.9 ^{bde}	21.3±5.8 ^{bde}	41±1.5 ^b	37.7±4.3 ^{bd}	45.1±23 ^{abcd}
B	22.3±1 6.9 ^{aghi}	4.6±1.1 ^h	1.3±1.5 ^{ghi}	32.4 [*]	37.9 [*]	29.7 [*]	22.6±10.3 ^{afghi}
C	21.6±14.4 ^{bjkl}	5.6±2.1 ^{bk}	0.2±0.4 ^{bjkl}	31±8.6 ^{bjk}	46.2±2.2 ^{bjkl}	22.9±7.5 ^{bjkl}	34.4±41.2 ^{bjkl}
D	18.5±8 ^{cgm}	4.7±1.1 ^m	1.4±1.5 ^{jmn}	25.8±0.7 ^j	44.8±2.8 ^{mn}	29.4±2.2 ⁱⁿ	63.1±52.5 ^{cgimn}
E	13.3±8.7 ^{hkmo}	3.3±1 ^{hkmo}	3.3±3.6 ^{dhkmo}	27.7±3.7 ^k	40.9±3.8 ^{kmo}	31.6±4.8 ^{dko}	14.5±6.8 ^{dhkmo}
F	17.9±8.8 ^{eilno}	4.5±3.8 ^o	5.2±3.7 ^{eilno}	27.9±5.1 ^e	37.6±3.7 ^{ino}	34.5±5.3 ^{ino}	45.3±25.7 ^{ilno}

^a A y B; ^b A y C; ^c A y D; ^d A y E; ^e A y F; ^f B y C; ^g B y D; ^h B y E; ⁱ B y F; ^j C y D; ^k C y E; ^l C y F; ^m D y E; ⁿ D y F; ^o E y F.
 * Nota: el subambiente B se componía de una sola muestra respecto al contenido de Qz, F y L, por tal motivo no se comparó con ninguno de los demás.

En resumen, una vez realizado todo el trabajo estadístico se pudo dividir el sistema lagunar Santa María- La Reforma en 6 subambientes sedimentarios atendiendo a las características tanto texturales (Mz_{σ} , σ_{σ} , Sk_{σ} , KG_{σ}), geoquímicas (CO₃⁼ y C_{org}), mineralógicas (Qz, F, L y MP) y de sólidos suspendidos totales (SST). Tal como se describe en párrafos anteriores, los elementos texturales fueron la pauta para definir dichas zonas, dando por resultado que el subambiente mas extenso es el denominado F, abarcando 54.2% del total del área (Fig 7.29). Dicho subambiente se compone de arenas medias (Tabla 7.10), difiriendo con los demás subambientes excepto con el subambiente E, ambos constituidos por arenas finas a medias, debiéndose a su cercanía con las bocas que es donde ocurren las zonas de alta energía causado por la entrada de las corrientes de flujo-reflujo, aunado además a la batimetría presente en dichas zonas, dándose las condiciones idóneas para que se presenten dichas características, además los sedimentos en esta zona están moderadamente seleccionados lo que nos sugiere

que no hay mucha variación en la hidrodinámica, en cuanto a la presencia de minerales pesados fueron los que presentaron las concentraciones mayores de éstos. En contraparte los subambientes A, C y D, presentan sedimentos mal seleccionados, debiéndose a su cercanía con la línea de costa y mayormente por los aportes continentales, ya que se localizan en la zona donde los ríos y los drenes agrícolas descargan; presentando periodos de calma y circulación, esto se ve reflejado también en el tamaño medio, ya que en dichos subambientes presentan material de fino a muy fino, contando también como con la poca o casi nula presencia de minerales pesados. En cuanto a los elementos tanto geoquímicos como de líticas, no marcaron una diferencia notable para que se tomaran en cuenta como parte fundamental para dicha demarcación. El subambiente B, fue separado del C debido principalmente a sus diferencias en el contenido de metales pesados. Adicionalmente se identificaron 6 muestras individuales que no comparten las características del subambiente sedimentario donde fueron recolectadas.

