

8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS
SEDIMENTARIAS Y SEDIMENTOLOGÍA
DE LOS MATERIALES DE PLAYA EN LA
ZONA COSTERA DEL PUERTO DE
VERACRUZ.

295153

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO
P R E S E N T A:
MAURICIO ISRAEL GALINDO CHARLES

DIRECTOR: Dr. Mario A. Gutiérrez Estrada.



MÉXICO, D.F.

2001



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-429

SR. MAURICIO ISRAEL GALINDO CHARLES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Mario Gutiérrez Estrada y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**DESCRIPCION DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y SEDIMENTOLOGIA DE LOS
MATERIALES DE PLAYA EN LA ZONA COSTERA DEL PUERTO DE VERACRUZ**

- I INTRODUCCION
- II METODO DE TRABAJO
- III GENERALIDADES
- IV INFORMACION DE CAMPO
- V ANALISIS DE LABORATORIO
- VI CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 20 de marzo de 2001

EL DIRECTOR

ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg

AGRADECIMIENTOS.

A: Dr. Mario Gutiérrez Estrada.
 Dr. Joaquín Aguayo Camargo.
Dr. Baldomero Carrasco Velázquez.
 Ing. Javier Arellano Gil.
 Ing. Luis Arturo Tapia Crespo.

 ... por sus consejos y apoyo.

A: Horacio Membrillo Ortega.
 Rosalba Salvador Flores.
 Bernardo Matías Santiago.
 Adriana Velázquez Hernández.

... por su ayuda durante el trabajo de campo y de laboratorio.

DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS Y SEDIMENTOLOGÍA DE LOS
MATERIALES DE PLAYA EN LA ZONA COSTERA DEL PUERTO DE VERACRUZ.

ÍNDICE.	Página
I. Introducción.	3
I.1 Objetivo.	3
II. Método de trabajo.	4
III. Generalidades.	7
III.1 Marco geológico regional.	7
III.1.1 Provincia fisiográfica.	9
III.1.2 Evolución geológica.	10
III.2 Marco teórico.	11
III.2.1 Estructuras sedimentarias primarias.	11
III.2.2 Ambientes sedimentarios.	30
Resultados:	
IV. Resultados de Campo.	50
IV.1 Descripción de ambientes sedimentarios.	50
IV.2 Descripción de zanjas.	57
IV.3 Descripción de estructuras sedimentarias primarias.	63

V. Análisis de Laboratorio.	78
V.1 Análisis granulométrico.	79
V.2 Análisis microscópico.	85
VI. Conclusiones.	88
VI.1 Ambientes Sedimentarios.	88
VI.2 Estructuras sedimentarias primarias.	89
VI.3 Granulometría y Mineralogía.	95
Literatura citada.	97

I. INTRODUCCION.

El intemperismo es el proceso de transformación y destrucción de los minerales que forman a las rocas, generando así gravas, arenas, limos y arcillas, que son acarreados hacia la zona costera y los márgenes continentales, originándose con esto los ambientes sedimentarios costeros, dentro de los cuales se encuentran entre otros, a las playas, las dunas, las lagunas costeras y las barreras litorales donde, de acuerdo con Selley (1976), la arena es el principal tipo de sedimento ahí presente.

Estos ambientes ubicados dentro de la zona litoral reciben influencia de factores tanto continentales como marinos, por lo que se les conoce como ambientes de transición.

Factores tales como los cambios en el nivel del mar (transgresiones y regresiones), el marco tectónico, las mareas, el oleaje, las corrientes marinas, el tipo y grado de aporte sedimentario, la topografía, la vegetación y el clima (precipitación, temperatura, evaporación), determinan rasgos texturales, mineralógicos y estructurales en los sedimentos de los ambientes de transición; a su vez, generan también a las estructuras sedimentarias primarias, las cuales son el resultado de la interacción *-in situ-* de los factores antes mencionados con los sedimentos, por lo que su estudio indica las zonas dentro de los ambientes sedimentarios en la cual determinado factor actúa.

I.1 OBJETIVOS.

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos: 1) describir las estructuras sedimentarias primarias de la playa "El Jote", las de los cortes de dunas en la laguna de Mandinga y las de playa en la Isla de Enmedio; 2) realizar asociaciones de estructuras sedimentarias primarias con las partes constituyentes de cada uno de los lugares antes mencionados y; 3) determinar la granulometría y composición de los sedimentos ahí presentes.

II. MÉTODO DE TRABAJO.

El desarrollo del estudio se dividió en tres fases: trabajo de gabinete, trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

La primera parte, es decir, el trabajo de gabinete consistió en la búsqueda y análisis de los diferentes artículos antecedentes que sobre la zona de estudio se han realizado. Se consultaron diversos textos con diferentes enfoques: geológico, geomorfológico, geológico-económico, geoquímico, ecológico. De esta investigación resulta el marco geológico de la playa El Jiote, de la laguna de Mandinga, del campo de dunas en Antón Lizardo y de las islas arrecifales frente al Puerto de Veracruz y Antón Lizardo. Una segunda búsqueda bibliográfica se enfocó en la base teórica de modelos de ambientes sedimentarios costeros: playa, dunas, laguna costera, pantano, isla de barrera y barrera litoral, y de los distintos estudios de clasificación de estructuras sedimentarias primarias, así como en la descripción de su génesis. De esta búsqueda se obtuvieron las bases para identificar tanto a los ambientes, subambientes y procesos que se ubican en la zona de estudio, como también tipos y origen de estructuras sedimentarias primarias. La última etapa en el trabajo de gabinete fue el análisis e interpretación de fotografías aéreas de la zona a escala 1:50 000.

Durante el trabajo de campo se reconocieron los siguientes ambientes: playa, barrera litoral, campo de dunas, laguna litoral y pantano de manglar.

En la primera localidad se llevó al cabo el estudio en la playa El Jiote, al sur del Puerto de Veracruz (Municipio de Antón Lizardo), en la cual se delinearon tres perfiles de playa sobre los que se reconocieron las partes constituyentes de este ambiente: postplaya, planicie de intermarea y berma, frente de playa y anteplaya, así como el campo de dunas adyacente. Sobre los perfiles se excavaron un total de tres zanjas con dimensiones aproximadas de 3 m de largo, paredes de 1 m de ancho y 1.5 m de profundidad con el objetivo de conocer las estructuras sedimentarias primarias una vez que las paredes de la excavación se intemperizaron debido a la acción del viento, destacando así a sus estructuras. En estas zanjas se describieron estructuras y se recolectaron muestras de sedimento para su posterior análisis. Sobre los perfiles se hincaron 5 tubos de PVC de 2.56 cm de diámetro y 40 cm de largo para recolección de núcleos y posterior

análisis (por rayos X) de las estructuras sedimentarias primarias internas (laminación , bioturbación, cargas). Por último sobre esta playa se reconocieron, describieron y fotografiaron las distintas estructuras sedimentarias primarias así como la morfología del lugar.

Una segunda localidad en campo para reconocimiento de ambientes fue la laguna de Mandinga en la cual se observaron los ambientes de dunas y pantano. La característica de las dunas en este sitio fue el hecho de que han sido explotadas por el hombre modificando así su morfología y procesos. Se registró un corte artificial sobre una duna en el que se observó la estructura interna. En el pantano de la laguna de Mandinga se recolectaron muestras de sedimento, se reconocieron estructuras sedimentarias primarias y se hincó un tubo de PVC para los objetivos antes mencionados. Así mismo se realizó una cuarta zanja con el fin de registrar estructuras y recolectar muestras, sin embargo la profundidad de ésta fué de solo 30 cm ya que las raíces de los árboles de magle imposibilitaron mayores profundidades con las herramientas disponibles.

La última localidad fue la isla de Enmedio que, junto con otras, forma el complejo de islas perteneciente al sistema arrecifal de Antón Lizardo. En dicho lugar se estudiaron los ambientes de playa y de dunas con sus respectivas partes. Al igual que en los anteriores sitios, se recolectaron muestras de sedimento, se hincaron dos tubos de PVC y se describieron, fotografiaron y analizaron tanto las estructuras sedimentarias primarias como la morfología de las dunas, la playa y la isla en su conjunto. Un cuarto perfil de playa fue registrado con la correspondiente toma de muestras y una quinta zanja fue excavada.

La tercera parte del estudio correspondió al trabajo de laboratorio. El análisis textural de muestras se realizó con el tubo Emery de sedimentación, ya que más del 90% de las muestras se ubica dentro del rango de arena. Se utilizó el procedimiento descrito por Malpica, et al., (1993), agregándose también la descripción textural de las muestras y obteniéndose así las respectivas gráficas e interpretaciones que a tal estudio corresponden. A su vez, se elaboraron 19 láminas delgadas con las muestras del sedimento recolectado durante el trabajo de campo con el fin de determinar la composición mineralógica de las muestras y poder establecer posibles rutas de procedencia; para lo anterior, cada muestra fue primeramente tamizada y el material comprendido entre los tamaños de 1ϕ y 2ϕ (arena media) es el que se utilizó para la elaboración de las láminas delgadas. En un principio se trataron de hacer pastillas con la arena media y resina

epóxica, a fin de adelgazar dichas pastillas hasta el espesor estándar de 30 micras, sin embargo este procedimiento falló debido a la formación de grumos dentro de las pastillas imposibilitando alcanzar el espesor requerido; por lo que se optó por preparar las láminas “espolvoreando” arena sobre un portaobjetos previamente calentado y recubierto de termoplástico (que fungió como adhesivo), una vez adherida la arena ésta fué puliéndose a mano en una solución de “pulimento” y agua sobre una plancha de vidrio hasta tener la capa de arena sobre el portaobjetos el espesor necesario para poder ser observada a través del microscopio mineralógico y registrar así su composición. De los núcleos recolectados se obtuvieron radiografías por medio de las cuales fueron descritas e interpretadas las estructuras sedimentarias primarias como también el arreglo interno de dichos núcleos.

Así, se obtuvieron los datos y la información necesaria para la correcta interpretación de las estructuras sedimentarias primarias del área estudiada.

III. GENERALIDADES.

III.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.

Este estudio se realizó en los siguientes sitios al sur del Puerto de Veracruz (Figs. 1 y 2): 1) la playa El Jiote (Municipio de Antón Lizardo), 2) la laguna Mandinga y, 3) la isla de Enmedio (Fig. 2, recuadro A). La zona se localiza dentro de la Cuenca de Veracruz, que está limitada al norte por el macizo ígneo de Teziutlán (también llamado de Palma Sola), al sur por el Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas, al occidente por la Sierra Madre Oriental y al oriente por el Golfo de México, la Cuenca de Tabasco y el macizo volcánico de los Tuxtlas (Fig. 3); es una de las 35 provincias geológicas de México, la cual, según Ortega, et al. (1992), su edad es cenozoica, con carácter sedimentario mixto (continental y marino) y dentro de un ambiente geotectónico correspondiente a geoclinal.

Su composición se define como un grueso paquete de sedimentos arcillo-arenosos conglomeráticos, resultado del levantamiento de la Sierra Madre Oriental y deformado por emplazamientos volcánicos recientes (Guzmán, 2000); en la porción central de la cuenca este paquete alcanza un espesor de 8 000 a 9 000 m, adelgazándose hacia sus extremos. La secuencia está constituida por sedimentos marinos depositados desde el Paleoceno al Mioceno, y sedimentos mixtos y continentales a partir del Plioceno al presente.

Morfológicamente es una planicie de 70 km de ancho en el centro (desde el mar hasta el pie de la Sierra Madre Oriental), ensanchándose hacia el sureste hasta tener 100 km de anchura (Bello, 1983). Tiene un área de 24 000 km² incluyendo su parte marina somera (Guzmán, 2000); la topografía es plana con algunas interrupciones en las cercanías de la Sierra Madre Oriental debido a elevaciones de hasta 200 m.

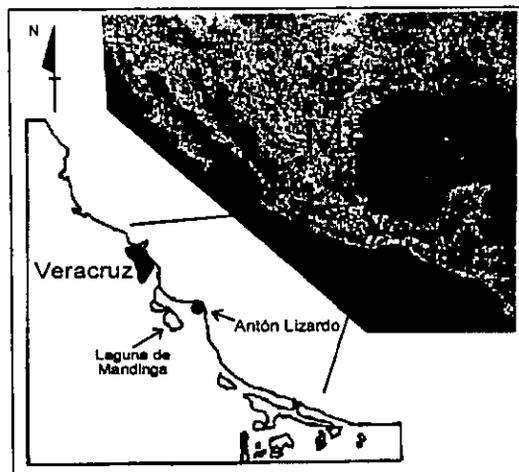


Fig. 1. Localización del área de estudio. Sin escala.

