

## AMBIENTES SEDIMENTARIOS RECIENTES EN LAGUNA MADRE, NE DE MEXICO

César Estavillo González\*  
J. Eduardo Aguayo Camargo\*

\* Subdirección de Tecnología de Exploración, Instituto Mexicano del Petróleo.

### RESUMEN

La provincia sedimentaria conocida como Laguna Madre en el NE de México, es el resultado del desarrollo fluvial-deltáico del Río Bravo, y de aquellos menores, tales como el San Fernando y el Soto la Marina. Todos estos ríos aportaron sedimentos al Golfo de México, que a su vez eran redistribuidos por las corrientes y contracorrientes litorales a lo largo de la línea costera, formándose una Isla de Barrera, la cual incomunicó a la planicie continental de las aguas del Golfo de México, de esta manera se formó la laguna litoral conocida como Laguna Madre.

Debido al desarrollo de la Isla de Barrera, con más de 210 km de longitud y cuyo ancho varía de 60 km en el extremo norte hasta unos 30 metros en su extremo sur; se formaron cuatro ambientes sedimentarios mayores y varios subambientes asociados a ellos: (1) Planicie Fluvial, (2) Lagunar, (3) Barras Internas y (4) Isla de Barrera. Cada uno de estos ambientes sedimentarios está caracterizado por el tipo de sedimentos orgánicos e inorgánicos que contienen, por sus estructuras sedimentarias primarias y por la distribución de los depósitos sedimentarios.

La Planicie Fluvial (1) es plana, y está constituida por limos y limos arcillosos finamente laminados, con algunos canales sepultados y rellenos con arena muy fina. Existen numerosos horizontes carbonosos intercalados a los limos, así como algunos gasterópodos y pelecípodos propios de agua dulce o salobre. La Laguna (2) es un complejo de subambientes gobernados hidrodinámicamente por corrientes internas que se desplazan de norte a sur paralelamente a la Isla de Barrera, así como por el oleaje, por las corrientes de flujo y reflujo generadas por las mareas diarias y por el agua fluvial del Río San Fernando y de otros arroyos que desembocan en la laguna. Sedimentológicamente hay variaciones dentro de este ambiente, desde arenas finas y medianas mezcladas con fragmentos de conchas de moluscos en las barras interiores; limos y arcillas con materia orgánica hacia el interior de la laguna y arenas finas en la zona adyacente a la Isla de Barrera. Las estructuras sedimentarias primarias varían según el cambio textural de las partículas; desde

laminares en los fangos arcillo-limosos y con estratificación gradual y cruzada, en las arenas y limos gruesos. Las Barras Internas (3) en la zona de postbarrera están sumamente desarrolladas y por sí solas constituyen todo un complejo sedimentario. Los sedimentos arenosos que las forman, provienen principalmente de la Isla de Barrera y son transportados durante épocas de ciclones formando abanicos arenosos dentro de la laguna, y éstos, a su vez, son redistribuidos por las corrientes interiores que existen en este ambiente.

Las arenas de las barras varían de litarenitas feldespáticas a subfeldsarenitas mal a moderadamente clasificadas, cuya composición es la misma que aquellas que provienen de la Isla de Barrera; los sedimentos se mezclan con los arcillo-limosos de la laguna. Las estructuras sedimentarias primarias, tales como, estratificación cruzada y gradual, de corte y relleno, son características de aquellos ambientes de alta energía. Además, se observaron impresiones de la fauna que habita en esta provincia: pájaros, reptiles y mamíferos. La Isla de Barrera (4) contiene varios subambientes: playa, la parte interna de la barra formada por las dunas litorales, y zona de postbarrera adyacente a la laguna. Los sedimentos en cada uno de estos subambientes varían de litarenitas feldespáticas a sublitarenitas. Texturalmente varían de moderadamente bien clasificadas y de tamaño grueso en la playa; bien clasificadas y de tamaño mediano a fino en las dunas y mal clasificadas de tamaño variable en la zona de postbarrera. Las estructuras sedimentarias primarias en estos tres subambientes son propios de la alta energía que impera en la playa y en la parte interior de la barrera, en la que el viento es el dominante; en la zona de postbarrera la energía es moderada e intermitente.

Desde el punto de vista económico, la provincia de Laguna Madre es un área interesante, puesto que se pueden observar a los sedimentos arcillosos ricos en materia orgánica y a los arenosos; los primeros como generadores de hidrocarburos y los segundos como trampas de los mismos, si las condiciones de sedimentación y de sepultamiento continúan como en el presente.

## ABSTRACT

The sedimentary province known as Laguna Madre at NE Mexico resulted of the fluvial and deltaic development of the Bravo River and also of the minor ones, such as the San Fernando and Soto La Marina rivers. These rivers supplied sediments to the Gulf of Mexico, then were distributed along the coastal zone by means of littoral currents and counter currents. By this way a Barrier Island was formed, separating the continental plain from the Gulf of Mexico and resulting by this process the littoral Laguna Madre.

Due to the developing of the Barrier Island with more than 210 km long and 60 km in widthness toward north and 30 meters southern were formed four major sedimentary settings which are characterized by their organic and inorganic content, primary sedimentary structures and by the distribution of the sedimentary deposits.

The *Fluvial Plain* (1) is flat and it contents silt and clayey silts finely laminated with some buried channels filled with very fine sand. There are many coaly horizons interlayered with silty layers with some gasteropod and pelecypod shells from fresh and brackish water. The *Lagoon* (2) is a complex of subenvironments governed hydrodynamically by internal currents which run from north to south parallely to the Barrier Island. Also the lagoon is controlled by waves and tidal currents and by the discharge of rivers, such as the San Fernando and other minors. There are sedimentary variations in this environments, since fine and medium grained sands mixed with mollusca shell debris at the interior bars; silts and clays with disseminated organic matter within them toward the middle portion of the lagoon; and fine grained sands closed to the Barrier Island. The primary sedimentary structures vary according to the textural variations of the sediments; then, laminated silty-clay muds; crossed bedding and graded bedding sands and coarse silt. The *Internal Bars* (3) and back-barrier zone, are very well developed and by

themselves form a whole sedimentary complex. Their sandy sediments are derived from the Barrier Island, and are transported during cyclonic times, and deposited as washover fans into the lagoon setting; after so, are redistributed by means of internal currents within this environment. The sandy bars are composed by feldspar litharenites to subfeldsarenites, poorly to moderately sorted, with the same mineral composition of those ones from the Barrier Island, the sediments mix with the lagoonal silty clay. Primary sedimentary structures, such as: crossed bedding, graded bedding and cut and filled channels all them represent high energy environments. On surface exposure are faunal feet prints proper of this province, such as: birds, reptiles and mammals. The *Barrier Island* (4) is formed by several subenvironments: beach, internal portion formed by littoral dunes, and back-barrier closed to the lagoon environments. Sediments in each one of these subenvironments vary from feldspar litharenite to sublitharenite. These ones are coarse grain size, moderately well sorted in the beach; medium and fine grain size, well sorted in the dunes, and poorly sorted with variable grain size at back-barrier. Primary sedimentary structures in the beach subenvironment are formed in high energy and also at the interior portion of the barrier in which wind is the dominant agent; at back-barrier zone, energy is moderated and intermittent.

Under the economical point of view, the Laguna Madre province is an interesting area, because it is possible to see clayey sediments enriched in organic matter and interbedded sandy layers. The first ones, as hidrocarbons source rocks and the formers, as sedimentary traps, if the sedimentary and burial conditions were as present.

## INTRODUCCION

La provincia sedimentaria conocida como Laguna Madre, situada en el NE de México, se caracteriza por la gran influencia de sedimentos terrígenos que contiene, provenientes principalmente de los sistemas fluviales que drenan en el Golfo de México, y que son transportados y redistribuidos por las corrientes litorales a lo largo de la línea costera. Esto trae como consecuencia la formación de diversos ambientes sedimentarios, tales como: lagunas, esteros, islas de barrera, marismas, pantanos, deltas y dunas litorales. Todos estos ambientes de depósito, en conjunto, evolucionan y se transforman a través del tiempo, progradando hacia el Golfo de México, y como consecuencia, la planicie costera se amplía.

Estos mecanismos de sedimentación progradante, han gobernado a la provincia del Golfo de México durante un lapso de tiempo geológico considerable, desde el Terciario hasta el Reciente. Durante el Pleistoceno hubo varias fluctuaciones del nivel del mar, debido a los periodos glaciales e interglaciales; en éstos últimos, el aporte de sedimentos fue grande, dando lugar al gran desarrollo de islas de barrera paralelas a la línea costera, formando las lagunas litorales que bordean al Golfo de México, una de estas lagunas es la Laguna Madre.

## OBJETIVOS

Los objetivos principales de este estudio fueron los siguientes:

1. Estudiar los ambientes y subambientes litorales recientes que constituyen, en conjunto, toda una provincia sedimentaria en unos cuantos kilómetros de recorrido.
2. Identificar las facies sedimentarias que caracterizan a cada uno de los ambientes y subambientes, tales como: deltas, planicies fluviales, estuarios, lagunas, islas en barrera, marismas y dunas.
3. Observar el doble papel que juegan los ambientes sedimentarios como lugares de sedimentación y, a la vez, como fuentes de suministro de los ambientes de depósito adyacentes entre sí.
4. Obtener criterios sobre el transporte, la sedimentación y distribución textural de las partículas, para poder predecir depósitos sedimentarios antiguos formados bajo condiciones similares, y con posibilidades de generar y almacenar hidrocarburos.

## Localización y vías de comunicación

Laguna Madre está situada en la planicie costera del Golfo de México, en el Estado de Tamaulipas (Figura 1). Tiene una superficie aproximadamente de 2,200 km<sup>2</sup>, está limitada hacia el norte por el delta del Río Bravo; y hacia el sur por el Río Soto la Marina. Esta laguna tiene una longitud aproximadamente de 210 km y su parte más ancha, que es en el extremo norte, tiene unos 60 km, siendo el promedio de unos 10 km. El área de estudio está localizada entre el extremo sur del delta del Río San Fernando y el poblado pesquero La Carbonera, cubriendo un área aproximadamente de 200 km<sup>2</sup>.

La vía de comunicación más importante es la carretera pavimentada 101, que conecta a la ciudad de San Fernando con Cd. Victoria. San Fernando se comunica, hacia el oriente, con el poblado La Carbonera, en un recorrido de unos 47 km de carretera pavimentada. Existen algunas brechas que comunican a las rancherías y que terminan en el borde de la laguna, pero solamente son transitables en épocas de estiaje, y aún así son difíciles de transitar, debido a que no se les dá mantenimiento constante. Por lo que, la visita a la laguna es recomendable hacerse por lancha, las que se pueden alquilar a los pescadores que trabajan en esta región.

## Clima y vegetación

El clima es seco y semiárido, y en general la evaporación excede a la precipitación; la precipitación promedio anual es de 628 mm y la temperatura promedio es de 23°C, llegando a registrarse 38°C durante el Verano.