Tabla 7.10 Características de los subambientes sedimentarios en el interior del sistema lagunar Santa María-La Reforma

Subambientes sedimentarios	Mz σ	$\sigma\sigma$	Sk σ	KG σ	CO $_3^{=}$ (%)	C $_{org}$ (%)	MP (%)	QZ (%)	F (%)	L (%)
A	Arenas finas	Mal seleccionada	Casi simétrica	Platicúrtica	14.2±0.9	3.7±0.6	1.4±0.9	21,3±5,8	41,0±1,5	37,7±4,3
B	Arenas muy finas	Muy mal seleccionada	Asimétrica hacia los finos	Platicúrtica	22.3±16.9	4.6±1.1	1.3±1.5	32,4 ¹	37,9 ¹	29,7 ¹
C	Arenas muy finas	Mal seleccionada	Casi simétrica	Platicúrtica	21.6±14.4	5.6±2.1	0.2±0.4	31,0±8,6	46,2±2,2	22,9±7,5
D	Arenas muy finas	Mal seleccionada	Asimétrica hacia los finos	Platicúrtica	18.5±8	4.7±1.1	1.4±1.5	25,8±0,7	44,8±2,8	29,4±2,2
E	Arenas finas	Moderadamente seleccionada	Casi simétrica	Platicúrtica	13.0±8.7	3.3±1.0	3.3±3.6	27,7±3,7	40,9±3,8	31,6±4,8
F	Arenas medias	Moderadamente seleccionadas	Casi simétrica	Platicúrtica	17.9±8.8	4.5±3.8	5.2±3.7	27,9±5,1	37,6±3,7	34,5±5,3
Muestra 7 ²	Arenas finas	Mal seleccionada	Casi simétrica	Leptocúrtica	5.3	3.5	3.3	-	-	-
Muestra 8 ²	Arenas medias	Muy mal seleccionada	Casi simétrica	Platicúrtica	39.5	5.3	2.1	-	-	-
Muestra 24 ²	Limos medios	Muy mal seleccionados	Muy simétrica hacia los gruesos	Platicúrtica	10.4	1.9	7.6	-	-	-
Muestra 28 ²	Limos medios	Muy mal seleccionados	Muy simétrica hacia los gruesos	Platicúrtica	6.1	3.1	2.6	-	-	-
Muestra 32 ²	Arenas finas	Moderadamente seleccionada	Muy simétrica hacia los gruesos	Platicúrtica	4.3	3.2	2.1	-	-	-
Muestra 36 ²	Arenas finas	Moderadamente seleccionada	Casi simétrica	Platicúrtica	2.9	1.7	5.2	-	-	-

¹ El subambiente B en los análisis del contenido de Qz, F y L, se componía de una sola muestra.

² A las muestras 7, 8, 24, 28, 32 y 36 no se les realizó análisis mineralógico de la fracción arenosa.