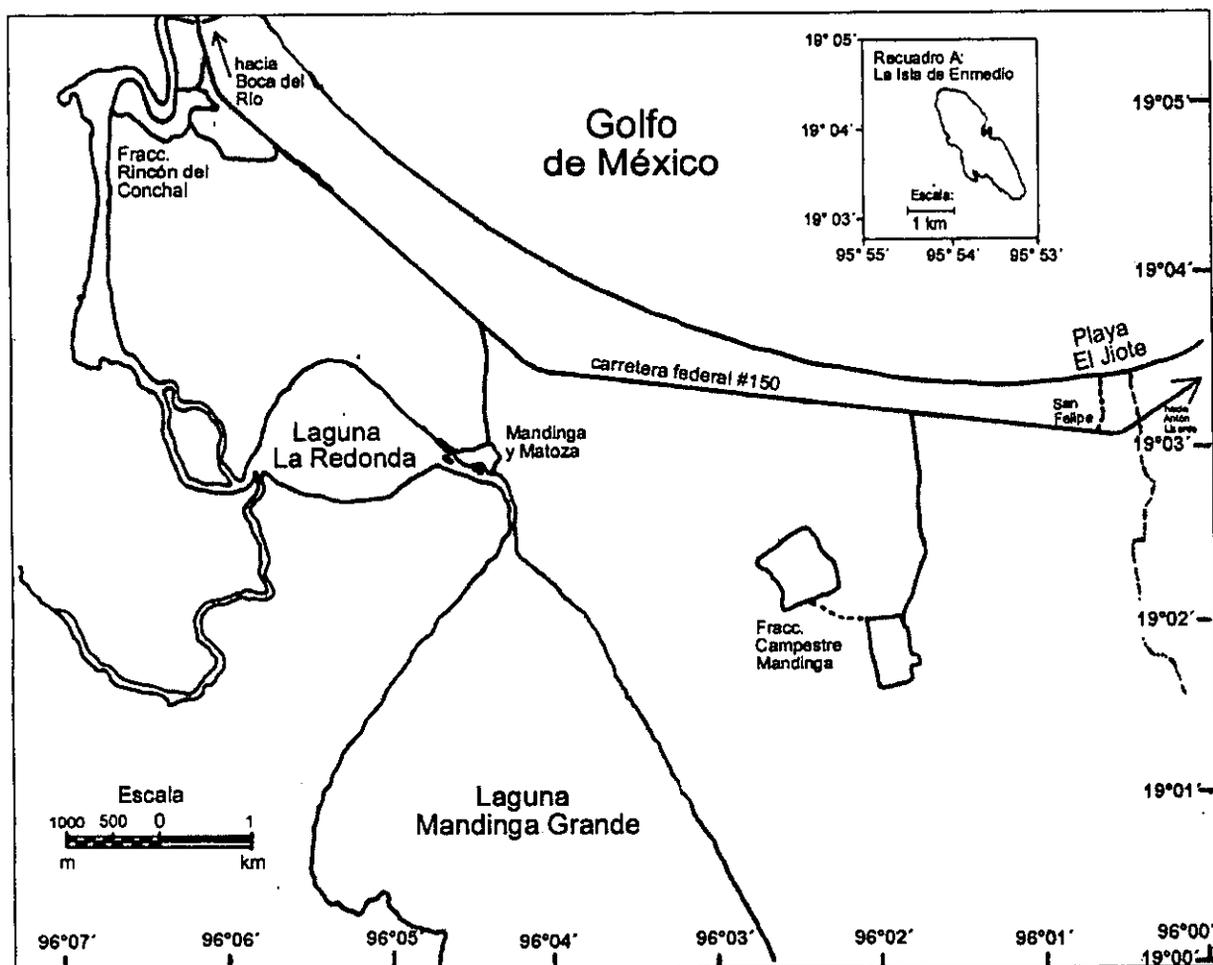


Fig. 2. Mapa de ubicación de la playa El Jote, la laguna de Mandinga y la Isla de Enmedio.

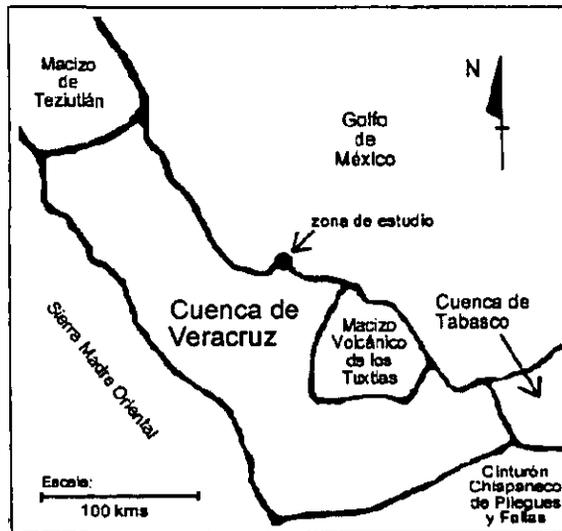


Fig. 3. Mapa de provincias geológicas en el suroeste del Golfo de México. Modificado de Ortega, et al, (1992).

III.1.1 PROVINCIA FISIAGRÁFICA.

El área de estudio se ubica dentro de la cuenca que forma la parte occidental de la provincia fisiográfica denominada Llanura Costera del Golfo Sur por Álvarez (1961) (Fig. 4).

Fisiográficamente esta cuenca occidental presenta dos caracteres definidos: el primero es la zona norte, del macizo de Teziutlán al Puerto de Veracruz, con levantamiento progresivo de la cuenca debido al empuje ocasionado por la intrusión del macizo de Teziutlán; el otro es la zona sur o cuenca del río Papaloapan, del Puerto de Veracruz al macizo volcánico de los Tuxtlas, que comprende a todo el sistema hidrológico de ese río y está formada de tierras bajas pantanosas en subsidencia (Bello, 1983).

Presenta clima caliente y húmedo con temperatura media de 23°C y 41°C a la sombra en verano y nunca menor de 18°C en invierno. Las lluvias son de mayo a octubre y precipitación media anual de 2000 mm (Jiménez, 1979).

Los principales ríos de la provincia son el Blanco y el Papaloapan con sus múltiples afluentes. Por las características topográficas, fluviales y climáticas los tipos de vegetación presente son: palustre y pampera (manchas arbustivas), (Jiménez, 1979).



Fig. 4. Provincias fisiográficas de México en el sur del Golfo de México.

Escala 1:5 000 000. Modificado de Álvarez (1961).

III.1.2 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA.

El origen y desarrollo de la Cuenca de Veracruz está íntimamente ligada a la evolución del Golfo de México durante el Mesozoico y el Terciario (Salvador, 1987); apartir del Mioceno recibe influencia tanto de la Faja Volcánica Transmexicana como del macizo volcánico de los Tuxtlas, al ser un importante receptor de los productos de erosión de estas provincias (Viniestra, 1950); en particular, los sedimentos generados de los Tuxtlas se han acumulado durante el Cuaternario en toda la cuenca del río Papaloapan, lo que ha dado lugar a la formación de ambientes sedimentarios costeros actuales tales como el campo de dunas en Antón Lizardo, la laguna Mandinga y la playa El Jiote.

Al componerse estos ambientes de sedimentos no consolidados su morfología es muy variable y su historia geológica es reciente al grado de que aún continúan desarrollándose.

III.2 MARCO TEÓRICO.

El marco teórico siguiente sirvió de base en el reconocimiento y descripción de las estructuras sedimentarias primarias observadas en el área de estudio y de las partes constituyentes de los ambientes sedimentarios allí presentes.

III.2.1 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS.

Las estructuras sedimentarias se definen como la disposición geométrica de los elementos que constituyen un sedimento, (Selley, 1976).

Las estructuras sedimentarias se clasifican como:

I. Primarias. Son las formadas al momento del depósito o poco después y antes de la consolidación de los sedimentos en que se desarrollan. Se dividen en:

- A. Inorgánicas. Son resultado de la interacción de la gravedad con las características físicas y químicas del sedimento y con las condiciones hidrodinámicas.
- B. Orgánicas o de Bioturbación (Reineck, 1975). Marcas de actividad orgánica en el sedimento.

II. Secundarias. También conocidas como diagenéticas. Son producidas al cambiar las condiciones ambientales y cuando ya se ha consolidado el sedimento.

A continuación se detallan los principales tipos de estructuras sedimentarias primarias con el fin de mostrar al lector los criterios utilizados para definir y describir a estas estructuras durante el trabajo de campo.

A. ESTRUCTURAS PRIMARIAS INORGÁNICAS.

Las estructuras primarias inorgánicas se dividen en: estructuras internas y estructuras de superficie. No obstante los dos grupos anteriores en ocasiones son la misma estructura, (Davis, 1992).

A.1. ESTRUCTURAS INTERNAS.

Son las observables en una sección normal a los planos de estratificación. Se incluyen estratificación, rizaduras y estructuras de deformación.

A.1.1 ESTRATIFICACIÓN.

Un estrato es una capa de sedimento que se ha depositado bajo las mismas condiciones físicas. Su forma general es tabular pudiendo ser modificada por distintos agentes.

El estrato queda comprendido entre las superficies de estratificación, la superficie inferior se conoce como piso y la superior como techo. De acuerdo a la separación entre estas dos superficies (espesor), se clasifica a los estratos en: lámina <1 cm, estrato delgado 1-10 cm, estrato medio 10-30 cm y estrato grueso >30 cm (Reineck, 1975).

Un estrato termina lateralmente debido a:

- 1) Convergencia e intersección de las superficies de estratificación.
- 2) Gradación lateral de material.
- 3) Choque con inconformidades.

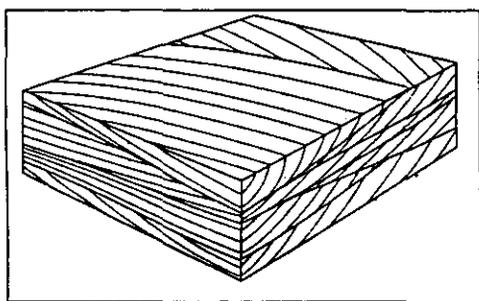
La composición y textura dentro de un estrato puede ser:

- 1) Uniforme u homogénea.
- 2) Rítmicamente variable.
- 3) Gradacional.

Así, se define a la estratificación como la sucesión de estratos. De entre los distintos tipos de estratificación la más representativa es la estratificación paralela o tabular, en la cual las

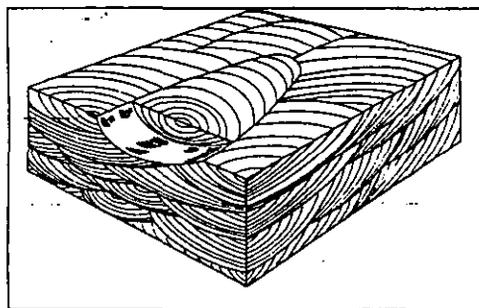
superficies de estratificación son paralelas entre sí. Esta es la forma básica de estratificación de la cual, según Coleman y Gagliano (1965), se derivan las siguientes:

a) Estratificación cruzada. Se presenta cuando una capa (o unidad sedimentaria) contiene laminación interna inclinada respecto a la superficie principal de sedimentación. Se definen dos tipos con base en la forma de las superficies de estratificación:



a.1) Estratificación cruzada plana (Fig. 5): con ambas superficies de estratificación planas, ya sean paralelas o no. En muchos casos es el resultado de la migración de rizaduras y megarizaduras.

Fig. 5. Estratificación cruzada plana. Tomado de Reineck (1975).



a.2) Estratificación cruzada lenticular (Fig. 6): se presenta cuando las superficies de sedimentación son curvas en forma de lentes y canales.

Fig. 6. Estratificación cruzada lenticular. Tomado de Reineck (1975).

b) Estratificación flaser y lenticular. La estratificación flaser son lentes de lodo en una matriz de arena (Fig. 7), en cambio la estratificación lenticular son lentes de arena en una matriz de lodo (Fig. 8). Ambas se deben a condiciones variables en forma cíclica tanto del régimen hidráulico como del nivel de aporte de estos dos materiales. Entre estos dos tipos de estratificación existen todos los modos intermedios, siendo el tipo medio la estratificación ondulada, la cual consta de bandas de lodo intercaladas con bandas de arena (Boggs, 1987).

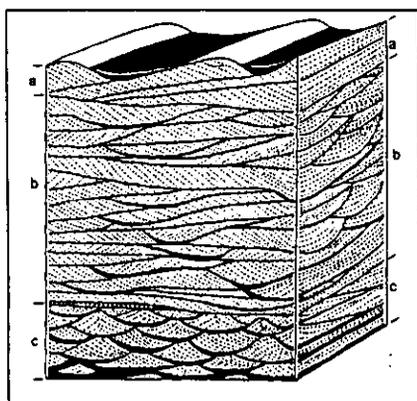


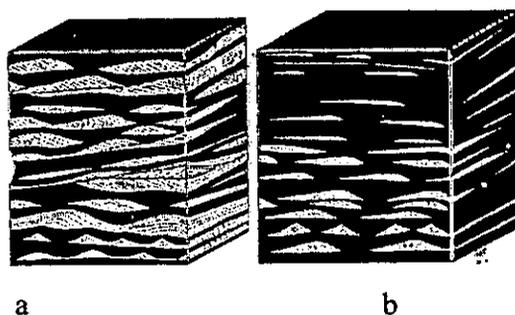
Fig. 7. Diferentes tipos de estratificación flaser:

a) asociada con pequeñas rizaduras de crestas rectas.

b) formada a partir de pequeñas rizaduras con crestas curvas.

c) asociada con rizaduras de oleaje.

Tomado de Reineck (1975).



a

b

Fig. 8. Dos tipos de estratificación lenticular: a)

con lentes conectados y b) con lentes aislados.

Tomado de Reineck (1975).

c) Estratificación gradada. Corresponde a una variación ordenada en el tamaño de grano dentro de un mismo estrato. Se designa como "normal" (Fig. 9) cuando hacia el piso del estrato hay mayor proporción de material grueso, el cual disminuye paulatinamente hacia el techo, que es dominado por material fino; y es designada "inversa" en el caso contrario: abundancia de finos en el piso y abundancia de gruesos en el techo. No obstante se presentan tipos variados de gradación (Davis, 1992), como acumulación de gruesos hacia el centro, hacia los lados, entre otros.