El viento dominante es del sureste durante Primavera y Verano, alcanzando una velocidad promedio de 2.7 m/seg. Las máximas velocidades son de 4 m/seg y se manifiestan en Otoño e Invierno, cuando los vientos cambian de dirección soplando del norte y del noreste. Como consecuencia de los factores mencionados y que están interrelacionados, la vegetación no es variada, y consiste principalmente de arbustos y mangles; ambos resisten cambios bruscos en la salinidad del agua. Los arbustos son bajos, poco ramificados y generalmente se desarrollan en las planicies deltaicas, y los mangles, en las lagunas. Estos últimos son más diversificados, y las especies varían según el subambiente sedimentario, en los cuales se encuentran; por ejemplo, en las zonas de marismas son más bajos y tienen un color verde claro y en los canales de marea, los manglares son más robustos y de color verde obscuro.



ro. Existen otros arbustos, cuyas características no se describen por no haber sido el objetivo de este estudio, el hacer la correlación botánica con los ambientes sedimentarios.

### Fisiografía

La Laguna Madre se extiende a lo largo de la porción noroccidental del Golfo de México, y está separada de éste por las barras litorales arenosas, cuyos sedimentos provienen principalmente del Río Bravo, y son distribuidos a lo largo de la línea costera por las corrientes y contracorrientes litorales que barren a la costa de norte a sur. El desarrollo de estas islas de barrera dieron lugar a la formación de la laguna, la cual tiende a azolverse por el aporte de sedimentos del Río San Fernando, que desemboca en el interior de la laguna, y también por los sedimentos que provienen de la Isla de Barrera y que son depositados en la laguna durante épocas de ciclones.

Según las provincias fisiográficas dadas por Ordóñez (1936) y Alvarez (1961), el área de estudio está situada en la Planicie Costera del Golfo, subprovincia de la Cuenca del Río Bravo. De acuerdo a la clasificación tectónica propuesta por Inman y Nordstrom (1971), esta provincia se considera como una costa de mar marginal, separada del Océano Atlántico por el Arco del Caribe. Shepard (1973) clasifica a la provincia, geomorfológicamente y genéticamente, como una costa primaria, influenciada por depósitos eólicos, fluviales y deltáicos. Carranza, *et. al.* (1975) la clasifican como una unidad morfotectónica en un estado de evolución avanzada, situada en la Planicie Costera Nororiental y en la subprovincia de la Cuenca del Río Bravo.

Esta provincia, fisiográficamente, forma parte de la llanura costera de Texas, y es una planicie aluvial amplia y plana, con elevaciones y depresiones someras que son remanentes de antiguas lagunas. El borde occidental de Laguna Madre es el acantilado del frente de una planicie fluvial del Pleistoceno-Holoceno; su forma es sinuosa, lobular y digitada. En el interior de la laguna hay una serie de islotes de 4.5 metros de altura, también acantilados, constituidos por limo y arcilla; estos islotes son remanentes de la misma planicie fluvial parcialmente destruida durante un descenso del nivel del mar en una etapa de glaciación en el Pleistoceno.

La porción oriental de la laguna está influenciada por el desarrollo de la Isla de Barrera, y también existen una serie de islas arenosas elongadas y paralelas a la barrera principal. Estas islas no sobresalen más de 1 metro sobre el nivel del agua, y son producto del transporte hacia el interior de la laguna

durante épocas de tormentas de la arena que forma a la Isla de Barrera. En la zona de los canales de mareas que atraviesan a las barras internas se forman bancos arenosos.

La laguna es somera, el rango de profundidad varía entre 20 cm en las zonas adyacentes al delta del Río San Fernando, hasta 3 metros en el canal situada en el extremo noroccidental del área de estudio, y que es paralelo a la Isla de Barrera; es en este sitio, en donde la velocidad de la corriente es mayor, y los sedimentos que acarrea son arenosos. En el resto de la laguna, la profundidad media es de 70 cm y el sedimento es arcilloso y limoso, conteniendo gran cantidad de materia orgánica diseminada, como producto de la descomposición de algas y del pasto marino que son propios del ambiente lagunar.

Dentro de la laguna, un rasgo importante y sobresaliente es el delta interior que se formó en la desembocadura del Río San Fernando, y que separa virtualmente a la zona de estudio en dos depresiones. Este río tuvo un papel importante en la distribución regional de sedimentos, aunque en la actualidad aporta un volumen reducido de agua y de sedimentos limosos y arcillosos. Debido a ello, la tendencia es que la laguna se azolve y se seque, lo que producirá un incremento en la concentración salina, y el correspondiente depósito de yeso y de sal, especialmente en las llanuras marginales de la porción norte. Esto aunado a que el rango de marea, que es de unos cuantos centímetros, y a la circulación restringida de las aguas, que solamente está controlada por el viento, y que es característico de las lagunas cerradas o semicerradas; incrementándose la evaporación, y por lo tanto, la precipitación salina, al no renovarse continuamente el agua de la laguna.

La Isla de Barrera hacia el oriente de la Laguna Madre tiene una longitud de unos 200 km, siendo más ancha en la porción norte, o sea en el delta del Río Bravo. En esta porción la barrera tiene hasta 4 km de ancho y en el extremo sur, hacia el Río Soto la Marina, es de 1/2 km o menos. Su anchura promedio es de 2.5 km. Las playas de barlovolento adyacentes al Golfo de México, son de poca pendiente. Hacia el interior de la barrera se presenta una llanura de 100 a 200 metros de ancho, en donde los vientos son muy activos, principalmente los del sureste, aunque cambian por los del norte y noreste.

Los vientos han acumulado gran cantidad de arena formando duna, las cuales son activas. Estos montículos arenosos son cordones continuos hasta de 600 metros de longitud y tienen una altura promedio de 10 metros. Hacia la laguna hay dunas antiguas estabilizadas por arbustos; estas dunas

muestran fuertes pendientes y al desembocar a la laguna se manifiestan como abanicos subacuados.

La línea costera de la Isla de Barrera hacia barlovento, o sea, hacia el Golfo de México, es en general recta y uniforme, debido a que el olcaje es persistente y tiende a redistribuir uniformemente a los sedimentos. Caso contrario sucede con la costa de la Isla de Barrera en sotavento, hacia el interior de la laguna, en la que la energía de las corrientes es baja y como consecuencia, la redistribución de los sedimentos depositados a lo largo de la barrera arenosa, no es tan efectiva, y por lo tanto, la costa es irregular y sinuosa. En general, la Isla de Barrera forma un cordón arenoso continuo, aunque en ciertas porciones éste ha sido roto durante épocas de tormenta, comunicando las aguas del golfo con las de la laguna, principalmente durante pleamar, incomunicándose nuevamente ambas provincias durante bajamar.

### Hidrografía

La Laguna Madre está siendo afectada por tres ríos: el Bravo en la porción norte, el San Fernando o Cónchos en la central, y el Soto la Marina en el sur de la provincia sedimentaria. Estos ríos aportaron en un tiempo, gran cantidad de sedimentos al interior de la laguna, pero debido a las obras hidráulicas que se han construido, el azolve ha disminuido considerablemente. Actualmente existen algunas lagunas sobre la planicie fluvial del complejo sedimentario desarrollado por los ríos San Fernando y Bravo, tales como, la del Llorón y la Nacha (figura 1), que son remanentes de lo que era una gran laguna formada durante un periodo regresivo en el Pleistoceno o el Holoceno. El Río Soto la Marina desemboca directamente en el Golfo de México, pero el suministro de sedimentos ha disminuido al construirse la presa Vicente Guerrero, la cual va afectar en el futuro, el régimen de sedimentación litoral, con la consecuente remodelación o destrucción de los actuales ambientes costeros.

### Métodos de trabajo

En el área de estudio se colectaron 69 muestras de sedimentos por medio de un tubo nucleador manual de 4 metros de longitud, en condiciones subacuadas. En las zonas expuestas se cavaron trincheras para observar las estructuras sedimentarias primarias, que caracterizan a los ambientes sedimentarios estudiados. Las zonas de muestreo se controlan por medio de un plano base, elaborado a partir de fotografías aéreas de Detenal escala 1:70,000 y con cartas de Detenal. El plano base fue he-

cho en la sección de Cartografía de la Subdirección de Tecnología de Exploración del Instituto Mexicano del Petróleo.

El trabajo de laboratorio consistió en el estudio granulométrico y mineralógico de las muestras colectadas en el campo, utilizando un tubo de sedimentación tipo Emery para separar los diferentes rangos de arenas, y la pipeta para los limos y arcillas. Los cálculos estadísticos se hicieron, utilizando los criterios propuestos por Folk y Ward (1957) y Folk (1966). El análisis mineralógico se hizo por el método de conteo mencionado por *Textoris* (en: Caver, 1971, p. 95), utilizando un estereomicroscopio binocular estándar, con el que se cuantificaron los diferentes constituyentes identificados, tanto minerales como orgánicos.

Los resultados composicionales obtenidos se graficaron según el triángulo propuesto por Folk (1969); y los valores estadísticos se agruparon en la gráfica ternaria propuesta por Aguayo, *et. al.*, (1978).

Entre los trabajos de investigación que se han elaborado en la Laguna Madre, se tienen pocos en comparación con los de la Laguna Madre de Texas. Se pueden mencionar, los de Hildebrand (1958), Ayala y Segura (1968), García (1968) y Yañez y Schlaepfer (1968), los tres primeros se refieren a estudios biológicos y la última referencia a estudios sedimentológicos.

De los trabajos efectuados en la Laguna Madre de Texas, los más sobresalientes son los de Fisk (1959), Rusnak (1960), Conaster (1971), Davis (1979), entre otros.

El estudio de este tipo de lagunas y de estos ambientes sedimentarios asociados a ellas, es importante desde el punto de vista económico, puesto que, en ellos se generan hidrocarburos, debido a las condiciones propias de reducción, alta acumulación de materia orgánica y rápido sepultamiento. Por otro lado, los hidrocarburos generados también se acumulan dentro de la misma provincia, ya que existen cuerpos arenosos asociados a los arcillosos, y que son capaces, debido a su porosidad y permeabilidad, de almacenar a los hidrocarburos tempranamente generados. Modelos sedimentarios de este tipo se han encontrado en la columna geológica, y actualmente producen gas, tal es el caso del Terciario en la porción nororiental de México.

## PROVINCIA SEDIMENTARIA

### A) Ambiente de Planicie Fluvial

La planicie fluvial está localizada en la porción oriental de la Laguna Madre, formada por los ríos

tuidos por fragmentos de rocas y feldespatos potásicos y en menor proporción, por cuarzo. Los constituyentes orgánicos, tales como fragmentos de moluscos, son mínimos (M-6, 15, 16, 20, 22, 27, 28, 32, 33, 36, 37, 39, 49 y 53) (figuras 2 y 5). Los sedimentos en este subambiente están muy mal clasificados y tienden hacia los tamaños finos. Esta variación textural se debe a la influencia de los vientos del SE y a los del N que generan olas y corrientes, mezclando las arenas con los sedimentos arcillosos.

## 2) Zona de intermareas

La zona de intermareas es localmente importante, principalmente en los islotes que son remanentes de erosión de la planicie fluvial (M-24, 30, 31, 35, 40, 45 y 46) (figuras 2 y 3).