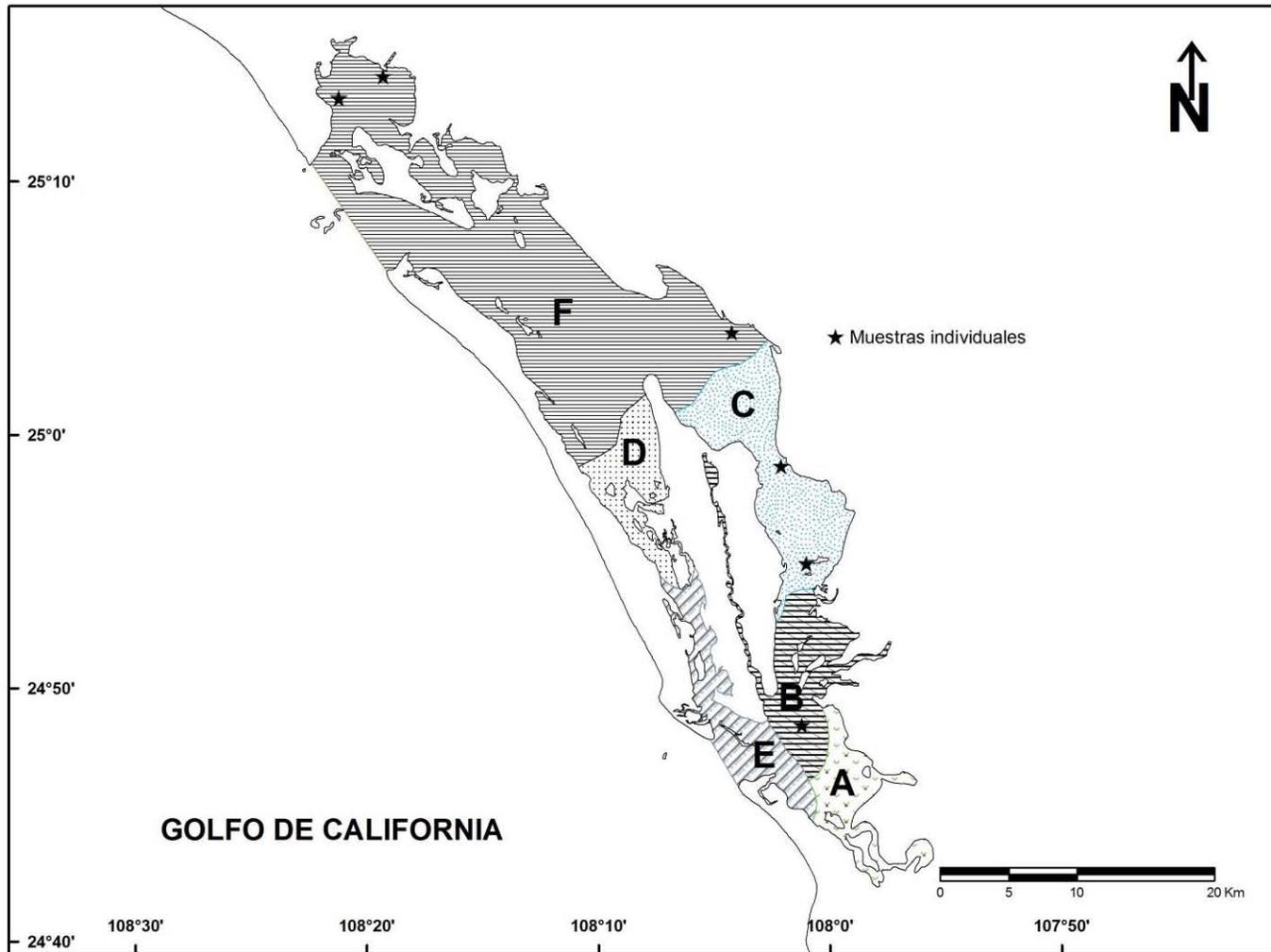


Fig. 7.29 Subambientes sedimentarios del interior de la laguna Santa María- La Reforma

C O N C L U S I O N E S

- Se determinaron la presencia de seis subambientes sedimentarios, en relación a la distribución espacial de los parámetros texturales y contenido de minerales pesados; la mineralogía de las fracciones arenosa y limo arcillosa, no fueron criterios importantes en dicha determinación.
- En el sistema lagunar el tamaño de las arenas oscilan desde arenas muy finas hasta arenas medias, predominando las arenas finas.
- Las arenas del sistema lagunar son clasificadas como arkosa, por contener más del 25% de feldespatos y más feldespato que fragmentos de roca En función de la relación Q/F la fracción arenosa es considerada como inmadura.
- Los valores de carbono orgánico contenidos en los sedimentos del área de estudio fluctúan entre 1.25 % y 13.03 % con un promedio de 4.16 %. Los valores más altos se encontraron en las cercanías del poblado La Reforma y en la boca Yameto.
- Los valores de carbonatos presentes en los sedimentos superficiales del sistema lagunar oscilan entre los 2.9 % y 57.09 % con un promedio de 18.9 %. los valores más altos se encontraron en la porción centro y sur del sistema y en las inmediaciones del canal Saliaca, debiéndose quizá a que en estas zonas se registran las menores velocidades y profundidades mas someras favoreciendo el desarrollo de organismos de composición calcárea.
- En relación a la mineralogía de arenas, predomino el feldespato con un promedio de 41 % le siguieron los líticos con un promedio de 30.6%