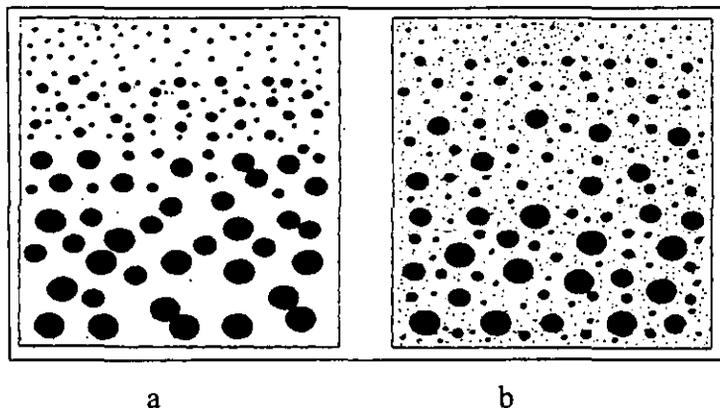


Fig. 9. Dos tipos de estratificación gradada normal: a) sin finos en la parte inferior y tamaño de sedimentos decreciendo gradualmente y, 2) con finos presentes en toda la matriz y decreciendo los tamaños gruesos gradualmente. Tomado de Reineck (1975).

d) Estratificación intercalada. Se define como alternancia de capas, registrándose dos tipos: 1) gruesa: en intercalación de capas de material grueso con capas de material fino y, 2) fina: intercalación de capas de material fino de diferente composición, textura o color. Este tipo de estructura es muy común en las llanuras de intermarea (Waker y James, 1992).

1.2 RIZADURAS.

Son ondulaciones en superficies no cohesivas o poco cohesivas, resultado de la interacción entre el oleaje y corrientes con el sedimento; este es el tipo de estructuras más común. En sección pueden ser simétricos ó asimétricos, con crestas redondeadas, angulosas ó aplanadas. La mayoría de sus clasificaciones se basan en su modo de origen, forma y tamaño (Reineck, 1975).

Terminología de las rizaduras (Fig. 10 y 11) (Reineck, 1975):

- Cresta: zona más alta de la rizadura.
- Valle: zona más baja de la rizadura.

- Longitud: distancia horizontal entre valles sucesivos.
- Amplitud: distancia vertical entre el valle y el punto de cima.
- Punto de cima (summit point): es el punto de máxima elevación de la rizadura.
- Puntera (toe point): es el punto, en perfil vertical (sección), que separa el frente deslizante (slipface) del frente bajo (bottomset).
- Punto de borde (brink point): es el punto en sección que separa el lado de barlovento del de sotavento.
- Punto de valle (trough point): separa el lado de sotavento de una rizadura del de barlovento de la rizadura adyacente.
- Lado de sotavento (lee side): es la parte más abrupta de la rizadura que se extiende desde el punto de borde hasta el punto mínimo.
- Lado de barlovento (stoss side): es el lado con pendiente más suave de la rizadura que se extiende a contracorriente desde el punto mínimo hasta el punto de borde.
- Frente deslizante (slip face): es la porción más abrupta dentro del lado de sotavento, entre el punto de borde y la puntera.
- Frente bajo (bottom set): es la porción de pendiente más suave dentro del lado de barlovento. Entre la puntera y el punto mínimo.
- Índice de rizadura: es la relación de la longitud de la rizadura entre su amplitud. $IR = L / H$.
- Índice de simetría: es el radio del largo del lado de sotavento entre el de barlovento (ambos en proyección horizontal). $IS = L_1 / L_2$.

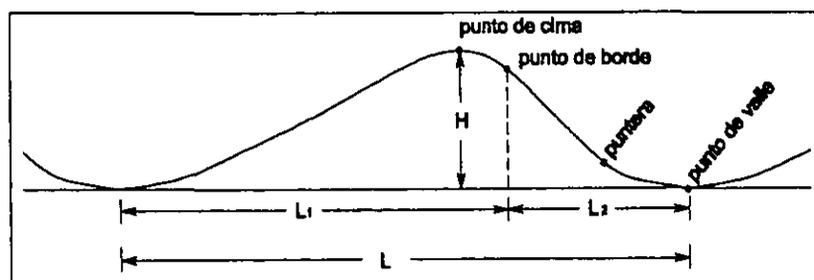


Fig. 10. Corte transversal de una rizadura mostrando sus principales puntos.

Modificado de Reineck (1975).

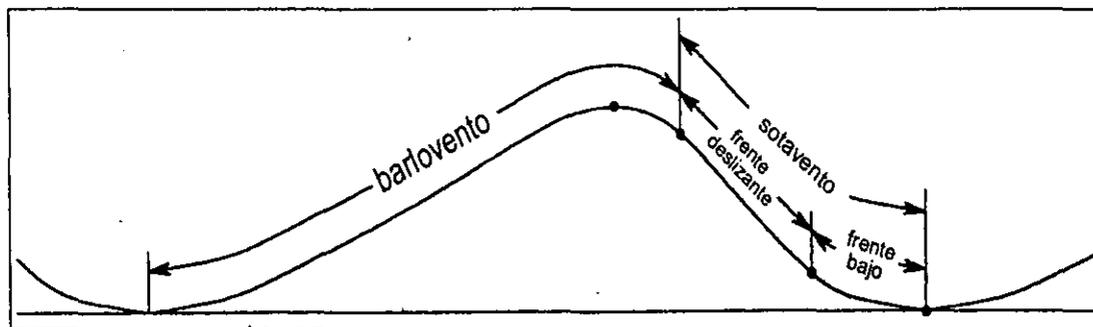
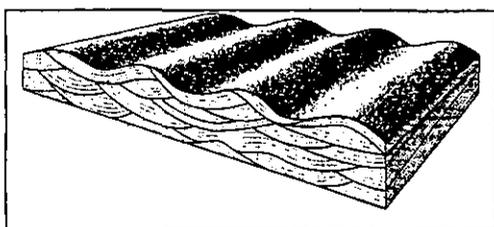


Fig. 11. Corte transversal de una rizada mostrando sus partes constituyentes. Modificado de Reineck (1975).

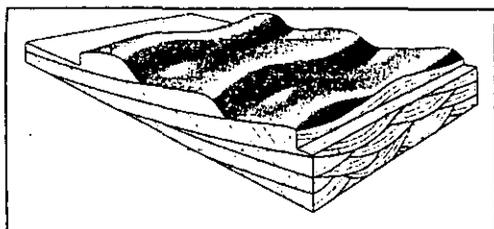
Las rizaduras generalmente se presentan alineadas una tras otra lo que se conoce como tren de rizaduras en el cual las crestas son casi paralelas. Dentro de un tren generalmente se presenta un solo tipo de rizaduras (Selley, 1976).

Las rizaduras también pueden ser descritas con base en la forma de sus crestas, reconociéndose tres tipos:



1) Crestas Rectas, (Fig. 12). Son derechas a través del ancho de la rizada (sin curvaturas en planta). Son continuas aún por largas distancias.

Fig. 12. Rizaduras de crestas rectas. Tomado de Reineck (1975).



2) Crestas Onduladas, (Fig. 13). Son sinuosas (en planta) a lo ancho de la rizada, pero también son continuas por largas distancias.

Fig. 13. Rizaduras de crestas onduladas. Tomado de Reineck (1975).

3) Crestas Discontinuas (Fig. 14). La línea de crestas no es continua sino fragmentada y no puede ser seguida. Pueden presentarse en variedad de formas: linguales, semilunares ó de media luna, triangulares y rómbicas.

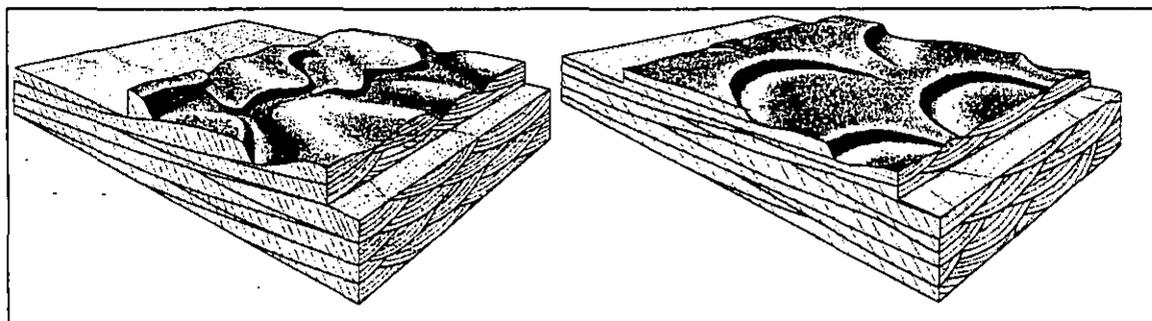


Fig. 14. Rizaduras linguales (izquierda) y rizaduras semilunares (derecha). Tomado de Reineck (1975).

Generalmente la forma de las crestas evoluciona del tipo 1 (crestas rectas) al tipo 3 (crestas discontinuas) conforme la velocidad de flujo aumenta. No obstante existen condiciones máximas de velocidad y energía de flujo en la cual las rizaduras desaparecen dando lugar a capas planas. Estas condiciones dependen de varios factores como el tipo de material y su resistencia al esfuerzo cortante, profundidad, viscosidad del fluido, entre otros, (Collinson y Thompson, 1989). La estructura interna de una rizadura se compone de algunas láminas de lado de sotavento, muchas láminas delanteras y algunas láminas horizontales de frente bajo. Exceptuando el tamaño, no hay diferencia en el arreglo interno de una rizadura con una megarizadura. A la estructura anterior se le conoce como simple concordante ya que la forma interna y externa están relacionadas. Por otra parte, en el tipo discordante no existe relación entre la estructura interna con la forma externa, (Reineck, 1975). Este grupo puede dividirse en :

- a) Forma discordante primaria, (Fig. 15): cada unidad es una capa de megarizadura.
- b) Formas discordantes secundarias:
 - b.1) Formas retrabajadas.
 - b.2) Formas erosivas: no por acumulación sino por excavación erosiva en sedimento.

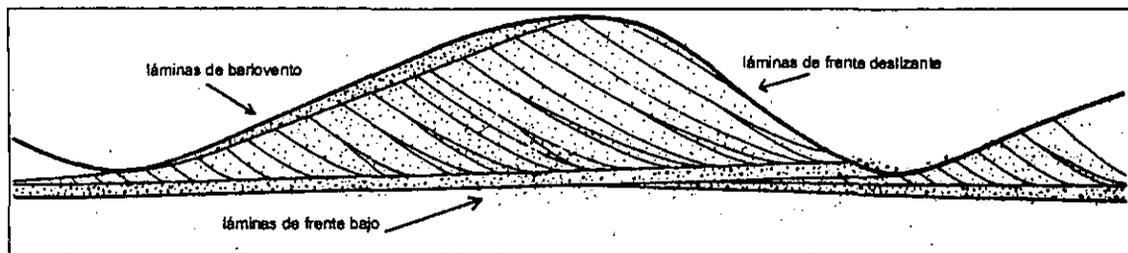


Fig. 15 Estructura simple concordante de rizadura mostrando los tres tipos de laminas.

Tomado de Reineck (1975).

De acuerdo con Reineck (1975), las rizaduras se clasifican por su tamaño en:

- a) Rizaduras: con longitud menor a 30 cm. La velocidad mínima de flujo para producirlas en arena fina es de 20 cm/seg formándose primero los de crestas rectas y alargadas, cambiando conforme aumenta la velocidad de flujo a rizaduras más grandes y más irregulares con crestas onduladas y semilunares. Su largo es independiente del tamaño de grano.
- b) Megarizaduras: presentan longitud mayor a 60 cm. No hay tamaños intermedios entre rizaduras y megarizaduras. Su largo puede incrementarse al aumentar la profundidad, lo que no ocurre con las anteriores, pero a mayores profundidades es necesaria mayor velocidad de flujo para producirlos. Su forma y tamaño son función del tamaño de grano del sedimento. Así, en arena fina es necesaria mayor velocidad de flujo para formarlas que en arena media o gruesa. La evolución de crestas es igual a las de las rizaduras pequeñas: rectas, onduladas y semilunares. Con bajos valores de resistencia al corte se forman pequeñas rizaduras sobre el barlovento de las megarizaduras, lo que se conoce como rizaduras escalantes.

Por el agente principal que las forma y sus procesos de generación, las rizaduras pueden dividirse en cinco grupos: de oleaje, de corriente, de viento, combinadas y aisladas.

1) Rizaduras de Oleaje.

Son ondulaciones simétricas y asimétricas producidas por la acción de las olas en sedimentos no cohesivos (arena). Usualmente son de crestas rectas mostrando bifurcación (la cual nunca se

presenta en las rizaduras de corriente). Según Reineck (1975), la velocidad mínima para su formación es de 9 cm/seg aunque varía de acuerdo con el tamaño de grano. El tamaño de grano es el factor principal para determinar el tamaño de estas rizaduras, sin embargo el oleaje nunca forma megarizaduras; a mayor tamaño de grano más grande la rizadura. A un mismo tamaño de grano las de aguas profundas son mayores que las de aguas someras debido a que las primeras poseen mayor longitud de oleaje y por lo tanto mayor movimiento orbital. En estas rizaduras el movimiento de los sedimentos en el fondo no es circular sino de adelante hacia atrás.