Sedimentológicamente la zona de intermareas está constituida por sublitarenita y litarenita texturalmente fina a muy fina, inmaduras, mal clasificadas y con una tendencia a la simetría o ligeramente asimétricas hacia los tamaños finos (figuras 4 y 5). Los sedimentos tienen variaciones locales en su composición mineral y textural, principalmente cuando hay acumulación de arenas constituidas de fragmentos de moluscos, y cuando las conchas de éstos no están fracturadas; tal es el caso del conjunto de gasterópodos que se encontraron en las porciones SE y S de las islas La Coyota y la del Venado, respectivamente (lámina IX, y foto 1). Esta acumulación de conchas de moluscos fue debida al transporte de las corrientes generadas por las mareas y depositadas durante las tormentas (M-24 y 30) (figuras 2 y 3).

La zona de intermareas cercana a la porción norte del frente deltáico tiene un enriquecimiento de fragmentos de roca y de feldespatos, por lo que, los sedimentos corresponden al clan de litarenitas feldespática (M-45 y 46) (figuras 4 y 5). Localmente dentro la zona de intermareas, el volumen de partículas de cuarzo se incrementa ligeramente, y los sedimentos varían entre sublitarenita a felsarenita lítica (M-31, 35, y 40) (figura 4). Estos sedimentos varían de arena fina a limo fino, mal a muy mal clasificados y con una tendencia de asimetría que oscila de positiva a negativa, o sea, de los tamaños finos a los gruesos dependiendo del contenido de fragmentos de conchas de moluscos que se acumulan localmente (figura 5). Se observaron en este subambiente, estructuras primarias, tales como bioturbación y huellas de aves (lámina IX, y foto 2).

## C) Ambiente de Barras Internas

Las barras internas son depósitos arenosos que se forman durante el rompimiento del cordón litoral en épocas de tormentas y que como consecuencia, el sedimento arenoso se acumula hacia el interior de la laguna, formándose las barras internas. Otro mecanismo de transporte es el cólico, acarreado a los sedimentos arenosos de las dunas litorales hacia el interior de la laguna, tanto por saltación como por suspensión.

Los sedimentos arenosos al ser depositados son redistribuidos por las corrientes que existen en el interior de la laguna, que circulan de norte a sur, paralelas al borde occidental de la Isla de Barrera, depositándose sedimentos arenosos; mientras que el arcilloso y el limoso es acarreado hacia el interior de la laguna, por ser la zona de menor energía.

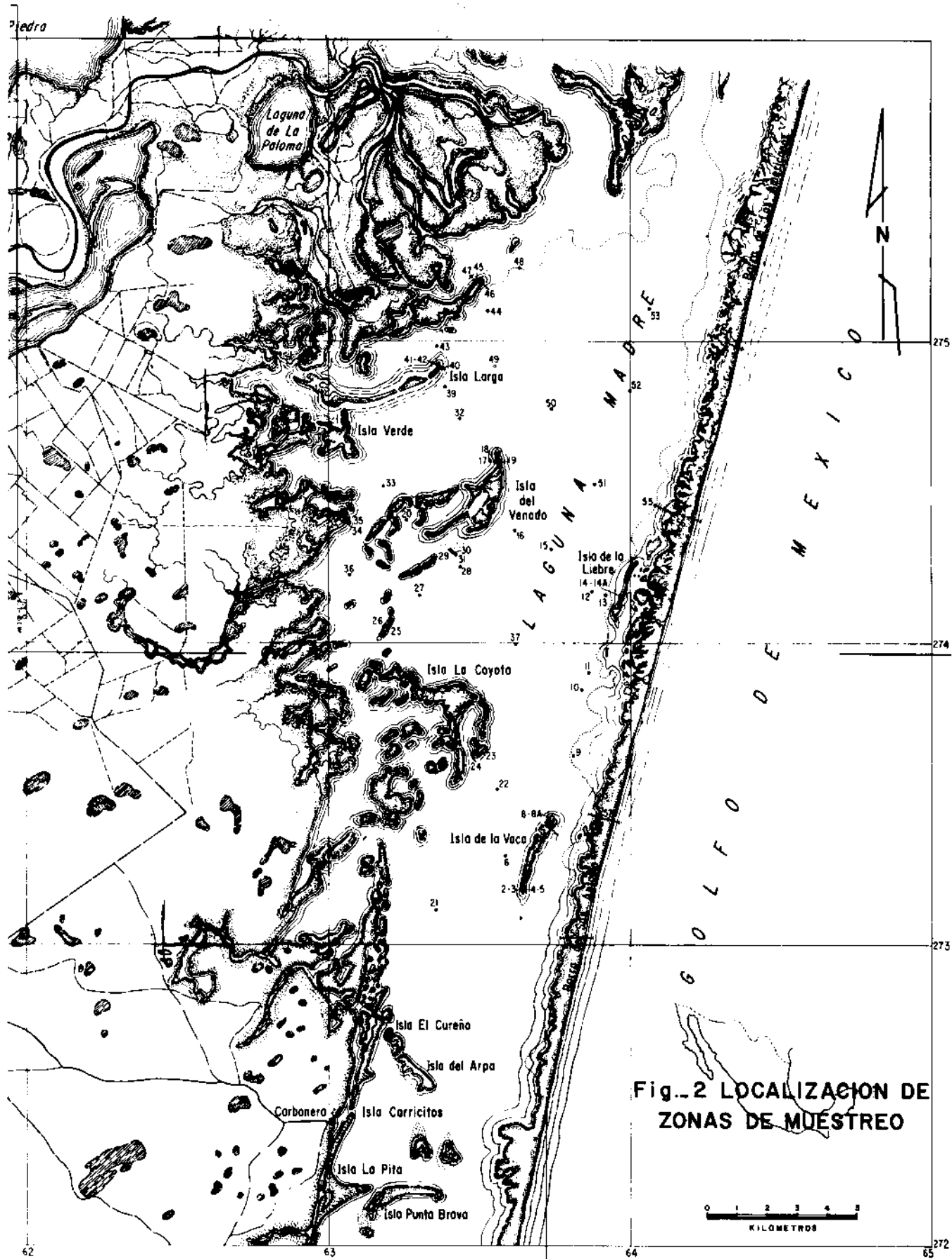
Las barras internas tienen una longitud variable de unas cuantas decenas de metros a 2.5 kilómetros y de unos cuantos metros a 100 metros de ancho. La variación de sus dimensiones se debe a que son migratorias y durante el año cambian, tanto de forma como de posición, dependiendo de los cambios climáticos que ocurren en la región. Los depósitos arenosos formados como islas, por estos mecanismos, son: la de la Vaca, la Liebre y otras similares paralelas a la Isla de Barrera. Estas "islas" son afectadas, no sólo por las corrientes internas, sino también por las mareas que zonifican a las barras arenosas en tres áreas de sedimentación bien definidas: (a) inframarea, (b) intermarea y (c) supramarea.

### a) Barras internas en inframarea

Los sedimentos de las barras internas que constituyen la Isla de la Liebre, son sublitarenita inmadura, mal clasificada y con tendencia hacia los tamaños finos (M-13) (figuras 2, 4 y 5). El sedimento se colectó a 0.70 metros de profundidad en inframarea. A 2 kilómetros al NE de esta misma isla se colectó otra muestra a 0.80 metros de profundidad; el sedimento es litarenita feldespática, muy mal clasificada, que granulométricamente varía de arena fina y muy fina a limo grueso. En la zona de inframarea las estructuras sedimentarias primarias no se observaron, debido a las condiciones subacuáticas del ambiente (M-12) (figuras 2, 4 y 5).

### b) Barras internas en intermareas

En la porción sur de la Isla de la Vaca, hay una franja de intermareas bien desarrollada (M-2 y 5) (figura 2). La zona de intermareas está inclinada unos 4° hacia la laguna, y tiene una anchura de 80 metros. El límite superior de la zona de intermareas superior, colinda con la zona de supramarea





Bravo y San Fernando o Cónchos (figura 1, lámina 1, y foto 1). La planicie se caracteriza por ser morfológicamente una zona plana y su frente adyacente a la Laguna Madre, está formado por una serie de islotes escarpados de formas cóncavas y alargadas (figura 2; lámina 1, y foto 2). La altura de estos islotes varían entre 2 y 5 metros, compuestos por limos y arcillas con restos de plantas parcialmente carbonizadas y con un desarrollo de arbustos bajos en su parte alta (lámina 1, y foto 3). Estos islotes quedaron como testigos de erosión, por la última regresión durante el Holoceno.

Sus playas antiguas se localizan a unos 4.5 km del Río Soto la Marina hacia los Ebanos, bordeando la margen occidental de la Laguna Madre.

Las principales islas que corresponden a la antigua planicie fluvial son, en orden de importancia de acuerdo a su extensión: Larga, Verde, del Venado, la Coyota y aquéllas que se encuentran hacia el sur del área de estudio cercanas a la planicie (figura 2).

Una de las características de estas islas, es su forma semicircular, tal es el caso de las islas del Venado y la Coyota, por lo que tienen desarrollos de barras como aquéllas que se encuentran en la punta norte y al sureste de la isla del Venado, cuyo tirante de agua es de unos 20 cm (lámina IV, y fotos 1 y 2). Depósitos de este tipo también se localizan en la porción oriental de la Isla la Coyota. Los sedimentos, en forma de barras, están controlados por la acción de los vientos y la lluvia, que van erosionando las paredes de las islas que aportan material limo-arcilloso a la laguna y cuyo grado de clasificación textural es menor que el sedimento del cual provienen, y que se mezclan con la arcilla y con las conchas de moluscos de la laguna.

Los sedimentos descritos corresponden a las muestras colectadas M-23, 26, 29 34, 38, 40 y 41; los cuales varían de sublitarenita a litarenita feldespática (figuras 2, 3 y 4). El enriquecimiento de cuarzo se tiene en las muestras 23, 26 y 34; los sedimentos contenidos en la planicie fluvial, en general, son texturalmente inmaduros, ya que, el contenido de arcilla es alto; las partículas individuales son angulosas a subangulosas y están mezcladas con fragmentos herbáceos, provenientes de la vegetación que crece en la cima de las islas.

Los sedimentos muestreados en los acantilados de estas islas varían de arena muy fina a limo mediano y tienen una coloración café claro a amarillo pardo, debido a la descomposición de los feldespatos. El grado de clasificación de éstos varía entre mal clasificado (muestras 29, 41 y 42), a muy mal clasificado (M-23, 26, 34 y 38). La asimetría es errática, dependiendo de los depósitos sedimentarios

contenidos en este ambiente. Estos sedimentos varían entre platicúrticos a mesocúrticos, debido a la mala clasificación que tienen, a pesar de pertenecer al rango de los limos (figura 5).

Las estructuras sedimentarias primarias que caracterizan a la planicie fluvial, asociadas a los limos y arcillas son: laminación horizontal, laminación cruzada incipiente, pequeños horizontes de materia orgánica carbonosa y canales de 3 a 5 cm de profundidad, formados por drenaje secundario (figura 5; lámina II, y fotos 1 y 2; y lámina III, y fotos 1 y 2). En los riscos de estas islas se observaron conchas de moluscos contenidos en estas secuencias limo-arcillosas, que confirman que la planicie fluvial estaba próxima a un ambiente lagunar costero y somero de baja energía y con gran aporte de sedimentos terrígenos finos.