predominando los de origen volcánico y por último el cuarzo con un promedio de 27.8%. La mineralogía de la fracción limo arcillosa, fue muy homogénea por lo que no fue de gran utilidad en la subdivisión de los subambientes sedimentarios.

- Al comparar los parámetros texturales entre si, se distinguieron 4 grupos texturales diferentes. El grupo I y IV presentaron mejor grado de selección y mayor tamaño de las partículas. los grupos II y III, son los que presentaron el peor grado de selección y fracciones más finas.
- La concentraciones presentes de minerales pesados en los sedimentos del sistema fluctuaron entre 0 % hasta un máximo de 20.6 %, con un promedio de 2.7%. Las zonas que presentaron las más altas concentraciones se restringen a dos puntos. el primero está localizado en la parte noroeste del sistema y corresponde al extremo interior del canal Saliaca. El segundo se localiza en la entrada de la boca Yameto, en la parte sur del sistema.
- La áreas de aporte de sedimentos se presentan en los extremos Norte y Sur con la desembocadura de los ríos Mocorito y Pericos respectivamente y en la parte central, en dicha porción se debe principalmente a la presencia de dos drenes agrícolas, así como la presencia de varios esteros a todo lo largo de la costa. Asimismo, las bocas de la laguna y las dunas de la isla Altamura pueden ser fuente importante de sedimentos arenosos.
- El contenido de los sólidos totales suspendidos varían entre los 5.60 y 140 mg/L, teniendo como promedio 30.3 mg/L. Los valores más altos se encuentran en las partes más someras del sistema, que al converger las corrientes de marea y debido a la fricción del fondo, resuspenden el sedimento propiciando que exista material en suspensión.

- Las 76 muestras del sistema Santa María-La Reforma presentaron valores de tamaño medio que fluctuaron entre los 1.6 y 6.6 σ teniendo un promedio de 2.8 σ ; dicho valor las sitúa dentro de la clasificación de arenas finas según la nomenclatura de Folk y Ward (1957). La variación espacial textural está regida por la hidrodinámica del sistema lagunar.
- La distribución espacial textural de los sedimentos esta regida principalmente por las corrientes de marea, batimetría y la morfología de la laguna.
- De acuerdo a lo anterior, el sistema lagunar Santa María-La Reforma muestra seis diferentes subambientes sedimentarios. Los subambientes A y B asociados con la entrada de esteros presentes en el área reflejándose en sedimentos mal y muy mal seleccionados y casi simétricos y sesgados hacia los finos, respectivamente; el subambiente C reflejo la influencia de dos drenes de aporte de material fino y la convergencia de las corrientes de marea resultando con sedimentos mal seleccionados y alto contenido de materia orgánica y muy poca o nula presencia de minerales pesados; el subambiente D asociado a zonas muy someras reflejando la acción del oleaje y aporte de material fino por parte de las islas, constituyéndose de arenas muy finas mal seleccionadas y diferenciado geográficamente del subambiente C por la isla Saliaca; el subambiente F es el mas extenso, y se encuentra localizado en la zona donde se registran las velocidades más altas y la presencia de dos canales que su vez sirven de guía para el flujo y reflujos de las corrientes de marea dando como resultado presencia de arenas medias y alto contenido de minerales pesados ; y el subambiente E que reflejó el aporte eólico de la isla Altamura manifestándose en arenas finas moderadamente seleccionadas con un sesgo casi simétrico.