Las rizaduras simétricas se producen al revertirse la dirección de flujo pero con iguales velocidades en ambas direcciones, así primero es creado un lado de barlovento y después el otro lado de barlovento, por tanto en estas rizaduras el lado de sotavento no llega a desarrollarse bien. Generalmente estas rizaduras simétricas son de crestas angulosas y valles redondeados con una estructura interna característica de laminación chevrón.

A diferencia de las anteriores las rizaduras asimétricas de oleaje son producidas por diferencias de velocidad entre las dos direcciones de flujo. Estas rizaduras asimétricas son muy parecidas a las de crestas rectas de corriente, con un abrupto sotavento y un suave barlovento y estructura interna simple. La mejor forma de diferenciarlas de las rizaduras de corriente es la bifurcación de crestas (Reineck, 1975).

2) Rizaduras de Corriente.

Son rizaduras formadas en una superficie no cohesiva debido a la acción de corrientes unidireccionales. Son alargadas transversalmente al flujo y de crestas espaciadas. En este tipo de rizaduras se presentan todos los tamaños con la evolución normal de crestas (de rectas a semilunares) tanto en las rizaduras como en las megarizaduras. Generalmente se conoce a las de crestas rectas como de baja energía, a las onduladas como de energía media y a las semilunares como de alta energía. Así mismo la estructura interna de la rizadura cambia al aumentar la energía, asociándose de esta manera estratificación cruzada plana a las rizaduras de crestas rectas, estratificación cruzada lenticular a las onduladas y también estratificación cruzada lenticular, aunque más acentuada, a las semilunares.

Existe un tipo especial de rizaduras de corriente (en ambos tamaños) que se forman bajo condiciones extremas de flujo, de muy bajo tirante de agua (de milímetros a 2 cm en rizaduras pequeñas) y fuerte velocidad de flujo. Este tipo se conoce como rizaduras rómbicas y son extremadamente aplanadas.

Otro tipo especial de rizaduras de corriente son las antidunas, las cuales migran a contracorriente como por ejemplo, las del Mar Caribe. Están en fase con la superficie del agua y se producen en flujo rápido. Son de crestas largas con bajo relieve. Al ser el depósito un proceso continuo en las antidunas, la estructura interna no está bien diferenciada (Collinson y Thompson, 1989).

3) Rizaduras de Viento.

Se producen por la acción del viento en los materiales no cohesivos (arena). El viento genera formas onduladas cuya longitud de onda depende de la fuerza del propio viento hasta llegar a una máxima donde se aplanan y alisan. Estas rizaduras presentan crestas paralelas semirectas. Aquí los granos gruesos se presentan en las crestas, al contrario de los producidos en agua que tienen sus granos más gruesos en los valles y la base (Boggs, 1987).

En general las megarizaduras de viento se conocen y clasifican como dunas, las cuales se describen dentro de los ambientes sedimentarios costeros.

4) Rizaduras Combinadas.

Según Reineck (1975), estas rizaduras se forman bajo la influencia tanto de oleaje como de corriente en igual magnitud. Generalmente se dan en aguas someras y son de dos tipos:

- a) Longitudinales: de crestas rectas sin bifurcación cuyos trenes de rizaduras son paralelos a la corriente, mientras que la dirección de propagación del oleaje es perpendicular a tal corriente. Dentro de este tipo los hay también erosivos.
- b) Transversales: muy comúnmente estos se forman cerca de la línea de costa. Las crestas son transversales a la dirección de corriente y de forma redondeada. En este tipo el oleaje y la corriente son paralelos. Su estructura interna puede ser concordante o discordante.

No obstante, en todas las rizaduras de corriente el oleaje puede interferir haciendo que las formas sean de mayor energía; también en las rizaduras de oleaje puede intervenir la corriente no permitiendo la bifurcación de crestas.

5) Rizaduras Aisladas.

También conocidas como rizaduras incompletas. Se originan cuando no existe suficiente aporte de arena para cubrir completamente la superficie de ésta.

En general son aplanadas, las líneas de crestas son discontinuas y en los valles usualmente se observa el sustrato.

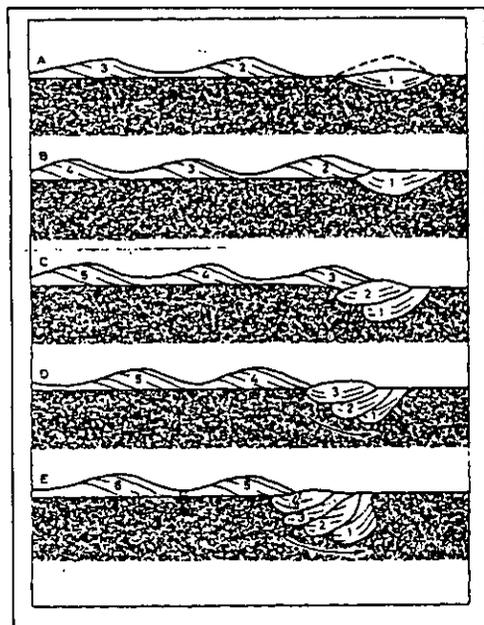
Según Reineck (1975), tanto las rizaduras de oleaje como las de corriente y viento pueden convertirse en rizaduras aisladas; son comunes en llanuras de marea lodosas.

DISTRIBUCIÓN EN AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

Si bien gran variedad de rizaduras se presentan en multitud de ambientes debido a que son el reflejo directo de las condiciones dinámicas prevalecientes o extraordinarias (tormentas e inundaciones), su abundancia relativa, distribución y asociaciones pueden ser un parámetro para el reconocimiento de determinado ambiente. En general abundan en ambientes arenosos de aguas someras.

A.1.3 ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN.

Se refieren estas estructuras a capas de sedimento que han sido deformadas y distorsionadas por procesos inorgánicos no tectónicos en un tiempo posterior al depósito y antes de la consolidación de los sedimentos. El principal agente generador es la gravedad. Son de carácter local, referidas a una ó varias capas deformadas dentro de capas no deformadas. Según Selley (1976), estas estructuras se dividen en seis grupos:



a) Estructuras de Carga (Figs. 16 y 17).

Por lo general se preservan en el lado inferior de una capa arenosa que sobreyace a una lodosa. En el calco se ven formas similares a gránulos muy irregulares. Son mejor reconocidas en sección. Pueden ser producidos por el hundimiento de sucesivas rizaduras en una capa lodosa. Se observan en canales de llanuras lodosas de inundación (Selley, 1976).

Fig. 16. Diferentes etapas en la formación de estructuras de deformación: A) Migración de las rizaduras 1, 2 y 3. La rizadura 1 al sobreyacer en sedimentos finos saturados con

comportamiento plástico, se hunde por peso invirtiendo su forma y deteniendo su migración. B) Al continuar la migración de las rizaduras 2, 3 y 4, la rizadura 2 sobreyace a la rizadura 1 ahora anclada, incrementando ahí la carga sedimentaria. C) Hundimiento por exceso de carga de la rizadura 2 sobre la 1; la rizadura 3 sobreyace, al continuar su migración, a la rizadura 2. D y E) Hundimiento sucesivo de las rizaduras 3 y 4 al continuar migrando las siguientes rizaduras y sobreyacer a las ahora hundidas.

Tomado de Reineck (1975).

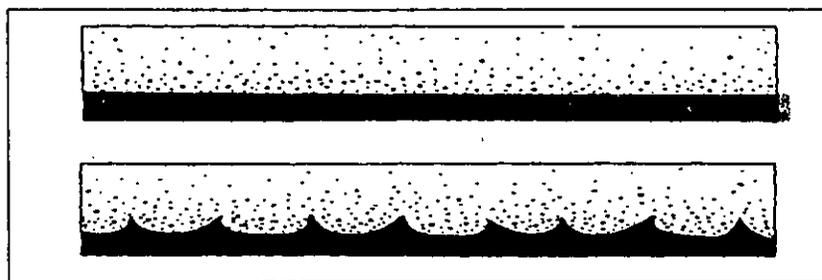
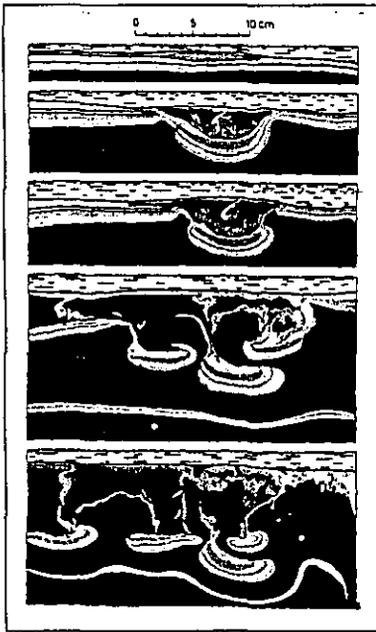


Fig. 17. Génesis de las estructuras de carga de una capa de arena sobre una capa de lodo saturado con comportamiento plástico. El esquema superior muestra el desarrollo inicial, en el esquema inferior se presenta la estructura formada al fluir el lodo hacia arriba compensando el exceso de carga.

Tomado de Reineck (1975).



b) Almohadas (Fig. 18).

Producidas por capas de arena entre capas lodosas. La capa de arena es rota y forma almohadas aisladas que se sumergen completamente en la capa inferior. Dentro de las almohadas no se observan estructuras salvo en ocasiones una laminación incipiente (Reineck, 1975).

Fig. 18. Etapas en la formación de almohadas. Tomado de Reineck (1975).

c) Estructuras de Deslizamiento:

Producto del movimiento de capas por gravedad, creando así un pequeño fallamiento normal; esta estructura es asociada comunmente a una rápida sedimentación (Selley, 1976).

d) Estratificación Convoluta:

Es un tipo de estratificación muy irregular en cuanto a que se encuentra plegada en patrones complejos, sin embargo puede seguirse continuamente la estratificación. Generalmente se forma mejor en los sedimentos de grano fino o limo-arenosos. Es debida a diferencias de esfuerzos hidrolásticos, por licuefacción o por sobrecarga diferencial. Puede ser muy abundante en llanuras de intermarea (Reineck, 1975).

e) Inyecciones e Intrusiones (Collinson y Thompson, 1989):

- 1) Volcanes de Arena y Lodo: son pequeños rasgos en forma de volcanes con diámetro de algunos centímetros a metros en forma más o menos circular con cráteres formados de arena y limo eyectados de un canal central. Se asocian a la expulsión de

agua de los sedimentos debido a carga, sedimentación rápida ó agitación de sedimentos recientes. Se presentan en zonas de sedimentación intermitente con niveles excepcionalmente altos de sedimentación. A menor escala (de milímetros a centímetros) se conocen como hoyuelos o montecillos producto del escape de burbujas de gas.

- 2) Diques Clásticos: pueden formarse hacia abajo ó hacia arriba a través de grietas y fracturas de las capas adyacentes. Son de arena, grava, limo, lodo ó bitumen. Si el material es inyectado desde abajo este sigue fracturas y es impulsado por presión litostática de sus alrededores, por hidrostasia ó gas. Los diques hacia arriba son de materiales plásticos, los producidos hacia abajo presentan gran variedad de texturas y materiales.

A.2. ESTRUCTURAS DE SUPERFICIE.

Se presentan en las superficies de estratificación, es decir, entre estratos y registran condiciones ambientales y de flujo anteriores al depósito de la capa que las cubre. Muy rara vez pueden ser identificadas en sección y la mejor forma de visualizarlas es en vista frontal, ya sea de la parte superior del estrato sobre el que se encuentran ó de la parte inferior del estrato que las cubrió. Si son reconocidas desde la parte inferior del estrato superior lo que se observa es el calco de la estructura, es decir, el negativo de los rasgos que esta generó.

Se dividen en dos grupos: marcas de origen físico en superficie y marcas de corriente.

A.2.1 MARCAS DE ORIGEN FÍSICO SUPERFICIALES.

a) Grietas de desecación.

Son divisiones poligonales en superficie, producto de la evaporación de agua contenida en sedimentos cohesivos (lodos). Pueden ser rectas o curvas con polígonos de tres a más de seis

lados; forman grietas de primero, segundo y tercer orden. Las de primer orden (las primeras en formarse) son amplias y profundas, las de segundo orden se establecen en áreas delimitadas por las anteriores. En sección presentan forma en V y profundizan en el estrato desde milímetros a unos pocos centímetros; por lo general se preservan rellenas de material fino. Se presentan en los ambientes sabkhas, fondo y bordes de lagos, canales de río abandonados y llanuras de marea. Son útiles para la interpretación de superficies intermitentemente expuestas al aire, combinadas con marcas de gotas de lluvia y huecos de granizo (Davis, 1992).

b) Gotas de lluvia.

Son producto del impacto de gotas sobre una capa de sedimento suave. Forman cráteres del orden de milímetros; son circulares si la caída de la gota es perpendicular al suelo, y son elípticos cuando la gota cae en dirección oblicua. La lluvia oblicua sobre rizaduras sólo marca un lado de éstas. Con lluvia muy abundante los cráteres se deforman unos a otros. Se preservan mejor en ambientes con lluvia ocasional. El granizo forma cráteres más grandes, profundos y más irregulares que la lluvia (Selley, 1976).

c) Impresiones de cristales y moldes.