## B) Ambiente Lagunar

Este ambiente es sedimentológicamente complejo, debido a las variaciones en la energía que existen dentro de la laguna, por las corrientes y mareas. En ella, hay zonas de alta, moderada y de baja energía, que gobiernan la formación de varios depósitos sedimentarios dentro de la laguna (figuras 2 y 3).

### 1) Zona de Inframarea

Comprenden a sedimentos colectados hasta una profundidad de 1.50 m, siendo ésta la máxima encontrada en el área de estudio durante el mes de marzo de 1980. En la porción oriental de la laguna, predominan las arenas finas y limos gruesos, constituidos por litarenitas feldespáticas (M-1, 9 y 12), las cuales provienen de la Isla de Barrera y de las islas paralelas cercanas a este complejo sedimentario (figura 2). La madurez de las arenas varía de submaduras en las cercanías de las islas (M-9), a inmaduras dentro de la laguna. El grado de redondeamiento de las arenas es bajo, desde angulosas a subredondeadas.

Los sedimentos tienden a ser más finos a medida que se alejan de la Isla de Barrera, hacia el interior de la laguna, y varía de muy mal, a moderadamente bien clasificados, debido a que las partículas bien clasificadas que son transportadas por el viento y depositadas en la laguna, se mezclan con los sedimentos granulométricamente más finos, con la consecuente inversión textural (figura 3).

Los sedimentos que caracterizan al ambiente lagunar tienen un grado de asimetría negativo, o sea que tienden hacia los tamaños finos. Los valores de curtosis son muy erráticos, de 0.57 a 3.97, variando de extremadamente leptocúrticos y muy platicúrticos (figura 5). Este rango es demasiado amplio y

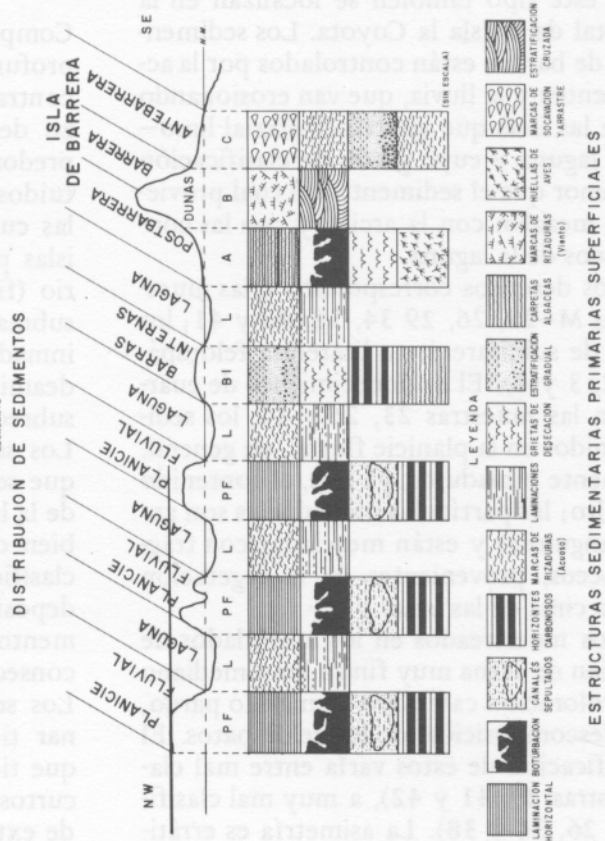
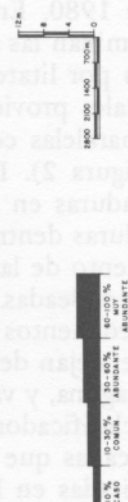
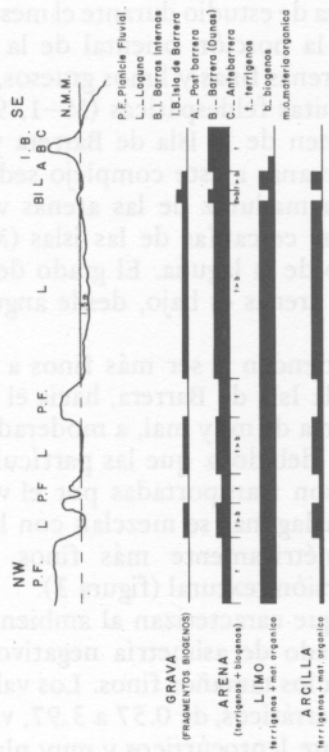
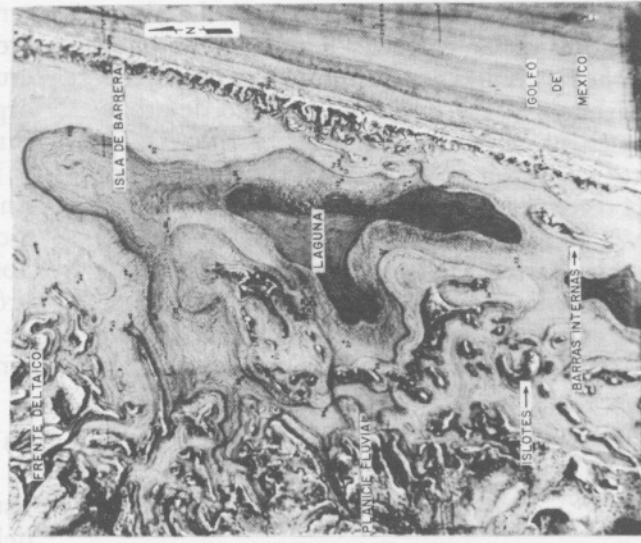
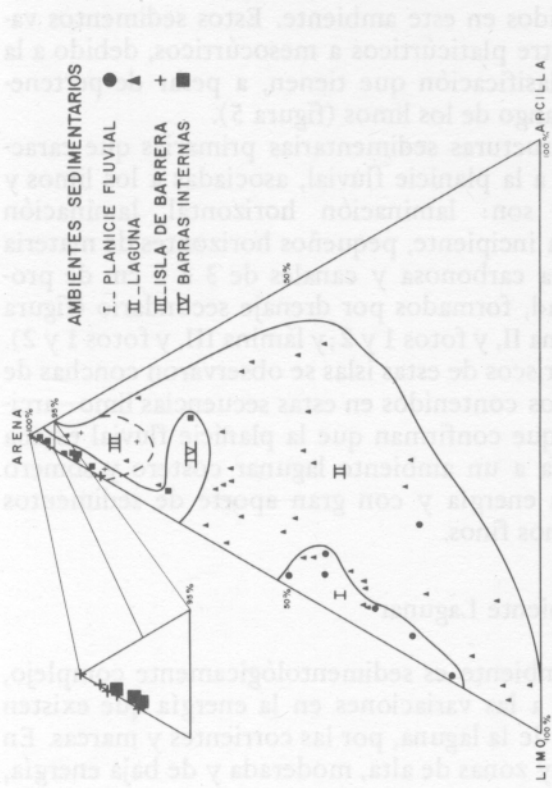


FIG. 3 COMPLEJO SEDIMENTARIO LAGUNA - MADRE, NE DE MEXICO

no manifiesta una relación directa con los otros parámetros granulométricos, por lo que, no es un factor discriminador de facies sedimentarias en la zona de inframarea.

#### a) Subambiente de barras sumergidas

Dentro del ambiente lagunar, en las zonas semiprotectidas al impacto del oleaje y a la acción directa del viento, entre 20 y 40 cm de profundidad, se forman pequeñas barras sumergidas, como en el extremo norte de la Isla del Venado (lámina IV, y fotos 1 y 2). Estos depósitos arenosos están constituidos por litarenita feldespática, inmadura, de grano medio a muy fino, cuyas partículas individuales son angulosas y subangulosas, y cuya composición tiene variaciones locales, debido a la concentración errática de fragmentos de moluscos (M-17 y 18) (figura 2); por esta causa, los sedimentos están muy mal clasificados, y tienden hacia los tamaños finos. Cuando disminuye el contenido de fragmentos de moluscos, el grado de clasificación aumenta considerablemente, y la tendencia del sedimento es hacia la simetría (figura 5).

Las barras areno-limosas temporalmente emergen, los sedimentos varían de litarenita a sublitarenita inmadura, de grano medio a fino, con partículas angulosas a subangulosas, y en ocasiones a subredondeadas (M-25) (figura 4). En estos sedimentos, el contenido de cuarzo y de fragmentos de rocas es ligeramente mayor que en aquellos sedimentos depositados en las barras sumergidas; la razón es que los islotes de origen fluvial son la fuente de suministro de las barras; esto se manifiesta en la composición mineralógica de los islotes y en su cercanía con las barras. Las estructuras sedimentarias primarias de las barras de este subambiente, no se pudieron observar, debido a las condiciones acuosas propias del ambiente sedimentario.

#### b) Subambiente de canal por rompimiento.

En el extremo norte de la Isla de la Vaca hay un canal que se formó por el efecto de las tormentas. El flujo y reflujo del agua en este canal, es de este a oeste, porque están controlados por la acción del viento durante la época del año en que se hizo el estudio, o sea, en el mes de marzo (lámina V, y fotos 1 y 2). El canal es somero, de 10 a 20 cm de profundidad, y sedimentológicamente está constituido por litarenita feldespática inmadura de grano medio a fino, muy mal clasificada. Las partículas son de angulares a subangulares y tienden hacia los tamaños finos (M-7) (figuras 2 y 4). Los sedimentos provienen de la Isla de Barrera, y son transportados en suspensión y saltación por el viento y

por arrastre, en condiciones subacuosas. Las partes protegidas del canal, son zonas de marismas, en las que se desarrollan carpetas algáceas y otro tipo de materia orgánica que crean un ambiente reductor;

la coloración de estos depósitos es negra a gris oscuro, la que está controlada por el depósito algáceo que llega a tener entre 5 y 7 cm de espesor (lámina VI, y fotos 1 y 2). Estos depósitos algáceos están interlaminados con terrígenos de grano fino que se han estabilizado por las algas y por los arbustos de tipo halófito, los cuales son abundantes.

#### c) Subambiente de barras internas

Las barras internas son bancos arenosos elongados y paralelos a la Isla de Barrera que sobresalen del nivel del agua de la laguna en bajamar, no más de 1 metro (figuras 2 y 3; lámina VII, y foto 1). Estos depósitos son el producto del rompimiento de la Isla de Barrera durante épocas de tormentas, al ser transportados los sedimentos de la línea costera hacia el interior de la laguna y redistribuidos por una corriente interna que corre de norte a sur, o sea, paralela a la isla de barrera. Estas barras internas, conocidas en la región como "Islas" (La Vaca y La Liebre); tienen una longitud de 2 a 2.5 km, y una anchura máxima de 100 metros. Sedimentológicamente están constituidas por litarenitas feldespáticas inmaduras, de grano medio a fino, muy mal clasificadas por la presencia de arcilla propia de la laguna, y con tendencia hacia los tamaños gruesos. Estos depósitos arenosos, se describen con más detalle en párrafos posteriores, puesto que, por sí solos, constituyen un ambiente sedimentario (figuras 4 y 5).