B I B L I O G R A F Í A

Alvarado-Zambrano, D. 2011. Incorporación de Metales en Testas de Foraminíferos desde los Sedimentos y Agua asociados en la Laguna Costera Estero de Urías, Sinaloa, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría. 100 pp.

APHA-AWWA-WPCF. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th ed. pp. 270-271.

Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., García, D., Eby, G.N., Balaramf, V., Cruz-Ortiz N.L., 2012. Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance. *Chemie der Erde – Geochemistry* 72 (4), 345–362.

Biscaye, P.E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent Seas and Oceans. *Geological Society of American Bulletin* 76, 803-832.

Bohlen, W. F., 1987 Time variability of suspended material concentrations in estuaries. In *Proceedings of the National Conference on Hydraulic Engineering*. Williamsburg, Virginia, pp. 219–224.

Bojórquez-Sánchez C., 2011. Acumulación de Cd, Hg, Pb y Zn en Plantas Regionales de Sitios Mineros de Zacatecas: Fitorremediación. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría. 82 pp.

- Cacchione, D. A., Grant, W. D., Drake, D. E., Glenn, S. M. 1987. Storm-dominated bottom boundary layer dynamics on the northern California continental shelf: measurements and predictions. *Journal of Geophysical Research* 92, 1817–1827.
- Carranza-Edwards, A., 1980. *Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología. Ambientes sedimentarios recientes de la Llanura Costera Sur del Istmo de Tehuantepec.* UNAM.13-66.
- Carranza-Edwards, A., 1997. La Granulometría y su uso en estudios Geoquímicos y Ambientales, *Actas INAGEQ*, 3: 235-243.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L. 1997. Grain–size trends and provenance of southwestern gulf of Mexico beach sands, *Can J. Earth Sci.* 32: 2009-2014.
- Carranza-Edwards, A., Bocanegra-García, G., Rosales-Hoz, L., De Pablo Galán, L.1998. Beach sands from Baja California Peninsula, México. *Sedimentary Geology* 119: 263–274.
- Chanin, G., Chow, E.H., Alexander, R.B., Powers, J., 1958. Use of glass fiber filter medium in the suspended solids determination. *Sewage Ind. Wastes* 30,1062.
- Cloern, J. E., Powell, T. M., Huzzey, L. M., 1989. Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay (U.S.A.). II. Temporal changes in salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity over tidal time scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 28, 599–613.
- Contreras, E.F., 1985, *Las Lagunas Costeras Mexicanas.* Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, México, 253 p.

- Corrales–Zarauza, I., Rossell–Sanuy, J., Sánchez de la Torre, L.M., Vera–Torres, J., Villas–Minondo, L., 1977, *Estratigrafía*, (Rueda): Madrid, España, 717 p.
- Curray, J.R., Emmel, F.J., Crampton, P.J.S., 1969. Holocene history of a strand plain, lagoonal coast, Nayarit, Mexico. Simposio UNAM-UNESCO Lagunas Costeras, México D.F. 63-100.
- Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., Back, H., 1987. Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and a proposal for further research. *Oecologia* 73, 91–98.
- Datta, D.K., Subramanian, V., 1997. Texture and mineralogy of sediment from the Ganges- Bramaputra- Meghna river system in the Bengal Basin, Bangladesh and their enviromental implications. *Enviromental Geology* 30, 181-188 pp.
- Davies, A. G., 1985. Field observations of the threshold of sediment motion by wave action. *Sedimentology* 32, 685–704.
- Dean, W. E. JR., 1974. Comparison with other methods. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments end sedimentary rocks by loss on ignition: *J. Sedim. Petrol.*, 242-248.44 (1)
- Dickinson, W.R., 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology* 40, 695–707.
- Dott, RH, Jr., 1964. Wacke, graywacke and matrix - What aproach to inmature sandstone classification? *Jour. Sed. Petrology* 34, 625-632.