Son generadas, bajo condiciones favorables, por el crecimiento de cristales de yeso, sal y/o hielo sobre la superficie de sedimentos suaves. Si estos cristales desaparecen posteriormente por disolución, dejan tras de sí un sistema distintivo de impresiones. Al llenarse estas impresiones con sedimento, los pseudomorfos del cristal son formados (Friedman, 1992), se distinguen mejor en sedimentos lodosos. Las más comunes son las formadas por cristales de sal y en algunas llanuras de intermarea también las formadas por cristales de yeso.

d) Alineación primaria.

Son canalillos orientados paralelos a la corriente y son indicativos de ésta. En las playas son producto del flujo de resaca en combinación con la laminación propia del lugar (Friedman, 1992).

e) Marcas de resaca.

Son marcas semiesféricas interconectadas producidas al regresar la ola, la cual deja un patrón de marcas imbricadas sobre la arena. Marcan el lugar más lejano donde llegó el agua de la ola; contienen granos de arena muy finos. También son conocidas como marcas de oleaje (Reineck, 1975).

A.2.2 MARCAS DE CORRIENTE.

Son resultado de la erosión de la superficie sedimentaria por el flujo de una corriente sobre ella.

- a) Marcas tipo flauta (flute marks): son surcos alargados y discontinuos. La parte corriente arriba es más abrupta y profunda, del rango de milímetros a unos centímetros. Su largo es de centímetros a decímetros. Se han diferenciado cuatro subtipos: lenguada, triangular o cónica, alargada simétrica y bulbosa. Se presentan aisladas o en grupos. Al parecer son producto de la erosión por vórtices en la corriente sobre una superficie lodosa, (Friedman, 1992).
- b) Estructuras de corte y relleno: se generan cuando un flujo (de agua o viento) escarba sobre sedimento no consolidado, formando pequeñas depresiones irregulares; al cambiar las condiciones de flujo, nuevo material se sedimenta y rellena dichas depresiones (Collinson y Thompson, 1989).
- c) Marcas de arroyo (rill marks): son surcos de forma dendrítica creadas bajo el flujo de una delgada capa de agua sobre la superficie del sedimento durante el proceso de regresión del nivel de agua. Se asocian con cambios de condiciones subacuosas a condiciones subaéreas (Reineck, 1975).

A.2.3 MARCAS POR OBJETOS (TOOL MARKS) O DE ESCOSOR.

Son producidas por objetos sobre la superficie sedimentaria al pasar una corriente alrededor de ellos. Se presentan dos tipos (Friedman, 1992):

- a) Estacionarias (crescent marks): son depresiones de forma cónica alargada ó de media luna con punta aguas arriba (Fig. 19); formadas en el sedimento alrededor de un obstáculo (conchas, fragmentos de roca, huesos, etc.) el cual no es movido por la corriente mientras la depresión es producida. Presenta zonas diferenciales de excavación, por lo general el mayor grado de escarbe es justo en la cara donde la corriente choca contra el objeto; detrás del objeto se crea una zona de lento depósito producto del cambio local en las condiciones hidráulicas de la corriente.
- b) De movimiento: son zurcos creados cuando el objeto es arrastrado por la corriente (chevron cast); el sedimento se acumula en la parte posterior del objeto (lado de sotavento) permitiendo identificar así la dirección del flujo. Otro tipo son las marcas de impacto y rebote (groove cast) que se generan con sedimentos en saltación dentro de un flujo; estos generan huecos en el fondo los cuales son más someros corriente arriba y más acentuados corriente abajo.

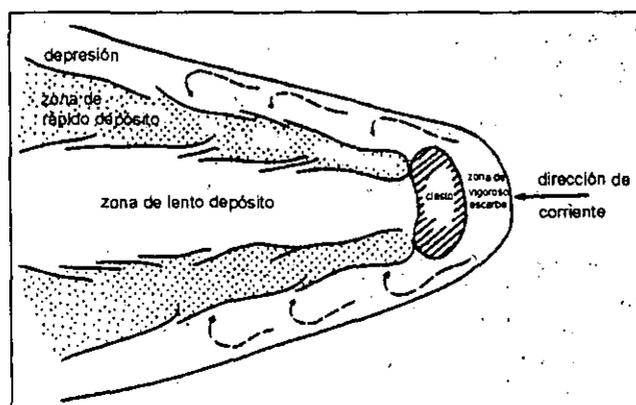


Fig. 19. Patrón de fluido y mecanismo de sedimentación durante la formación de una estructura de corriente por obstáculo. Modificado de Collinson y Thompson (1989).

B. ESTRUCTURAS DE BIOTURBACIÓN (ICNOFÓSILES) (Reineck, 1975).

En muchos ambientes de depósito, tanto los organismos que viven dentro de los sedimentos (en cuevas y galerías) llamados genéricamente endofauna, como los que viven sobre el sedimento o epifauna, retrabajan el material sedimentario como parte de sus actividades diarias. Este retrabajo puede llegar a cambiar totalmente las propiedades texturales de una capa (al aumentar su grado de clasificación o disminuirlo), y tiende a erosionar las estructuras sedimentarias anteriores ya sea en bajo grado o destruyéndolas totalmente (Davis, 1992). En términos generales dicho retrabajo por parte de organismos se le conoce como bioturbación y puede ser indicativo de la altura de sedimentación y del nivel de actividad de esos seres así como de su tipo; en términos particulares la bioturbación se compone de icnofósiles. Un icnofósil es cualquier rasgo o alteración que deja la actividad de organismos en el sedimento; dentro de este tipo de fósiles se clasifican:

- huellas de pisadas.
- galerías (burrows): son orificios excavados dentro del sedimento, pueden estar rellenos o no.
- moldes de cuerpos: formados al posarse organismos sobre el sedimento.
- pistas: surcos creados por cualquier organismo (generalmente caracoles y gusanos) al desplazarse sobre el sedimento.
- montículos: acumulaciones de sedimento a la entrada de las galerías.

Otro tipo de estructura sedimentaria orgánica lo componen las masas arrecifales, las cuales son asociaciones y concentraciones de organismos (corales, moluscos, braquiópodos, foraminíferos, equinodermos, briozoarios, algas, etc.) que viven bajo el agua a una profundidad somera determinada; estos organismos forman un conjunto rígido debido a la secreción de carbonato de calcio el cual es utilizado para constituir sus esqueletos y partes duras, los que además, cumplen con la función de proteger los tejidos blandos del medio exterior, así como para sostenerlos en posición de crecimiento. En particular las algas clorofíceas forman estromatolitos, que son acumulaciones de los organismos en capas sucesivas.

III.2.2 AMBIENTE SEDIMENTARIO.

Un ambiente sedimentario es el conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas que determinan las características particulares de un sedimento o roca sedimentaria y es diferenciable de los ambientes adyacentes (Reineck, 1975).

Dentro de las condiciones físicas que definen a un ambiente sedimentario se encuentran: la temperatura, el régimen de precipitación, el régimen de vientos, la humedad, y en particular son importantes las características hidrodinámicas prevalcientes en dicho ambiente. Estas características son la red de drenaje, la velocidad de corrientes, su profundidad y el nivel de oleaje y de mareas (Glenn, 1990).

Las condiciones químicas más importantes en un ambiente son: la salinidad, el potencial de óxido-reducción (Eh) y el nivel de acidez (pH). A su vez, el estudio de los minerales autógenos dentro de un ambiente son de utilidad en la determinación de dichas condiciones químicas (Friedman, 1992).

Las condiciones biológicas por su parte, son las relaciones ecológicas de flora y fauna existentes en determinado ambiente; así, el conjunto de estos tres grupos de condiciones define el carácter de un ambiente, el cual en primera instancia puede ser de erosión o de depósito.

Es erosivo cuando en el ambiente dominan los procesos de denudación implicando también una morfología erosiva así como sus productos. Es de depósito si en él dominan los procesos de acumulación, este tipo de ambientes son los que dejan huella en el registro geológico (Waker, 1992).

Para hacer tal diferenciación de ambientes es necesario el correcto establecimiento de las condiciones hidrodinámicas del ambiente; esta información hidrodinámica está presente en: 1) las estructuras sedimentarias primarias, las cuales proporcionan información sobre las condiciones de energía al momento del depósito (velocidad de flujo, profundidad, turbulencia) y, 2) la textura de los sedimentos, que brinda información acerca del medio y modo de transporte del material. Estos rasgos prevalecen en las rocas aún cuando el ambiente sedimentario haya sido modificado o desaparecido, por lo que a través de ellos (junto con criterios mineralógicos y

estructurales) es posible interpretar ambientes sedimentarios antiguos aplicando el Principio de Uniformismo propuesto por Hutton (1785).

Debido a que la mayoría de las estructuras sedimentarias primarias se presentan en varios ambientes y no se restringen a ninguno en particular, la presencia o ausencia de una sola estructura aislada muy rara vez es indicativa de todo un ambiente de depósito, por lo que es necesario analizar (para la interpretación de ambientes) todo el conjunto de estructuras sedimentarias primarias y en especial la presencia de combinaciones de ellas, ya que son las asociaciones de estructuras, junto con las asociaciones litológicas, las que sí son indicativas de ambientes específicos (Reineck, 1975).

MODELOS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

Con el objetivo de mostrar los factores ambientales que influyen en los sedimentos del área de estudio, se describen a continuación los modelos teóricos de los ambientes sedimentarios allí presentes.

ZONA COSTERA.

La zona costera es el área geográfica transicional entre el océano, el continente y la atmósfera, que incluye a las interfases océano-continente, océano-atmósfera y continente-atmósfera; es la franja de terreno con rasgos de origen marino limitada, hacia tierra firme, por el límite máximo de la última transgresión marina postglacial, puede extenderse por varios kilómetros hacia el interior del continente e incluye la porción continental adyacente al mar u océano alternativamente inundada por las fluctuaciones del nivel marino en el Cuaternario tardío. Su extremo marino lo rige el grado de influencia del continente subaéreo, pudiendo estar ubicado en la plataforma continental, en el talud continental y aún en la llanura abisal.

Tres tipos de factores controlan su rápido y continuo cambio en el tiempo geológico (Davis, 1992):

- 1) Factores marinos: oleaje, mareas, corrientes litorales y costeras, y cambios en el nivel del mar inducidos por tectónica o glacio-eustasia.
- 2) Factores continentales: viento, topografía, clima, tipo de roca fuente.
- 3) Factores biológicos: hábitos y metabolismo de los organismos que habitan esta zona.

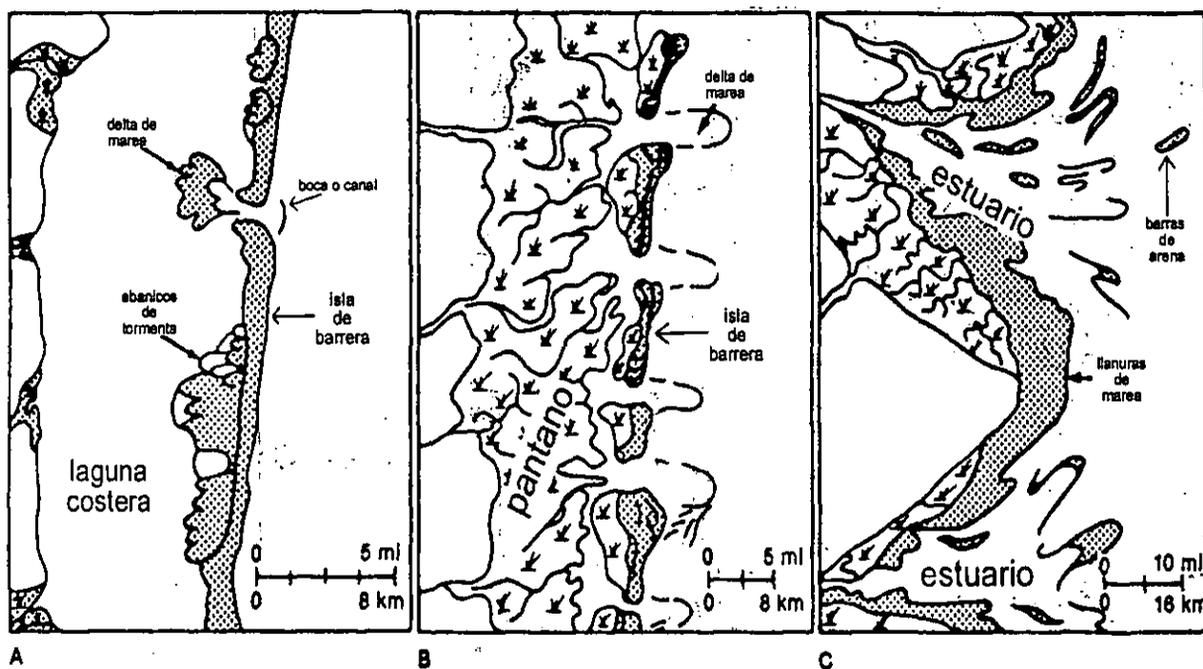


Fig. 20. Tipos de costas según la amplitud de mareas. Modificado de Walker (1992).

- A) Costas micromareales: $< 2\text{ m}$ de amplitud de mareas (a este tipo de costas pertenece la zona costera del Puerto de Veracruz).
- B) Costas mesomareales: entre 2 y 4 m de amplitud de mareas.
- C) Costas macromareales: $> 4\text{ m}$ de amplitud de mareas.