#### d) Subambiente de barras del frente deltáico

En la desembocadura del Río San Fernando se depositaron barras arenosas, y que por ser una zona demasiado somera es inaccesible para cualquier lancha, y difícil de caminar, ya que el viento del norte es persistente; sin embargo, se muestreó en los depósitos de arena del frente deltáico (M-43, 44, 47 y 48) (figuras 2 y 3). Los sedimentos en este subambiente están constituidos por limo mediano a muy fino de igual composición y textura, que aquellos del frente de la planicie fluvial, por ser ésta, la otra fuente de suministro que al erosionarse por la acción del oleaje aportan sedimentos a la laguna, formándose las barras (lámina VIII, y foto 1).

Los sedimentos limo-arenosos del frente deltáico, con un espesor entre 0.5 m y 1.50 m están consti-

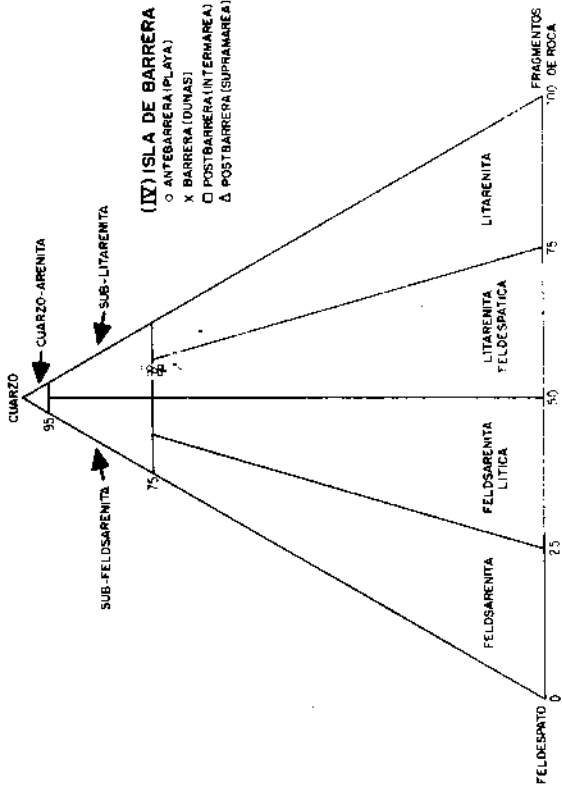
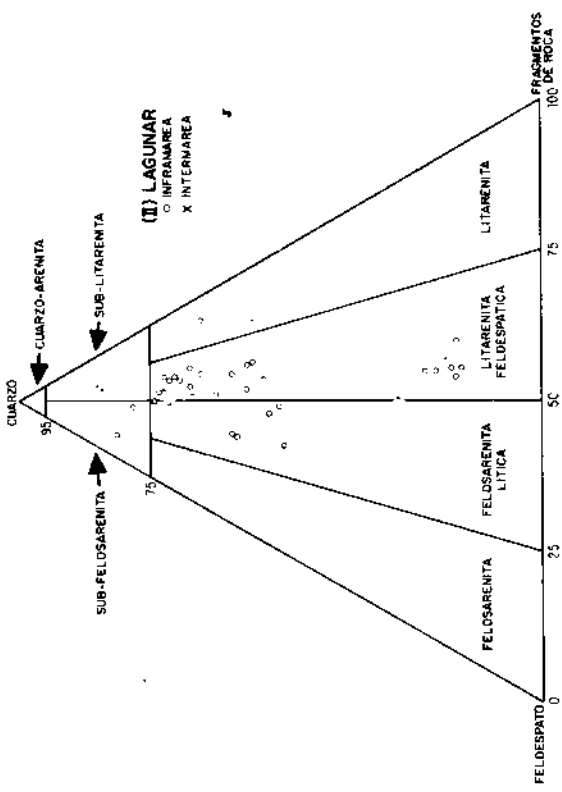
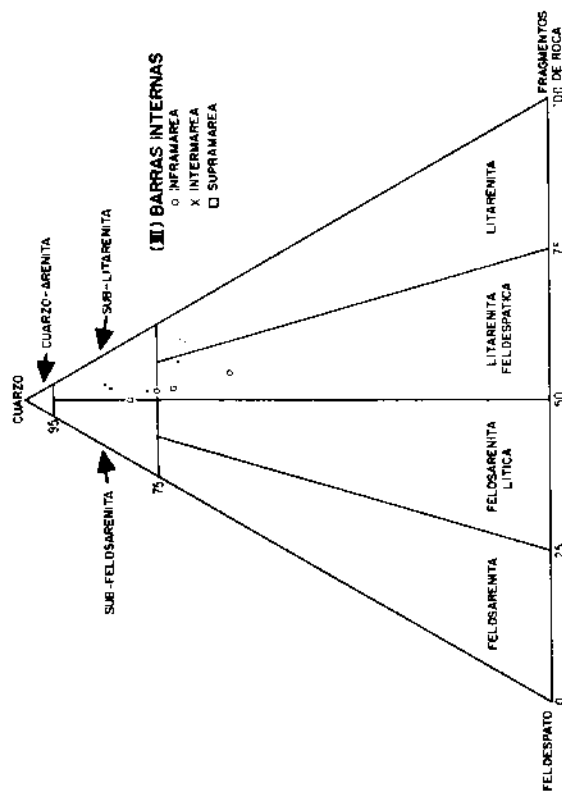
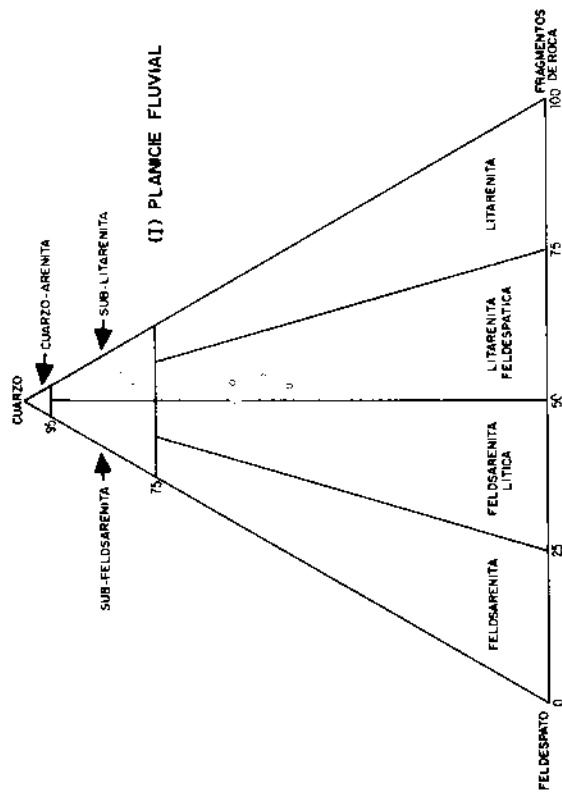


FIG. 4.- CLASIFICACION DE SEDIMENTOS DE LA RELACION A LOS AMBIENTES SEDIMENTARIOS LAGUNA MADRE NE DE MEXICO

MUESTRA	Mz $\mu$	G <sub>1</sub>	Sk <sub>1</sub>	Ambiente Sedimentario	MUESTRA	Mz $\mu$	G <sub>1</sub>	Sk <sub>1</sub>	Ambiente Sedimentario
23	2.49	2.83	-0.06	I PLANICIE FLUVIAL	31	4.11	1.16	+0.04	III LAGUNA SUPRAMAREAL
24	4.77	2.40	-0.37		32	1.17	2.13	+0.23	
25	5.78	1.06	-0.54		33	3.18	1.59	+0.20	
26	5.71	2.07	-0.25		34	0.36	1.99	+0.19	
27	4.02	2.47	+0.04		35	1.46	2.29	-0.50	
28	4.99	1.91	+0.90		36	1.66	1.49	-0.38	
29	4.28	1.70	+0.33		37	2.34	2.26	-0.11	
1	1.97	3.95	-0.36		38	2.66	1.87	-0.05	
2	0.99	3.90	-0.10		39	1.29	1.99	-0.22	
3	1.93	3.93	-0.13		40	4.13	1.51	+0.05	
4	2.90	0.92	-0.21	41	0.66	1.44	-0.04		
5	0.34	1.96	+0.12	42	1.90	0.63	-0.07		
6	4.31	1.97	+0.75	43	2.17	1.70	-0.22		
7	4.34	2.40	-0.50	44	1.54	1.44	-0.04		
8	0.34	1.96	+0.12	45	2.11	1.59	-0.27		
9	4.34	2.40	-0.50	46	2.11	1.59	-0.27		
10	0.34	1.96	+0.12	47	2.11	1.59	-0.27		
11	4.31	1.97	+0.75	48	2.11	1.59	-0.27		
12	4.34	2.40	-0.50	49	2.11	1.59	-0.27		
13	1.33	2.12	+0.19	50	2.11	1.59	-0.27		
14	0.34	1.96	+0.12	51	2.11	1.59	-0.27		
15	4.34	2.40	-0.50	52	2.11	1.59	-0.27		
16	0.34	1.96	+0.12	53	2.11	1.59	-0.27		
17	1.10	2.38	+0.37	54	2.11	1.59	-0.27		
18	1.45	1.43	+0.69	55	2.11	1.59	-0.27		
19	0.34	1.96	+0.12	56	2.11	1.59	-0.27		
20	1.99	3.40	+0.14	57	2.11	1.59	-0.27		
21	1.63	3.17	+0.34	58	2.11	1.59	-0.27		
22	0.10	1.57	+0.54	59	2.11	1.59	-0.27		
23	2.70	3.15	-0.16	60	2.11	1.59	-0.27		
24	4.46	1.36	+0.34	61	2.11	1.59	-0.27		
25	0.10	1.57	+0.54	62	2.11	1.59	-0.27		
26	5.42	2.30	-0.04	63	2.11	1.59	-0.27		
27	4.96	3.21	-0.23	64	2.11	1.59	-0.27		
28	5.17	1.78	-0.41	65	2.11	1.59	-0.27		
29	0.34	1.96	+0.12	66	2.11	1.59	-0.27		
30	6.12	2.30	-0.51	67	2.11	1.59	-0.27		
31	0.34	1.96	+0.12	68	2.11	1.59	-0.27		
32	4.96	3.21	-0.23	69	2.11	1.59	-0.27		
33	5.17	1.78	-0.41	70	2.11	1.59	-0.27		
34	0.34	1.96	+0.12	71	2.11	1.59	-0.27		
35	6.12	2.30	-0.51	72	2.11	1.59	-0.27		
36	0.34	1.96	+0.12	73	2.11	1.59	-0.27		
37	4.96	3.21	-0.23	74	2.11	1.59	-0.27		
38	5.17	1.78	-0.41	75	2.11	1.59	-0.27		
39	0.34	1.96	+0.12	76	2.11	1.59	-0.27		
40	6.12	2.30	-0.51	77	2.11	1.59	-0.27		
41	0.34	1.96	+0.12	78	2.11	1.59	-0.27		
42	4.96	3.21	-0.23	79	2.11	1.59	-0.27		
43	5.17	1.78	-0.41	80	2.11	1.59	-0.27		
44	0.34	1.96	+0.12	81	2.11	1.59	-0.27		
45	6.12	2.30	-0.51	82	2.11	1.59	-0.27		
46	0.34	1.96	+0.12	83	2.11	1.59	-0.27		
47	4.96	3.21	-0.23	84	2.11	1.59	-0.27		
48	5.17	1.78	-0.41	85	2.11	1.59	-0.27		
49	0.34	1.96	+0.12	86	2.11	1.59	-0.27		
50	6.12	2.30	-0.51	87	2.11	1.59	-0.27		
51	0.34	1.96	+0.12	88	2.11	1.59	-0.27		
52	4.96	3.21	-0.23	89	2.11	1.59	-0.27		
53	5.17	1.78	-0.41	90	2.11	1.59	-0.27		
54	0.34	1.96	+0.12	91	2.11	1.59	-0.27		
55	6.12	2.30	-0.51	92	2.11	1.59	-0.27		
56	0.34	1.96	+0.12	93	2.11	1.59	-0.27		
57	4.96	3.21	-0.23	94	2.11	1.59	-0.27		
58	5.17	1.78	-0.41	95	2.11	1.59	-0.27		
59	0.34	1.96	+0.12	96	2.11	1.59	-0.27		
60	6.12	2.30	-0.51	97	2.11	1.59	-0.27		
61	0.34	1.96	+0.12	98	2.11	1.59	-0.27		
62	4.96	3.21	-0.23	99	2.11	1.59	-0.27		
63	5.17	1.78	-0.41	100	2.11	1.59	-0.27		