- Drake, D. E., Cacchione, D. A., Grant, W. D. 1992 Shear stress and bed roughness estimates for combined wave and current flows over a rippled bed. *Journal of Geophysical Research* 97, 2319–2326.
- El-sokkary, I.H., 1992. Trace metals in sediments and waters: Case study from Egypt. In: Vernet JP, (ed) *Impact of heavy metals on the environment*. Elsevier Publications, Amsterdam, pp 355-379.
- Eshel, G., Levy, G J., Mingelgrin, U., Singer, M. J., 2004. Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 68 (3), 736-743.
- Fairbanks, G.R., 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* vol. 342.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill, Austin, Texas. 182 p.
- Folk, R.L., Ward, W.C. 1957. *J. Sed. Petrol.* 27(1), 3-26.
- García, E.,1964. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM. México, 246 p.
- García-Escobar, A., 1992. *Distribución textural y mineralógica de los sedimentos del sistema lagunar Playa Colorada-Santa María La Reforma, Santa María, Sinaloa, México*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, La Paz, B.C.S.

- Griffin, G.M., Ingram, R.L. 1955. Clay minerals of the Neuse estuary. *Journal of Sedimentary Petrology* 25, 194-200.
- Gordon E. S., Goñi, M. A. 2004. Controls on the distribution and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Atchafalaya river margin. *Marine Chemistry* 92, 331– 352.
- Green-Ruiz, C., 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de los sedimentos de cuatro puertos del Golfo de California. Tesis Doctoral. 329 pp.
- Green-Ruiz, C., Larrinaga-Cunningham, H. 1986. Sedimentología y geoquímica de la laguna de La Paz, B. C. S. Tesis de licenciatura. U.A.B.C.S., 83 p.
- Green-Ruiz, C., Páez-Osuna, F., De Pablo-Galán, L. 2006. Heavy metals and clay minerals in surface sediments from the Mazatlán Bay, Mexican subtropical Pacific coast. *Int. J. Environment and Pollution* 26 (1/2/3), 201–219.
- Gutiérrez-Estrada, M., Galaviz-Solís, A., 1983. Morfología y sedimentos recientes de las lagunas El Carmen, Pajonal y La Machona, Tabasco. México *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM*.
- Gutiérrez-Estrada, M., Martínez-Reyes, J., Malpica-Cruz, V., 1981. Cartas sedimentológicas y fisiográficas de la laguna de Sabancuy, Campeche, Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, *Cartas Geológicas y Mineras* 6.
- Hamblin, P. F., 1989. Observations and model of sediment transport near the turbidity maximum of the upper Saint Lawrence Estuary. *Journal of Geophysical Research* 94, 14419–14428.

- Heath, G.R., Piasias, N.G., 1979. A method for the quantitative estimation of clay minerals in North Pacific deep sea sediments. *Clays and clays minerals* 27(3), 175-184.
- Hirst, D., 1962, The geochemistry of modern sediments from Gulf of Paria: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 26, 1147-1187.
- Horowitz, A.J., 1991. A primer on sediment trace element chemistry. Lewis Publishers. Florida, USA. 136 pp.
- INEGI. 1984, *Cartas Geológicas, Los Mochis y Guasave Sin. Claves G-12-9 y G-10-9 Esc. 1:250 000*, Secretaría de Programación y Presupuesto.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. D., Grimm, J. P., and Pickle, J.D., 1984, The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point counting method: *Journal of Sedimentology Petrology*, v. 54, p. 0103-0116.
- Ingram, R. L., Robinson, M., Odum, H.T. 1959. Clay mineralogy of some Carolina Bay sediments. *Southeastern Geology* (1), 1-10 pp.
- Inman, O. J., Nordstrom, C. E. 1971. On the Tectonic and Morphology Classification of Coasts. *J. Geol.* 79 (1), 1-21 pp.
- Jenne, E. A., 1976. Trace element sorption by sediments and soil-sites and processes. En: Chappell, W. Y K. Peterson (eds) *Symposium on molybdenum V. Z.* New York, Marcel-Dekker 425-553.