Debido a la muy variada interacción entre los tres factores anteriores, los ambientes sedimentarios que se establecen en esta zona de transición reflejan el balance entre el nivel de aporte de sedimentos y la capacidad de los procesos marinos para distribuir ese material (Kennet, et al., 1982). Los sedimentos costeros usualmente son arenas, si bien algunas veces dominan las

gravas cuando la proximidad y las características litológicas de la roca fuente pueden proporcionar este tipo de materiales. Los materiales finos se concentran en zonas dentro de los ambientes estuarinos, lagunares y palustres. El principal aporte de arena hacia la costa es por los ríos, siendo la segunda fuente de aporte el retrabajo de la arena de plataforma hacia la costa (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982).

Desde el punto de vista sedimentológico se ha observado que existe una estrecha relación entre la morfología costera y el rango de amplitud de las mareas (Fig. 20) (Freidman, 1992).

SUCESIÓN DE AMBIENTES EN LA ZONA COSTERA.

Transversalmente las costas presentan sucesiones de subambientes y de materiales, como se muestran a continuación:

a) Variación del ambiente costero con isla de barrera progradante:

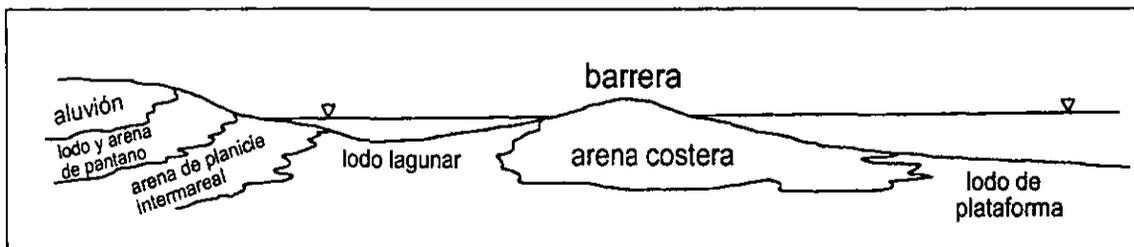


Fig. 21. Subambientes costeros en isla de barrera progradante. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

b) Variación del ambiente costero con playa progradante, sin barrera:

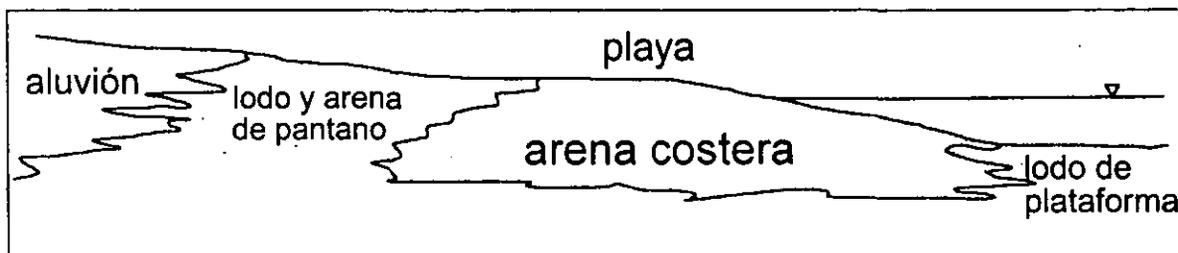


Fig. 22. Subambientes costeros en playa progradante. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

PLAYA.

La playa es un cuerpo de sedimentos no cohesivos (arena y grava) producto de su acumulación en la zona litoral, marina, lacustre, deltáica, manglares y en las islas de barrera (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982). Se forman esencialmente en costas micro a mesomareales con pendientes costeras relativamente bajas y para subsistir requieren de un continuo aporte de sedimento que es suministrado por los ríos y las dunas; este material es transportado posteriormente a lo largo de la costa por las corrientes de deriva litoral (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982).

El límite terrestre de la playa es el límite superior de la acción del agua por oleaje en temporales o el contacto entre los sedimentos no cohesivos y otro tipo de material; cualesquiera que esté más cerca del agua. El límite del lado marino es el límite de la marea baja o la parte más alejada donde todavía se percibe la influencia del oleaje, cualesquiera que esté más alejado de tierra (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982), como se muestra en el siguiente perfil esquematizado de una playa:

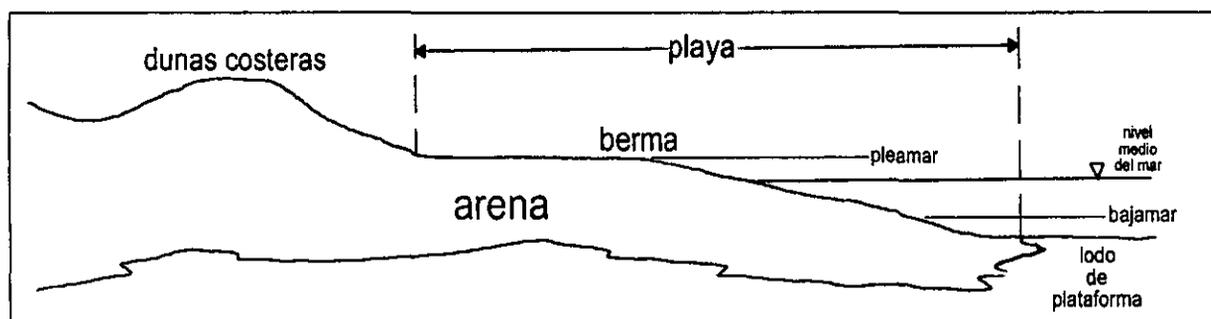


Fig. 23. Perfil de playa. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

El proceso fundamental que actúa en la playa es la llegada del oleaje, cuya energía se disipa por el rozamiento con el fondo; las olas remueven sedimento del fondo y ponen en suspensión la fracción fina que es arrastrada fácilmente mar adentro. La zona de la playa donde rompen las olas es conocida como rompiente, y de las rompientes hacia tierra se extiende la zona de resaca o

traslación, donde las masas agitadas de agua que quedan tras la rotura de las olas se mueven rápidamente tierra adentro, arrastrando consigo la carga de fondo y el sedimento en suspensión. Tras el paso de cada masa u ola rota se produce un movimiento de agua hacia el mar que se conoce con el nombre de resaca; esta puede extenderse por toda la playa o concentrarse en determinados lugares formando corrientes de resaca (rip currents) que fluyen espasmódicamente entre la llegada de las olas mayores que suelen invertir su movimiento. La ola residual alcanza finalmente la zona de batida extendiéndose pendiente arriba en una fina lámina hasta que agota su energía cinética y se detiene, depositando el sedimento que arrastraba consigo. Vuelve entonces mar adentro arrastrando muchísimo sedimento hasta que choca con las olas que llegan, perdiendo su capacidad de transporte y depositándolo. Este material es el más grueso de los que se encuentran en la playa pues esta es la zona donde se pone en movimiento más energía. De este modo se producen dos acumulaciones de sedimento grueso, una en la parte alta de la zona de batida que forma la berma de playa y otra al pie de aquella que da lugar a un escalón.

Las playas con sedimentos más gruesos presentan pendientes más elevadas que las de grano fino y carecen de zona de traslación o esta es muy reducida pues las rompientes se conectan directamente con la zona de batida. Así, la pendiente de la playa es reflejo del material que la compone, teniéndose pendientes desde 3° para arenas finas y hasta a 15° y 24° en gravas medias y gruesas respectivamente (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982).

En el sistema de circulación costera tiene gran importancia el ángulo de incidencia de los frentes de onda del oleaje (línea de cresta de olas) que es controlado a su vez por la orientación de la costa con respecto a la dirección dominante de vientos. Cuando hay una dirección de oleaje dominante el sistema costero no devuelve los granos de sedimento a su posición original, sino que los desplaza en un sentido determinado, dando lugar a una componente neta de transporte a lo largo de la costa que se conoce como deriva litoral ó corriente litoral (Fig. 24). Esta corriente tiene una importancia decisiva en la formación de flechas litorales e islas de barrera. El ángulo de incidencia así como su dirección pueden variar según la componente de las perturbaciones atmosféricas, generando componentes opuestas de deriva litoral en la misma playa a lo largo del año (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982).

Se tienen así dos direcciones de transporte de sedimento en las playas, una más o menos perpendicular a la costa, controlada por las olas que llegan y la resaca y otra paralela a la costa debida a corrientes inducidas por las direcciones de frente de oleaje y línea costera (deriva litoral). Un hecho importante es que la posición del sistema varía con el estado de la marea: durante el flujo (pleamar) éste sistema se desplaza hacia tierra y durante el reflujo (bajamar) lo hace hacia el mar. Ello permite al oleaje actuar sobre una zona más amplia y modifica continuamente la dirección de la playa. Otro factor modificante es la acción de temporales que generan olas de periodos largos a la vez que apilan agua sobre la costa, permitiendo al oleaje llegar a zonas altas de la playa removiendo sedimento mar adentro a través de las corrientes de resaca reforzadas por el temporal (McCubbin, 1981; en Scholle, 1982).

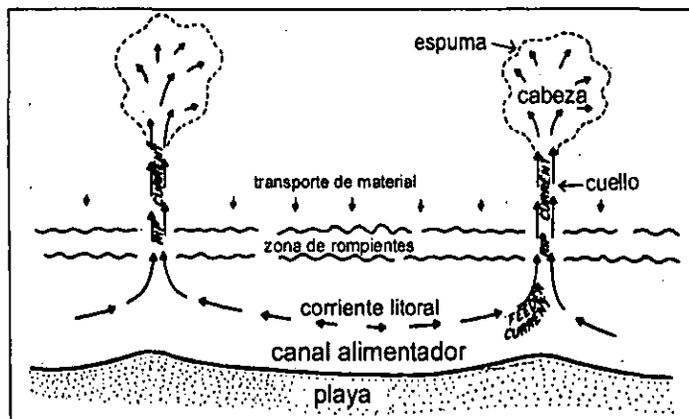


Fig. 24. Corrientes en playa. Modificado de Kennett (1982).

La diferencia esencial entre las playas y las llanuras de marea radica en el modo en que se disipa la energía del oleaje: la elevada pendiente de la playa facilita la acción de las olas sobre toda la superficie, mientras que la suave pendiente de las llanuras de marea hace que la energía se disipe muy pronto por el rozamiento con el fondo, minimizando su acción sobre la mayor parte de la superficie. La distribución de tamaños de grano es opuesta en ambos casos: decrece hacia tierra en las llanuras de marea y aumenta hacia tierra en las playas (Kennett, et al., 1982).

Dentro de la playa se encuentran tres zonas bien diferenciadas (Fig. 25): postplaya (backshore), frente de playa (foreshore) y anteplaya (shoreface).

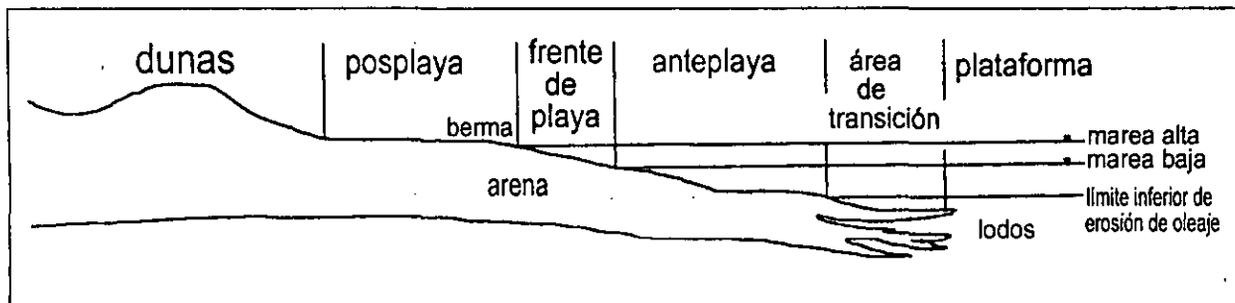


Fig. 25. Zonas del perfil de playa. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

POSTPLAYA.

Es la zona ubicada entre la cresta de la berma de reciente formación, que es el nivel de las pleamares normales, y la porción de la llanura costera que sólo es alcanzada, durante la *pleamar*, por el oleaje de las tormentas más severas e incluye una o varias bermas. Puede incluir a las dunas bajas y aún a los cantiles. En una playa erosiva, la berma puede estar ausente; en estas condiciones, la postplaya y la porción superior del frente de playa forman una superficie continua ligeramente cóncava. Las bermas de tormenta caracterizan a las playas de grava.

FRENTE DE PLAYA.

Comprendido entre los niveles normales de bajamar y el de pleamar; este nivel puede ser, la cima o cresta de la berma (terrazza angosta, casi horizontal, formada por el depósito de arena y guijarros sobre la playa por las olas de tormenta) más cercana al mar, que es la de más reciente formación. La posición del frente de playa es controlada por el ascenso del nivel del agua durante las tormentas. Su relieve es llano y suavemente inclinado al mar y está sometido por la cara de la playa, el escarpe de playa y la terraza de bajamar. La cara de la playa se sitúa entre el flanco de sotavento de la berma y la línea de pleamar; su pendiente varía entre 1° y 30° , y depende de la composición y textura de los sedimentos y de los procesos que actúan en el frente de la playa. El escarpe es un rasgo de erosión labrado por las olas altas y las mareas de mayor amplitud; en las playas de pendiente muy suave, puede ser irrelevante y su posición puede determinarse por: 1) los cambios de textura hacia los sedimentos gruesos; 2) la concentración de conchas; y 3) las estructuras sedimentarias primarias. Su máximo desarrollo ocurre en las playas de gradiente acentuado y pequeño rango de marea.