U.C.R.E. Clase de tamaño según Wentworth (1922)

0 Detritos  
1 Gulchero  
2 Arcilla  
3 Arcilla muy gruesa  
4 Arcilla mediana  
5 Arcilla fina  
6 Limo grueso  
7 Limo fino  
8 Limo muy fino  
9 Arcilla

Nota:  $\beta$  = long.  $\mu$   
 $d$  = diámetro de la partícula en milímetros

M = PROBLEMA CLASICO DE TAMAÑO  
 $M = \beta \mu - \beta \mu - \beta \mu$

G<sub>1</sub> = MEDIANAS DE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO EN LA CLASIFICACION DEL SEDIMENTO  
 $G = \beta \mu - \beta \mu$

Sk<sub>1</sub> = MEDIANAS DE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO EN LA CLASIFICACION DEL SEDIMENTO  
 $Sk = \beta \mu - \beta \mu - \beta \mu$

1.00 a 0.25 muy bien clasificado  
0.25 a 0.10 bien clasificado  
0.10 a 0.075 moderadamente bien clasificado  
0.075 a 0.050 moderadamente clasificado  
0.050 a 0.025 mal clasificado  
0.025 a 0.010 muy mal clasificado  
0.010 a 0.005 mal clasificado

Sk<sub>1</sub> = MEDIANAS DE LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO EN LA CLASIFICACION DEL SEDIMENTO  
 $Sk = \beta \mu - \beta \mu - \beta \mu$

1.00 a +0.20 muy asimétrico hacia los finos  
+0.20 a +0.10 asimétrico hacia los finos  
+0.10 a +0.05 asimétrico  
-0.10 a -0.20 asimétrico hacia los gruesos  
-0.20 a -1.00 muy asimétrico hacia los gruesos

ADAPTACION METEOROLOGICA  
(Geog. Zeit. y Mond. 1927; Feil. 1946)

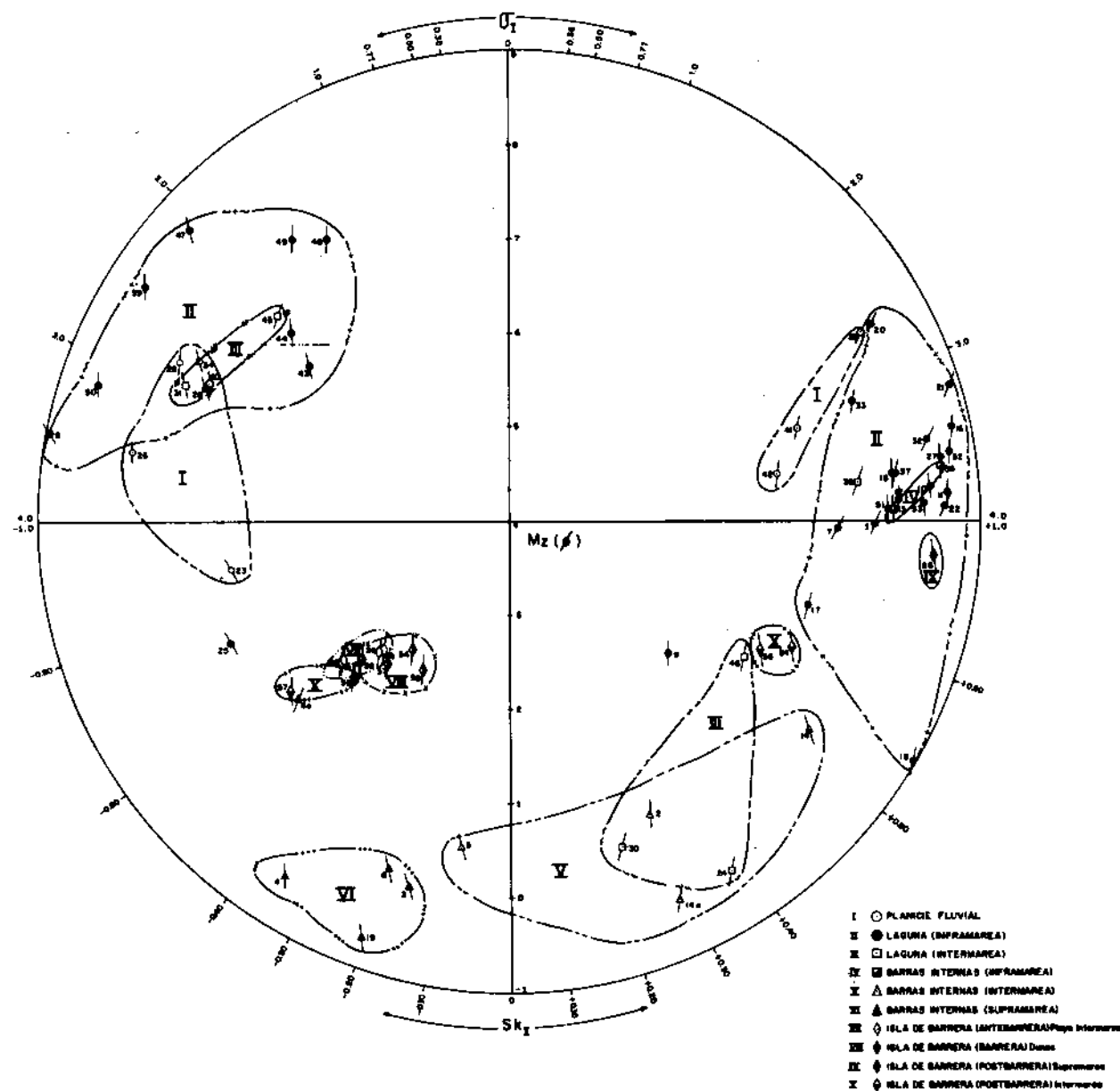


FIG. 5. DIAGRAMA TERNARIO DE PARAMETROS ESTADISTICOS DE SEDIMENTOS EN LAGUNA MADRE NE DE MEXICO

y está marcado por una franja de musgo que se acumula por las corrientes de flujo durante pleamar, y no es acarreada por las corrientes de reflujo durante el bajamar (lámina VII, y foto 1).

El desarrollo de la barra es de oriente a poniente, por lo que, en esta última porción por estar adyacente a la laguna, la zona de intermareas y la de supramarea están mejor desarrolladas. Los sedimentos en la zona de intermareas están constituidos por sublitarenita de grano muy grueso, submadura, con clastos subangulosos a subredondeados y con abundantes fragmentos de conchas de moluscos (M-2) (figura 4).

La zona intermedia, entre las barras internas y la Isla de Barrera, está más protegida a la acción de la corriente y del oleaje (M-5) (figura 2). El sedimento es sublitarenita a litarenita inmadura y muy mal clasificada; éste contiene gran cantidad de partículas de materia orgánica, principalmente algáceas. En esta porción, también se encontró el mayor desarrollo de *balanus* incrustados en troncos y en el suelo consolidado (lámina VI, y foto 2).

El banco de arena avanza hacia el interior de la laguna durante épocas de tormentas, cuando se rompe la Isla de Barrera, que es la fuente de origen de la mayor parte de los sedimentos que constituyen a las barras interiores. Las partículas se transportan en los canales formados durante las épocas ciclónicas; por lo que, los sedimentos más gruesos de terrígenos y de fragmentos de conchas de organismos se depositan en la parte basal de los cuerpos arenosos, disminuyendo granulométricamente en los horizontes más superficiales (figura 3). Estos sedimentos son redistribuidos por la acción del oleaje y por las corrientes de marea e intermareas, por lo que, los depósitos arenosos, inicialmente en forma de abanico cambian geoméricamente a cordones litorales.

Los sedimentos basales están constituidos por sublitarenita muy gruesa a gruesa, submadura, mal clasificada, asimétrica hacia los tamaños finos (M-14 a) (figuras 4 y 5). En esta porción los fragmentos biógenos son abundantes, los horizontes superiores son laminados y están constituidos por sublitarenita de grano medio a fino, madura, bien clasificada y asimétrica hacia los tamaños finos. En estos horizontes el contenido de restos biógenos se presentan con espesores de 5 a 7 centímetros y son de color café-oscuro, debido a la presencia de materia orgánica diseminada que forma parte del suelo (lámina X, y fotos 1 y 2).

Las estructuras sedimentarias primarias asociadas a los sedimentos descritos dentro de la zona de intermareas son: estratificación cruzada de ángulo bajo de  $4^{\circ}$ , buzando hacia la laguna; estratificación gradual cíclica, marcando los periodos del tor-

mentas con el depósito de sedimentos texturalmente grueso y los sedimentos más finos que representan la influencia normal de mareas y del oleaje, en épocas de calma; estructuras de corte y relleno formadas durante el flujo y el reflujo de mareas y carpetas algáceas, asociadas a grietas formadas por desecación, que son propias de la zona de intermareas (figura 3).

### c) Barras internas en supramarea

La zona de supramarea está expuesta durante la mayor parte del año, solamente en épocas de ciclones se inunda, lo cual se manifiesta por el cambio brusco en los sedimentos, ya que los organismos que normalmente viven en la laguna, son arrastrados y depositados en ésta.

En la zona de supramarea en el extremo sur de la Isla de la Vaca (figuras 2 y 3), se encuentran megarrizaduras por la acumulación de arena, en forma de pequeños montículos de unos 40 a 60 centímetros de altura, con poco desarrollo de arbustos. En la zona de la isla colindando con la laguna, las plantas halófitas se desarrollan más que en la zona protegida, cerca de la Isla de Barrera.