- Johnsson, M.J., 1993. The system controlling the composition of clastic sediments. En: Johnsson, M., Basu, J. (Eds.), Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments, Boulder, Colorado, Special Paper-Geological Society of America, vol. 284. 342 pp.
- Jöreskog, K.G., Klovamn, J.E., Reyment, R.A. 1976. Geological factor analysis: Amsterdam, Elsevier, 178 pp.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., 2005. Grain size discrimination between sands of desert and coastal dunes from northwest Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(3), 383-390.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O., 2008. Heavy Minerals and Rare Earth Elements in Coastal and Inland Dune Sands of El Vizcaino Desert, Baja California Peninsula, Mexico. *Marine Georesources and Geotechnology* 26,172–188.
- Krumbein, W., Sloss, L., 1969. *Estratigrafía y sedimentación*. W.H. Freeman and company, San Francisco, P. 161.
- Lankford, R.R., 1977. Coastal Lagoon of Mexico. Their origin and classification. En: Wiley, M. (ed) *Estuarine Processes*. Academic Press Inc, New York, 2, 182-215 pp.
- Lavelle, J. W., Young, R. A., Swift, D. J. P., Clarke, T. L., 1978. Near-bottom sediment concentration and fluid velocity measurements on the inner continental shelf, New York. *Journal of Geophysical Research* 83, 6052–6062.

- Lavelle, J. W., Mofjeld, H. O., Baker, E. T., 1984. An in situ erosion rate for a fine-grained marine sediment. *Journal of Geophysical Research* 89, 6543–6552.
- Long, E. R., MacDonalds, D.D., Smith, S. L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1), 81-97.
- López-Ramos, E., 1980, *Geología de México*, 2a. Edición. 58-105.
- Loring, D.H., 1991. Normalisation of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *Journal of Marine Science* 48, 101– 115.
- Lyle-Fritch, L. P., “Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar ” CONANP 2003. <<http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/27.pdf>> (3 oct 2012).
- Monty, A., Bayarsky, A., 1996, Relación entre las geoformas costeras y los sedimentos de playas del sur de Bahía Anegada, provincia de Buenos Aires, revista AAS, 3: No.1, 31-42.
- Nolasco-Montero, E., Carranza-Edwards, A., 1987. Estudio Sedimentológico Regional de las Playas de Yucatán y Quintana Roo, México. Facultad de Ingeniería e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 49-66.
- Nordstrom, K. F., 1977. The use of grain-size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environment. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47(3), pp. 1287-1294.

- Olivas-Silva, R., De la O-Villanueva, M., Villalba-Atondo, A., 1992. Estudio Sedimentológico de la laguna costera Santa Rosa, Sonora. México. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, 1992. 85-100.
- Páez-Osuna, F., Fong-Lee, M.L., Fernández-Perez, H., Lozano-Santacruz, R., Villaseñor G., 1984. Heavy Metals & Mineralogy in Sediments Cores from a Tropical Coastal Lagoon, México. Indian Journal of Marines Sciences 13, 153-158.
- Pandarínath, K., Narayana, A.C., 1992. Clay Minerals and Trace Metal Association in the Gangoli Estuarine Sediments, West Coast of India, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 35, 363-370.
- Pérez-Rojas, A., Torres-Orozco Bermeo, R., Márquez-García, A. Z., 1994. Los sedimentos recientes del lago de Catemaco, Veracruz, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 67-76.
- Perjup, M. 1986. Parameters affecting fine-grained suspended sediment concentrations in a shallow micro-tidal estuary, Ho Bugt, Denmark. Estuarine, Coastal and Shelf Science 22, 241–254.
- Pettijohn, F. J., Potter P. E., and Siever, R., 1972, Sand and sandstone .Springer Verlag, New York and Berlin, 618 p.
- Price, W.A., 1933. Role of diastrophism in topography of Corpus Christi area, south Texas. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 17, 907-962.