ANTEPLAYA.

También llamada playa subacuática, es la zona de la playa donde rompen las olas; se desarrolla hacia el mar a partir de la línea de bajamar y su ancho puede ser de varios metros; comprende a las barras y zurcos litorales, paralelos a la orientación de la playa. Según sean las características de las olas, las barras y los zurcos migrarán hacia la terraza de bajamar o se alejarán de ella. La formación de las playas puede inhibirse, si el gradiente de la anteplaya es acentuado y el aporte de sedimentos es escaso. Al no desarrollarse las barras y los zurcos, el límite exterior de la anteplaya se sitúa donde el oleaje de tormenta toca fondo.

BARRERAS LITORALES.

Una barrera litoral es cualquier obstrucción que interfiera con la deriva litoral. Puede ser natural o artificial. Las barreras naturales son: a) las puntas o promontorios que se adentran al mar; 2) las islas paralelas al litoral, en las cuales la difracción de oleaje en sus extremos originan transporte litoral en direcciones opuestas y dirigido hacia la porción media de las islas, dando lugar a la formación de tómbolos (barreras desarrolladas entre una isla y el continente o entre dos islas). Las barreras artificiales son construídas por los humanos e incluyen a los rompeolas, las escolleras y los espigones.

Desde el punto de vista geomorfológico y sedimentológico, las barreras litorales son los depósitos de arena y grava originados y desarrollados por el oleaje y las corrientes de litoral y están separadas de él por una laguna costera casi siempre somera, o por un pantano. Están formadas por series de antiguas líneas de playa, cordones de dunas activas o estabilizadas, playas marinas arenosas y pantanos de manglar; su cima es superior al nivel de las mareas más por lo que rápidamente es colonizada por la vegetación. Por su tamaño, varían desde rasgos de pocos metros de largo y ancho, hasta ser de gran anchura (1 km) y cientos de kilómetros de largo, con grandes sistemas de dunas (100 m de alto) desarrollados en su superficie. Se estima que este tipo de barreras es característico de las zonas costeras de suave pendiente y escaso rango de marea como, por ejemplo, la mayor parte del litoral del Golfo de México.

La ruptura de las barreras litorales durante el ataque del oleaje de tormenta, da lugar a la formación de islas de barrera, separadas por canales o bocas de marea.

La formación de las barreras litorales y de las islas de barrera es aún controversial. Algunas son porciones de flechas originales y otras son fragmentos de cordones de dunas. Se estima que la mayoría fueron formadas antes de que el mar adoptara su nivel actual, iniciándose como barras durante los estadios inferiores del nivel marino del Pleistoceno tardío y desarrollándose por acreción durante el Holoceno temprano. Paulatinamente fueron separadas de la llanura costera por el anegamiento y la formación de lagunas costeras, conforme el mar fue ascendiendo y grandes cantidades de sedimentos, de reciente emersión y eran transportados hacia la llanura costera. Los procesos erosivos que actualmente modifican a las lagunas barreras se relacionan con la disminución del aporte de sedimentos a partir de que cesó la fase principal de la transgresión del mar. Parece ser que el desarrollo y crecimiento de algunas islas de barrera fué durante los últimos 4 000 años, tiempo en el cual el nivel del mar ha sido estable (Curry, et al., 1969).

Estudios recientes han permitido considerar que las barreras fueron originalmente playas o cordones de dunas aislados del litoral durante una submergencia regional (Hoyt, 1976). Se admite, así mismo, que las islas de barrera pueden deber su origen al desarrollo de las flechas litorales formadas y acrecentadas frente a las grandes bahías. Posteriormente a su formación, las barreras litorales se acrecientan por deposición: a) marina: a expensas de la acción de oleaje, de las mareas y de las corrientes litorales (Fig. 26); y b) lagunar: por la formación de pantanos.

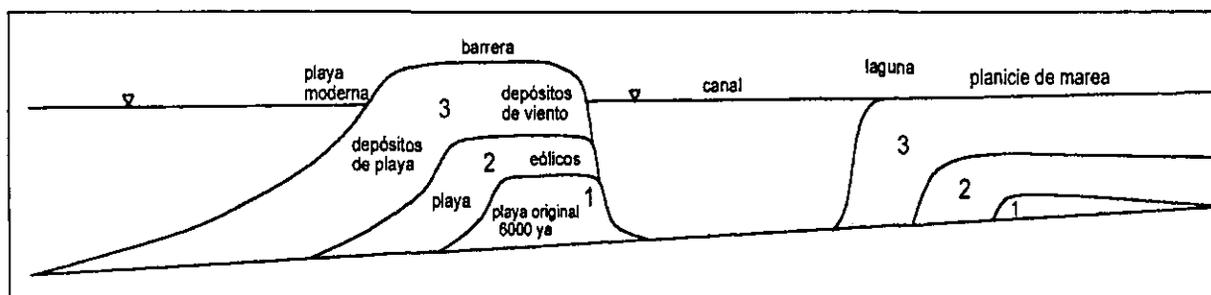


Fig. 26. Niveles de crecimiento en las barreras. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

LAGUNA COSTERA.

Es un cuerpo de agua salobre, marina o hipersalina, alojado en depresiones someras más bajas que el nivel medio de las mareas más altas y sensiblemente paralelo a la orientación general del litoral lagunar. Se separa total o parcialmente del mar por una angosta barrera litoral arenosa formada por una o varias series de antiguas líneas de playa, bermas, cordones de dunas activas o estabilizadas, pantanos y arrecifes de origen diverso, asociándose así la laguna con esos subambientes (Fig. 27). La comunicación entre la laguna y el mar puede ser perenne o efímera, casi siempre estacional, por medio de una o más bocas labradas en los sedimentos arenosos de la barrera litoral. El drenaje superficial es estacional y puede o no verter su caudal en el interior de la laguna determinando la distribución de sedimentos (Fig. 28).

La mayoría de las lagunas costeras se relacionan con el ascenso post-holocénico del mar, con el desarrollo penecontemporáneo de las llanuras costeras y de los sistemas fluviales y con la formación de barreras litorales e islas de barrera. Algunas lagunas pueden estar vinculadas con el crecimiento de barreras orgánicas y con la actividad tectónica local, independientemente del comportamiento del nivel del mar.

Cada sistema lagunar costero es el resultado de la estrecha interacción de los procesos geológicos, geográficos, climatológicos, oceanográficos, biológicos y químicos. Las fuentes de suministro de los sedimentos lagunares son: 1) la plataforma continental, al ser erosionada por el oleaje y las corrientes marinas y litorales; 2) los ríos y arroyos que vierten su caudal en la laguna o en sus inmediaciones; 3) los organismos animales y vegetales; 4) los cordones de dunas costeras y las antiguas líneas de playa, al ser erosionada la llanura costera por los vientos dominantes y de tormenta; y 5) el litoral, por la erosión del oleaje y de la marea.

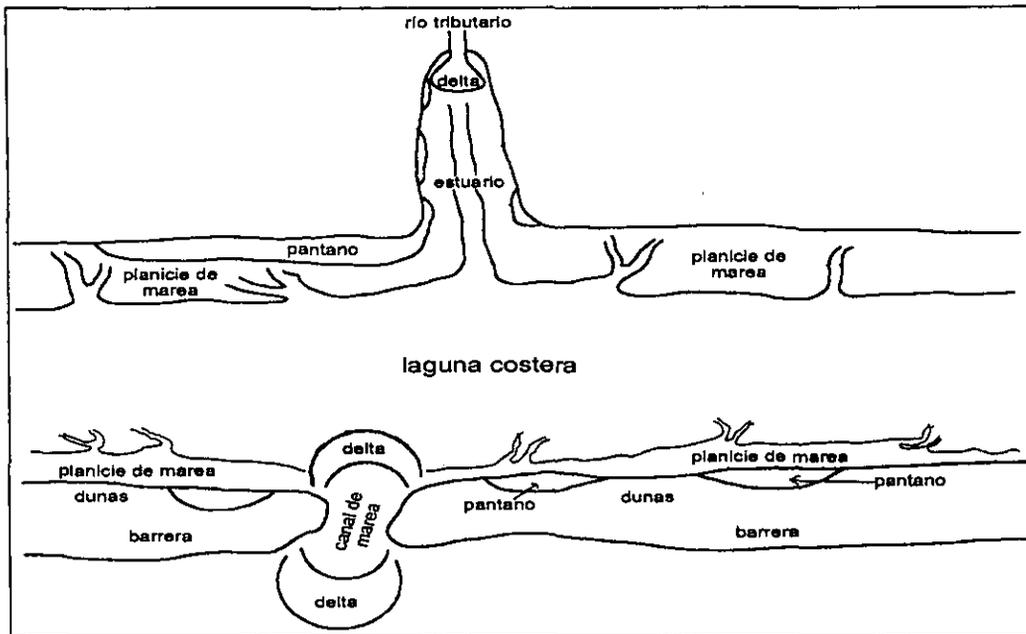


Fig. 27. Subambientes en la laguna costera. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

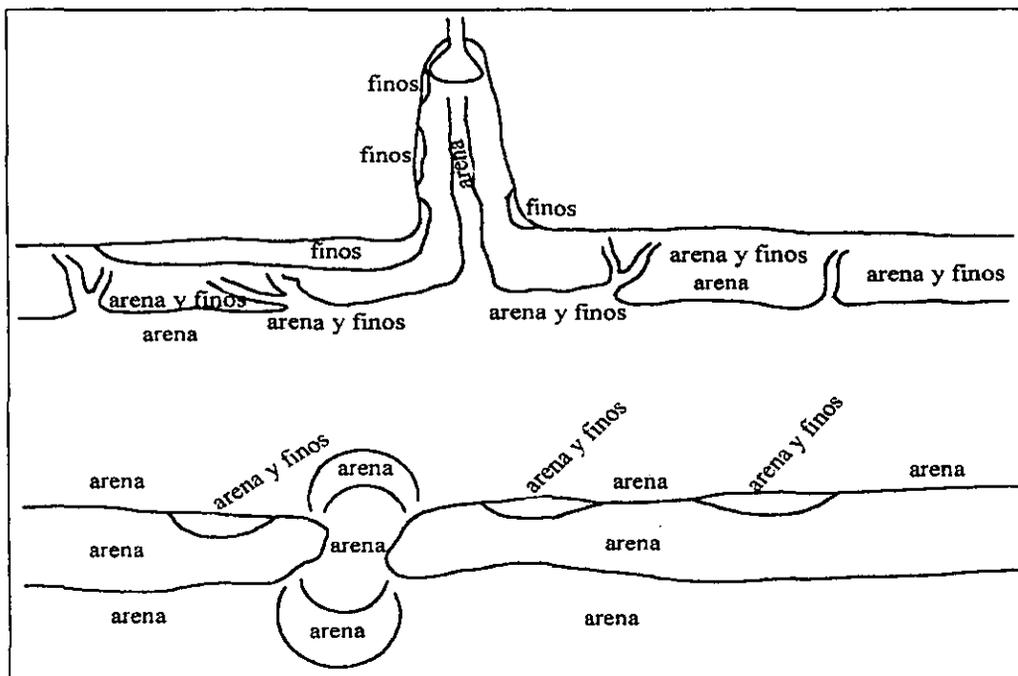


Fig. 28. Distribución de los tamaños de sedimento en el ambiente de laguna costera. Modificado de McCubbin (1981), en Scholle (1982).

LLANURAS DE INTERMAREA.

Son formas costeras de depósito dentro en las lagunas costeras y en los estuarios de marea constituidas por sedimentos arenoso y finos. Además de estar asociadas a estuarios, bahías, lagunas costeras y deltas dominados por mareas, pueden presentarse en costas abiertas; representan una superficie deposicional comprendida entre los niveles alto y bajo de las mareas, en costas dominadas por mareas, especialmente mesomareales y macromareales. Las llanuras más extensas corresponden con áreas macromareales mientras que aquellas más reducidas se desarrollan en zonas mesomareales. Texturalmente los sedimentos varían del tamaño de arena en la zona más próxima a la costa a limos y arcillas en las zonas más alejadas; este ambiente tiene la tendencia de no mezclar los tamaños de sedimento (Kennet, et al., 1982).

El movimiento de las masas de agua, por acción de las mareas, constituye el agente principal de transporte de sedimentos en la llanura. Estos son distribuidos en la zona intermareal desde el nivel bajo de marea a el nivel alto, dando lugar a tres sectores en los que los procesos dominantes varían del transporte por carga de fondo al transporte por suspensión (Weimer, et al, 1981; en Scholle, 1982).

Existen otros procesos que tienen lugar en las llanuras intermareales, unos están relacionados con los efectos de exposición a la atmósfera, tales como grietas de desecación en sedimentos fangosos, otros son debidos a la acción erosiva de las corrientes, sobre todo en los canales mareales (Davis, 1971).

En las llanuras de intermarea existen tres zonas bien diferenciadas: la supramareal, la intermareal y la submareal, que son disectadas por una red de canales mareales (Kennet, et al., 1982).