Sedimentológicamente la zona de supramarea está constituida por litarenita a litarenita feldespática de tamaño grueso, inmadura con partículas angulosas y subangulosas, mal clasificadas y asimétricas hacia los tamaños gruesos. Los sedimentos terrígenos están mezclados con conchas de gasterópodos y pelecípodos, provenientes de la laguna y depositados en la zona de supramarea en épocas de tormentas (M-3 y 4) (figuras 4 y 5).

Las estructuras sedimentarias comunes en la zona de supramarea son: grietas de desecación, carpetas algáceas y horizontes carbonosos. El extremo norte de la Isla de la Vaca colindante con la laguna (figuras 2 y 3), presenta las mismas características que el extremo sur de la isla (M-8 y 8a).

Existen variaciones sedimentológicas dentro de este ambiente, debido a que los depósitos sedimentarios manifiestan los ciclos de tormentas con la mezcla de terrígenos y fragmentos de moluscos, texturalmente gruesos y mal clasificados, y los periodos de exposición subaérea en la que el viento juega un papel muy importante, redistribuye a las partículas y las acumula en pequeños montículos, que son dunas en formación o megarrizaduras. Estos horizontes arenosos están interlaminados con capas de 5 a 8 cm de suelos de color oscuro, debido a la presencia de materia algácea que se desarrolla inmediatamente después de cada evento ciclónico. Esto mismo se observó en la porción norte de la Isla del Venado (M-19) (figuras 2-3).

## D) Ambiente de Isla de Barrera

La Laguna Madre es el resultado del transporte de los sedimentos que provienen principalmente de la desembocadura del Río Bravo, y que son depositados a lo largo de la línea costera, comunicando a las aguas de origen fluvial de las del Golfo de México.

La forma geométrica elongada del depósito sedimentario, se debe a la redistribución de los sedimentos arenosos por las corrientes y contracorrientes litorales que afectan a la costa. Como resultado del transporte y depósito de los sedimentos que han sido acarreados hacia el sur, se formó la Isla de Barrera que tiene una longitud de unos 220 kms desde el delta del Río Bravo, hasta unos 30 km al sur de la desembocadura del Río Soto la Marina. La anchura de la isla de barrera también varía de

norte a sur, desde 1.5 kilómetros a partir del extremo norte de la planicie deltaica del Río Bravo, hasta unos 30 a 50 metros en su extremo sur.

La Isla de Barrera, por sí sola comprende toda una provincia sedimentaria, y está gobernada por las aguas del Golfo de México; por el viento, formándose dunas litorales y por las aguas de la Laguna Madre, fuera de la influencia directa del Golfo de México. En términos generales y simplificando al ambiente de depósito, se consideran cuatro subambientes sedimentarios mayores que constituyen a la Isla de Barrera: (a) Antebarrera (intermareas o playa), (b) Barrera (dunas litorales), (c) Postbarrera en supramarea y (d) Postbarrera en intermareas.

### a) Antebarrera (intermareas o playa)

El subambiente de antebarrera corresponde a la línea costera que es afectada directamente por las corrientes, así como por el oleaje permanente generado en el Golfo de México y esporádicamente durante la época de ciclones (lámina XI, foto 1).

La playa está constituida por sublitarenita y litarenita feldespática de grano fino, bien clasificada, subredondeadas a redondeadas, con asimetría negativa, o sea, con tendencia hacia los tamaños gruesos (M-54, 56 y 58) (figuras 4-5).

Las estructuras sedimentarias observadas en este subambiente son: estratificación cruzada de ángulo bajo buzando hacia el mar, marcas de rizaduras de fondo, marcas de socavación y de arrastre (figura 3) (lámina XII, fotos 1-2). Estas estructuras sedimentarias se forman por la acción del oleaje y por la acción del viento, que gobiernan en gran parte, a la distribución de los sedimentos.

### b) Barrera (dunas)

Las dunas litorales depositadas hacia el interior de la Isla de Barrera, son el resultado de la acumulación de los sedimentos que provienen de la playa (lámina XIII, fotos 1 y 2). En esta, las partículas son continuamente retrabajadas por la acción del oleaje dentro de la zona de intermareas. En el periodo de bajamar los sedimentos quedan expuestos a la acción del viento, y son acarreados hacia el interior de la barrera, formando dunas que alcanzan hasta 7 metros de alto (figura 3) (lámina XI, foto 2; lámina XIV, foto 1).

Las dunas están constituidas por litarenita feldespática y subfelsarenita de grano fino muy bien clasificadas, con los granos subredondeados a redondeados y con asimetría negativa, ya que tienden hacia los tamaños gruesos (figuras 4 y 5). Las estructuras sedimentarias primarias comúnmente observables en este subambiente son: estratificación cruzada de ángulo fuerte, rizaduras longitudinales y entrecruzadas y concentración diferencial de minerales pesados que se depositan en la base del barlovento (lámina XIII, foto 1).

Durante las tormentas, un gran volumen del sedimento acumulado en las dunas es transportado hacia el interior de la laguna; sin embargo, la migración general de las dunas sobre la Isla de Barrera, es de norte a sur.

### c) Postbarrera (supramarea)

El subambiente de supramarea se forma en los bancos sedimentarios que progradan hacia la laguna, en la zona de postbarrera. Los sedimentos que forman estos bancos provienen de las dunas y de la playa de la isla de barrera, y son transportados durante épocas de tormentas hacia la zona más protegida, que es la de postbarrera (figuras 2 y 3) (lámina XIV, fotos 1-2).

Los montículos arenosos llegan a sobresalir sobre el nivel medio de la laguna y cuya amplitud oscila entre 600 y 1,000 metros están cubiertos con plantas halófitas de pequeña altura. El agua de la laguna y del mar llegan a inundar a la supramarea, formándose marismas, las cuales se comunican con las planicies de mareas por medio de canales, o bien, con el nivel freático, que está a unos cuantos centímetros de la superficie del terreno (lámina XV, fotos 1-3).

Los sedimentos que contiene la zona de supramarea reflejan dos ciclos básicos de depósito, el primero controlado por las tormentas que llegan a inundarla y el segundo, que indica las épocas de inestabilidad climatológica. En el primero se depositan los sedimentos terrígenos mezclados con



fragmentos de moluscos, estos sedimentos están formados por litarenita feldespática de grano grueso, mal clasificada, y con partículas individuales subangulares a angulares. El depósito que ocurre durante las épocas de calma, está constituido por litarenitas feldespáticas de grano medio a muy fino, muy mal clasificadas debido a que están mezcladas con la arcilla que queda atrapada entre los matorrales, y que se forma por la descomposición de las algas y de arbustos (M-56) (figuras 4 y 5).

En la zona de supramarea es común encontrar estratificación gradual, lentes carbonosas, bioturbación por cangrejos y anélidos, impresiones de las patas de aves, de coyotes y de mapaches, así como huellas de arrastre de iguanas y serpientes asociados estos a fracturas de desecación (lámina XVI, fotos 1-2).

#### d) Post barrera (intermareas)

Este subambiente es sumamente extenso, ya que comprende la zona entre la Isla de Barrera y la laguna. Esta zona transicional está afectada por las mareas diurnas y nocturnas, así como por las corrientes interiores de la laguna y por el oleaje generado por el viento. Todos estos factores gobiernan texturalmente a los sedimentos que se depositan en las planicies de los bancos arenosos de la Isla de Barrera hacia el interior de la laguna.

Ejemplos de este subambiente existen a lo largo de la Isla de Barrera; particularmente se estudió a las islas de La Vaca y de La Liebre (figura 2), en donde se observan los canales formados durante el flujo de las corrientes de marea, así como en la planicie. En este subambiente predominan los sedimentos constituidos por sublitarenita y litarenita feldespática de grano fino, moderadamente bien a mal clasificadas, asimétricas hacia los tamaños gruesos, y localmente hacia los tamaños finos (M-54, 56 y 58) (figuras 4 y 5).

Existen variaciones texturales en los sedimentos debido a que la forma geométrica de los bancos arenosos es irregular, y por lo tanto, la distribución de tamaños en la planicie de mareas es heterogénea (M-54, 56, 57 y 58) (figuras 4 y 5). Las estructuras sedimentarias primarias comúnmente observadas son los canales de mareas con estratificación gradual y cruzada, fracturas por desecación, fuerte bioturbación por crustáceos y por anélidos, bancos de lentes de conchas de moluscos formados durante periodos de tormentas, lentes carbonosas asociados a carpetas algáceas y arbustos de plantas halófitas (lámina XVII, fotos 1-3).

En los ambientes de intermareas y en el de supramarea, no se observaron desarrollos importantes de evaporitas, excepto algunas costras de unos

cuantos milímetros de sal y otras de yeso, debido a que la provincia está gobernada por sedimentos terrígenos y no por carbonatos, y por la alta movilidad de los sedimentos, que es constante. Por otro lado, durante todo el año, existen fuertes variaciones en la salinidad de la laguna, ya que varía desde salobre hasta más salada que la del agua de mar. Estas variaciones inducen a que el poco volumen de evaporitas que se precipitan durante el verano y el otoño se disuelvan en invierno y primavera.

## CONCLUSIONES

1. La provincia sedimentaria conocida como Laguna Madre en el NE de México, se formó durante el desarrollo fluvial deltáico del Río Bravo y de otros ríos, tales como, el San Fernando o Conchos y el Soto la Marina.
2. Los sedimentos terrígenos que drenan en el mar son transportados y redistribuidos por las corrientes y contracorrientes litorales del Golfo de México, formando un sistema de barras paralelas a la línea costera y que en conjunto, forman las islas de barrera. Estos depósitos litorales son arenosos, y por sí solos, forman todo un complejo sedimentario constituido por ambientes y subambientes.
3. Durante el desarrollo de la isla de barrera se comunicó el drenaje fluvial deltáico de los ríos San Fernando o Conchos, con las aguas del Golfo de México, formándose la Laguna Madre, la cual constituye toda una provincia sedimentaria, gobernada por corrientes interiores que circulan de norte a sur, paralelas a la isla de barrera; por corrientes de flujo y refluo generadas por las mareas diarias, por el oleaje debido al viento, y por los ríos que drenan en el interior de la laguna formando deltas, barras y estuarios.
4. La provincia sedimentaria se puede dividir en cuatro ambientes sedimentarios mayores y varios subambientes, que son cambiantes de acuerdo a la época del año. (1) Planicie fluvial, (2) Lagunar, (3) Barras internas y, (4) Isla de barrera.
5. Por sus características sedimentológicas la provincia de Laguna Madre es un modelo en el Reciente, análogo a varios antiguos, en la que se depositan horizontes carbonosos en las planicies fluviales, y se generará gas en la laguna, en condiciones de circulación restringida, y las barras arenosas servirán como trampas de hidrocarburos debido a su alta porosidad y permeabilidad.
6. Estudios de estos ambientes sedimentarios del Reciente son de gran utilidad, puesto que se obtienen criterios del transporte y de depósito