- Poppe L. J Commeau, J. A., Luepke G., 2005. Silt fraction heavy-mineral distributions in a lateritic environment: the rivers and insular shelf of north-central Puerto Rico. *Sedimentary Geology* 95 (3-4), 251-258.
- Rauret, G., Rubio, R., López-Sánchez, J. F., Casassas. E., 1988. Determination and speciation of copper of a river Mediterranean (River Tenes, Catalonia,Spain) wat. *Res.* 22(4), 449-455.
- Roman, M. R., Tenore, K. R., 1978. Tidal resuspension in Buzzards Bay, Massachusetts. I. Seasonal changes in the resuspension of organic carbon and chlorophyll a. *Estuarine and Coastal Marine Science* 6, 37–46.
- Rosales-Hoz, L., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Celis-Hernández O., 2008. Composición geoquímica de sedimentos superficiales alrededor del ecosistema arrecifal de Isla Sacrificio, Veracruz, México. *Rev. Hidrobiológica* 18(2), 1-11.
- Ruiz-Fernández, C., 1999. Distribución espacial y temporal de metales pesados en sedimentos lacustres de la cuenca de México: Chalco, Texcoco y Cuatitlán izaclli, Estado de México. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 101 p.
- SARH. 1975, Boletín Hidrológico No. 36, Región Hidrológica No. 10, Dirección de Análisis y Balance Geohidrológico.
- Schoellhamer, D., 1995. Sediment resuspension mechanisms in Old Tampa Bay, Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40, 603– 620.

- Serrano, D., Ramírez-Félix, E., Valle-Levinson A., 2013, Tydal hydrodynamics in a two-inlet coastal lagoon in the Gulf of California. *Continental Shelf Research* 63, 1-12.
- Shepard, F. P., 1973. *Submarine Geology*, Harper and Row, Publishers, New York, USA. 515 p.
- Shumilin, E., Páez-Osuna, F., Green-Ruiz, C., Sapozhnikov, D., Rodríguez-Meza, G.D., Godínez-Orta. L., 2001. Arsenic, antimony, selenium and other trace elements in sediments of the La Paz lagoon, Peninsula of Baja California, México. *Marine Pollution Bulletin*. 42 (3), 174-178.
- Smith, S. L., MacDonalds, D.D., Keenleyside, K. A., Gaudet, C.L., 1996. *The development and implementation of Canadian Sediment Quality Guidelines*.
- Spanopoulos-Zarco, P., 2009. *Variación Estacional de Metales Pesados (Cd, Cu, Ni y Zn) en Sedimentos Superficiales y Organismos (Peces y Moluscos Bivalvos) del Estuario del Río Coatzacoalcos, Veracruz*. Instituto Tecnológico de Mazatlán. Tesis de Maestría.
- SPP. 1982. *Geología de la República Mexicana*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 87 p.
- Vilas, F., Bernabeu, A.V., Méndez, G., 2005. Sediment distribution pattern in the Rias Baixas (NW Spain): main facies and hydrodynamic dependence. *Journal of Marine Systems* 54, 261-276.

Ward, L. G., Kemp, W. M., Boynton, W. R., 1984. Influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. *Marine Geology* 59, 85–103.

Whitmore G. P., Crook A.W., Johnson, D. P., 2004. Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. *Sedimentary Geology* 171, 129–157.

Zoumis, T., Schmidt, A., Grigorova, L., Calmano, W., 2001. Contaminants in sediments: remobilization and demobilization. *Sci Total Environ* 266, 195–202.