## BIBLIOGRAFIA

- AGUAYO, C.E., BELLO, M.R., DEL VECCHIO, A.M., ARAUJO, M.J. y BASANEZ L.M.A. 1978. Estudio Sedimentológico en el Area Tulum- Cancún-Isla Mujeres, Estado de Quintana Roo, México. IMP, Subdirección de Tecnología de Exploración, pp. 1-33, figs. 1-9, láms. I-VI.
- ALANIZ, T.R., y GOODWIN, H.R. 1974. Recent Sediments of a Hypersaline Estuarine Bay. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies*, vol. 24, pp. 308-313.
- ALVARES, Jr. M. 1961. Provincias Fisiográficas de la República Mexicana. Boletín de la *Sociedad Geológica Mexicana*, vol. XXIV, No. 2, pp. 3-20.
- ARAUJO, M.J. 1979. Estudio de Ambientes Sedimentarios Recientes en Bahía de Ballenas, Laguna San Ignacio, Edo. de Baja California Sur, Subdirección de Tecnología de Exploración, IMP, pp. 1-55, figs. 1-10, láms. I-XIV.
- ARMSTRONG, P.W. 1958. Sedimentology and Quaternary Geomorphology of south Texas. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies*, vol. 8, pp. 41-75.
- ARMSTRONG, P.W. y KORNICKER, S.L. 1961. Marine and Lagoonal Deposits in Clay Dunes Gulf Coast Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 31, No. 2, pp. 245-255, figs. 1-6.
- AYALA, C.A. y SEGURA, R.L. 1968. Ecología y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México. *Instituto de Geología, UNAM, Bol.* 87, pp. 1-89, figs. 29, láms. 8.
- BERNARD, A., MAJOR, Jr. F.C., PARROTT, S.B., y Le BLANC, Jr. J.R. 1970. Recent Sediments of Southeast Texas. Bureau of Economic Geology, Guidebook II.
- BROWN, Jr. F.L. y FISHER, LW. 1974. Environmental Geologic Atlas, Texas Coastal Zone: The Role of Geology in Land use Planning. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies*, vol. 24 pp. 4-24.
- CARRANZA, E.A.; GUTIERREZ, E.M. y RODRIGUEZ, T.R. 1975. Unidades Morfo-Tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. *An. Centro de Ciencias del Mar y Limnol. UNAM*, Vol. 2, No. 1, pp. 81-88.
- Tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. *An. Centro de Ciencias del Mar y Limnol. UNAM*, Vol. 2, No. 1, pp. 81-88.
- CARVER, E.R., 1971. Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley-Interscience, pp. 1-653.
- CHIPPING, H.E. 1979. A Birdfoot Delta-Chorro Delta. *California Geology*, Vol. 32, No. 3, pp. 51-57.
- CONASTER, E.W. 1971. Grand Isle: A Barrier Island in the Gulf of Mexico. *Geological Society American Bulletin*, Vol. 82, pp. 3049-3068, figs. 19.
- COTTON, A.C. 1954. Deductive Morphology and Genetic Classification of Coast. *The Scientific Monthly*, Vol. 78, No. 3, pp. 163-181.
- DAVIS, Jr. A.R. 1979. Beach Sedimentology of Mustang and Padre Islands: A Time-Series Approach. *Journal of Geology*, Vol. 86, pp. 35-46.
- DAVIES, K.D., ETHRIDGE, G.F. y BERG, R.R. 1971. Recognition of Barrier Environments. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. 55, No. 4, pp. 550-565, figs. 15, tables 3.
- DE VRIES, K.G. 1974. Estimating Water Dephas from Analysis of Barrier Island and Deltaic Sedimentary Sequences. *Geology*, Vol. 2, pp. 409-412.
- DICKINSON, A.K. 1971. Grain-size Distribution and the Depositional History of Northern Padre Island, Texas. *U.S. Geological Survey Prof. Paper* 750-C, pp. C1-C6.
- DICKINSON, A.K., BERRYHILL, Jr. L.H. y HOLMES, W.C. 1972. Criteria for Recognizing Ancient Barrier Coastlines. Society of Economic Paleontologists and Mineralogist. Special Publication 16, pp. 192-214.
- EDWIN, P.P. 1967 Sand Bodies and Sedimentary Environments: A Review. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 51, No. 2, pp. 37-365, figs. 12 tables 6.
- ESTAVILLO, G.C., y AGUAYO, C.E., 1981. Ambientes Sedimentarios Recientes en Laguna Madre, NE de México IMP, Subdirección de Tecnología de Exploración, pp. 1-35, figs. 6, láms. 17.
- FISK, N.H. 1959. Padre Island and the Laguna Madre Flats Coastal South-Texas. 2nd Coastal Geographical Conference. Louisiana State University, Baton Rouge, La., pp. 103-151.
- FOLK, L.R. 1966. A Review of Grain-size Parameters, *Sedimentology*, Vol. 6, pp. 79-83.
- FOLK, L.R. 1969. Petrología de las Rocas Sedimentarias. Instituto de Geología, UNAM, pp. 1-405.
- FOLK, L.R. y WARD, C.W., 1957. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Zize Parameters. *Journal Sedimentary Petrology*, Vol. 27, No. 1, pp. 3-26, Figs. 19.
- FRIEDMAN, M.G. y Sanders, E.J. 1979. Principles of Sedimentology. John Willey and Sons., pp. 1-792.
- GARCIA Jr. C.A. 1968. Ecología y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México. *Instituto de Geología, UNAM, Bol.* 86, pp. 1-44, figs. 15, láms. 8.
- HAYES, O.M. y KANA, T.W. 1976. Terrigenous Clastic Depositional Environments. A field Course by the American Association of Petroleum Geologists. Technical Report No. 1-CRD.
- HILDEBRAND, H.H. 1958. Estudios Biológicos Preliminares sobre la Laguna Madre de Tamaulipas. *Ciencia*, Vol. 17, No. 7-9, pp. 151-173.
- HOYT, H.J. 1967. Barrier Island Formation. *Geological Society of American Bulletin*, Vol. 78, pp. 1125-1136, figs. 8.
- HUNTER, E.R.; WATSON, L.R.; HILL, W.G. y DICKINSON, A.K. 1972. Modern Depositional Environments and Processes, Northern and Central Padre Island, Texas. *IN: Padre Island National Seashore, Field Guide*. Gulf Coast. Association of Geological Societies, pp. 1-27.
- INMAN, D.L. NORDSTROM, C.E. 1971. On the Tectonic and Morphologic Classification of Coast. *Journal of Geology*, Vol. 79, pp. 1-21, figs. 1-5, tables 1-8.
- KING, C.A.M., 1972. Beaches and Coast. Edward Arnold London, pp. 1-570 2nd. edition.
- LANKFORD, R.R. 1977. Coastal Lagoons of Mexico. *Estuarine Processes*, Vol. II, pp. 189-215.
- LE BLANC, J.R. y HODGSON, D.W. 1959. Origin and Development of the Texas Shoreline. 2nd. Coastal Geographical Conference Louisiana State University. Baton Rouge, La., pp. 57-101.
- MASON, C.C. y FOLK, L.R. 1958. Differentiation of Beach, Dune, and Aeolian Flat Environments by Size Analysis. Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 28, No. 2, pp. 211-226, figs. 1-11.
- Mc BRIDE, F.E. y HAYES, O.M. 1963. Dune Cross-Bedding on Mustang Island, Texas. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 46, pp. 546-551.
- Mc INTIRE, G.W. y HO. C. 1969. Development of Barrier Island Lagoons: Western Gulf of Mexico. *Lagunas Costeras*, Un Simposio. Mem. Simp. Inter. Lagunas Costeras, UNAM-UNESCO, pp. 49-62, figs. 6.
- Mc KEE, D.E. 1957. Primary Structures in some Recent Sediments. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 41, No. 8, pp. 1704-1747, figs. 28, pls. 8.
- MILLER, A.J. 1975. Facies Characteristics of Laguna Madre Wind-Tidal Flats. *In: Tidal Deposits* by Ginsburg, N.R. Springer Verlag, cap. 8, pp. 67-73.
- MILLING, E.M. y BEHRENS, W.E. 1966. Sedimentary Structures of Beach and Dune Deposits: Mustang Island, Texas, *Institute of Marine Science*, Vol. 11, pp. 135-148.
- MOIOLA, J.R. y SPENCER, B.A. 1973. Sedimentary Structures and Grain size Distribution Mustang Island, Texas. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies*, Vol. 23, pp.

- 324-332.
- MORALES, Q.J., 1966. Notas sobre la Sedimentación y Estratigrafía de una porción del NE de México (Área adyacente a la Laguna Madre). *Asoc. Mex. Geol. Petrol.*, Vol. 18, No. 9-10, pp. 187-213.
- ORDÓÑEZ, E. 1936. Principal Physiographic Provinces of Mexico. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 20, No. 10, pp. 1277-1307.
- OTVOS, Jr. G.E. 1970. Development and Migration of Barrier Island, Northern Gulf of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 81, pp. 241-246, figs. 3.
- PHLEGER, B.P. 1969. Some General Features of Coastal Lagoons. *Lagunas Costeras*, un Simposio. Mem. Simp. Inter. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO, pp. 5-26, figs. 14.
- PIERCE, W.J. 1970. Tidal Inlets and Washover Fans. *Journal of Geology* Vol. 78, pp. 230-234.
- Reinson, E.G. 1979. Facies Models Barrier Island Systems. *Canada Geological Survey*, Vol. 6, No. 6, No. 2, pp. 51-68.
- REINECK, E.H. y SINGH, B.I. 1973. Depositional Sedimentary Environments. Springer Verlag, pp. 1-439.
- RUSNAK, A.G. 1960. Sediments of Laguna Madre, Texas. In: Recent Sediments NW Gulf of Mexico. *American Association of Petroleum Geologists*, pp. 153-195.
- SHEPARD, P.F. 1952. Revised Nomenclature for Depositional Coastal Features. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*. Vol. 36, No. 10, pp. 1902-1912, figs. 7.
- 1953. Sedimentation Rates in Texas. *Estuaries and Lagoons. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Vol. 37, No. 8, pp. 1919-1934.
- 1973. *Submarine geology*, 3rd. ed. New York, Harper and Row, pp. 1-517.
- SHEPARD, P.F. y MOORE, G.D., 1955. Sediment Zones Bordering the Barrier Islands of Central Texas Coast. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication 3, pp. 78-98.
- PHLEGER, B.P. y TJFERD, H. VAN ANDEL 1960. Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico. *The American Association of Petroleum Geologists*, Special Publication, pp. 34-55.
- THOMPSON, O.W. 1937. Original Structures of Beaches, Bars and Dunes. *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 48, pp. 723-752, pls. 8, figs. 6.
- WIDIE, E.A. 1969. Bar and Barrier Island Sands. *Transactions Gulf Coast Association of Geological Societies*, Vol. 18, pp. 405-415.
- YANEZ, C.A. y SCHLAEPFER, J.C. 1968. Composición y Distribución de los sedimentos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas. In: *Sedimentología de la Laguna Madre, México. Instituto de Geología, UNAM*, Bol. 84, pte. 1, pp. 5-44, láms. 6, figs. 11, tablas 2.