La zona supramareal únicamente es inundada por las mareas vivas y durante los periodos de temporal; está colonizada por vegetación aunque esta varía según el tipo de clima, no obstante la biodiversidad es escasa por lo que el retrabajo orgánico es poco. La bioturbación se limita a raíces y galerías espaciadas. Este es un ambiente de baja energía, por lo que los materiales gruesos (restos de conchas y plantas) traídos por tormentas no son transportados ni retrabajados en el pantano quedando éstos esparcidos en él; la principal estructura sedimentaria primaria presente es la laminación de arenas y lodos. El proceso de evolución de un pantano pasa por:

pantanos jóvenes, topográficamente bajos en relación al nivel de marea y asociados a las condiciones de estuario o marinas y, pantanos maduros, más altos topográficamente que los anteriores, influenciados por las condiciones terrestres. La maduración de un pantano queda reflejada en el estado de sucesión de animales y plantas y por su tamaño, posición y diferenciación. En términos geológicos la maduración implica un proceso de progradación por el que el pantano alto desplaza al pantano bajo tanto en sucesión vertical como lateral (Weimer, et al, 1981; en Scholle, 1982).

Por su parte la zona intermareal se inunda diariamente una o dos veces, según el régimen de mareas. En general presentan una distribución de sedimentos y de procesos dominantes (Fig. 30). De acuerdo con Weimer, et al., (1981; en Scholle, 1982), se pueden distinguir tres unidades en los casos más sencillos:

- 1) Llanura lodosa o alta: se ubica en la parte más interna y alta hacia el continente de la zona intermareas; no obstante su nombre, este tipo de llanura contiene apreciable cantidad de arena, aunque es dominada por finos depositados durante el nivel alto de la marea cuando las velocidades de corriente son mínimas. Se reconocen aquí estratificaciones lenticulares (Fig. 5) y contiene la mayor cantidad de bioturbación.
- 2) Llanura mixta o media: ocupa la parte central de las llanuras de marea y recibe tanto sedimentos en suspensión como por carga de fondo, por lo que su litología es mixta, compuesta por capas alternantes de arenas y lodos. Se generan en ella estratificaciones lenticulares (Fig. 8) y estratificaciones flaser (Fig. 7) pasando por todos los tipos intermedios, así como rizaduras y alta bioturbación.
- 3) Llanura arenosa o baja: permanece sumergida durante la mayor parte del ciclo mareal. Está constituida casi exclusivamente de arena de diferente tamaño de grano que se mueve como carga de fondo formando diversos tipos de lechos de tamaño variable sobre los que se superponen rizaduras de corriente con distintas orientaciones. En general presenta poca bioturbación.

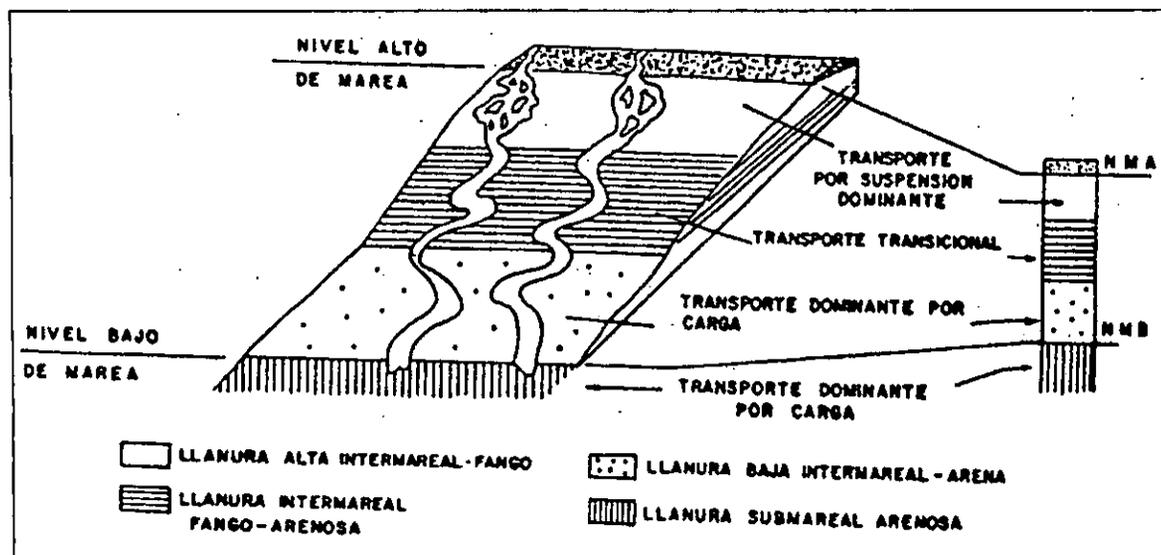


Fig. 30. Zonación vertical de las llanuras de marea. Tomado de Walker (1992).

La distribución de organismos bentónicos dentro de las llanuras de marea obedece a grados de salinidad, oleaje, corrientes, nutrientes, profundidad y sustrato. Generalmente las zonas de habitación (rango) son paralelas a la línea de costa y sus límites son perpendiculares a dicha línea; la zona de mayor densidad de organismos es la intermareal, siendo los icnofósiles los más abundantes en toda la llanura intermareal (Reison, 1992; en Waker, 1992).

En los ambientes donde la evaporación supera a la precipitación se tiene presencia de cristales de yeso, costras de sal y de minerales evaporíticos hacia la parte superior de la zona intermareal.

Las llanuras de marea pueden variar grandemente en su carácter sedimentológico, llegando a ser: evaporíticas, totalmente lodosas, totalmente arenosas o mixtas dependiendo de las condiciones ambientales del lugar.

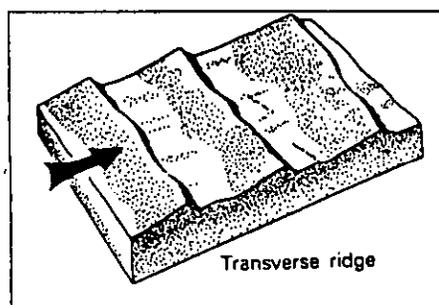
DUNAS COSTERAS.

Se define a una duna como un montículo, elevación o colina de arena transportada y depositada por el viento (Ahlbrand, et al, 1981; en Scholle, 1982).

Las dunas son muy comunes y se presentan casi en cualquier costa. Se forman donde hay un gran aporte de arena, viento para mover dicha arena y un lugar donde pueda ser acumulada.

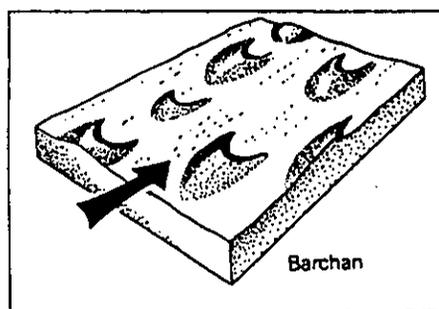
El aporte lo brindan las corrientes de deriva litoral, el oleaje y el viento que es originado por la diferencia térmica entre el agua y el continente, los cuales acumula la arena en la playa; por último las bajas pendientes de costas estables dan lugares amplios para la formación y acumulación de dunas (Ahlbrand, et al, 1981; en Scholle, 1982). Comúnmente las dunas se encuentran en grupos pero pueden presentarse aisladas.

Según Ahlbrand, et al. (1981, en Scholle 1982), con base en la forma de duna y orientación de crestas se tienen cuatro tipos básicos:



1) Transversal (Fig. 31): son dunas alargadas y casi rectas, orientadas perpendicularmente a la dirección dominante del viento. Se presentan regularmente espaciadas y separadas por anchos corredores. Son consideradas inestables variando a barján y longitudinales. Presentan estratificación cruzada tabular con inclinaciones de hasta 30° .

Fig. 31. Dunas Transversales. Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).



2) Barján (Fig. 32): son formadas por el viento de flujo unidireccional. Los extremos o cuernos migran a mayor velocidad que el cuerpo principal. Estas dunas pueden volverse complejas al chocar dos o más durante su migración. Generalmente muestran estratificación cruzada tabular con inclinación de 34° .

Fig. 32. Dunas barchán. Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

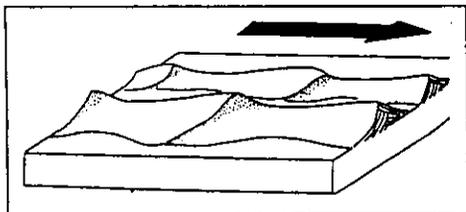
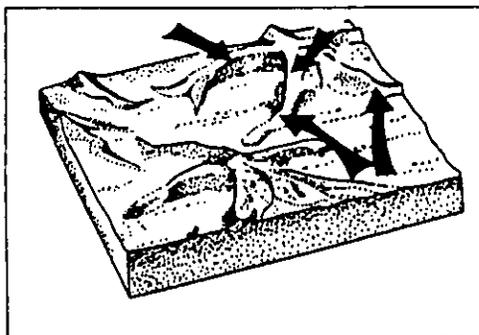


Fig. 33. Dunas longitudinales (seif).

Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

3) Longitudinales (Fig. 33): son dunas alargadas y con crestas semirectas con su eje mayor paralelo a la dirección principal del viento. Son continuas pero aserradas (con altos y bajos), algunas ocurren juntas y alineadas paralelamente, separadas por anchos corredores. Se originan durante fuertes vientos en una sola dirección, así los barjanes se forman con vientos suaves y las longitudinales con vientos de mayor intensidad. A mayor velocidad del viento estas dunas son más grandes y es mayor el espacio interdunas; con vientos bimodales se reduce la velocidad necesaria para formarlas. Presentan estratificación cruzada al depositarse la arena alternativamente a ambos lados de la duna.



4) Estrella (Fig. 34): son elevaciones de arena con una colina central a partir de la cual tres o más brazos de arena radian en diferentes direcciones; son el resultado de vientos que provienen de varias direcciones. En general cada brazo es producto de alguna dirección y posee frentes deslizantes bien desarrollados que se activan a diferentes tiempos.

Fig. 34. Dunas estrella. Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

De acuerdo con Ahlbrand, et al., las dunas evolucionan de acuerdo al patrón de viento (Ahlbrand, et al, 1981; en Scholle, 1982), así se tienen los siguientes desarrollos:

a) Régimen de viento unidireccional:

Transversal - Barján - Longitudinal.

b) Régimen de viento bidireccional:

Barján - Longitudinal.

c) Régimen de viento multidireccional o complejo:

Estrella.

Cada una de las formas anteriores puede variar grandemente en tamaño, por ejemplo los barjanes van desde algunos decímetros a decenas de metros. La duna estrella es la más alta pudiendo alcanzar 100 metros a la cima y es la que migra más lentamente.

Según Reineck (1975), con base en el número de frentes de deslizamiento (slipfaces) se presentan siete tipos principales de dunas:

- 1) Barján (pag. 45).
- 2) Longitudinal (pag. 46).
- 3) Transversal (pag. 45).
- 4) Parabólica. Son colinas de arena en forma de U con el lado cóncavo hacia el viento (Fig. 35). La parte media del cuerpo migra más rápido que los extremos ya que estos parecen estar anclados por vegetación provocando poco movimiento en los brazos. La estratificación cruzada es la más abundante y la laminación frontal presenta ángulos menores comparadas con otras dunas; la característica de su laminación y estratificación es su concavidad hacia abajo.

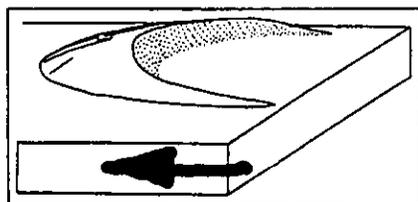


Fig. 35. Duna parabólica. Modificado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

- 5) Domo. Son pequeños montículos circulares de arena (Fig. 36). Al parecer se forman donde la altura de la duna es limitada por fuertes vientos sin obstrucción. Carecen de un

frente deslizando bien desarrollado y su laminación frontal presenta bajos echados 28° con estratificación cruzada de 30° .

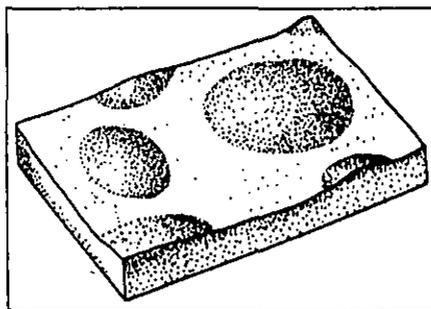


Fig. 36. Dunas en domo. Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

6) Estrella (pag. 46).

7) Reversibles. Son colinas de arena de altura inusual y poca migración (Fig. 37). Los cambios estacionales en la dirección del viento dominante producen el movimiento de la duna en direcciones opuestas alternativamente. Cambian del tipo barján al transversal; la estructura interna la controla una sola dirección y un frente deslizando está bien desarrollado al lado de otros frentes producto de las otras direcciones del viento.

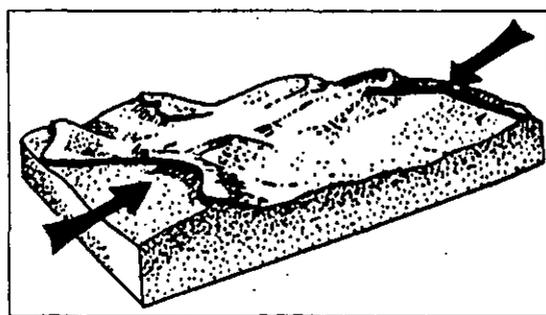


Fig. 37. Dunas reversibles. Tomado de Ahlbrand, et al. (1981), en Scholle (1982).

Los sedimentos en las dunas costeras corresponden con arena fina y media bien clasificada. En general estas arenas presentan mejor clasificación que las arenas de playa (Brookfield, 1990; en Waker, 1992). Dentro del arreglo interno, la característica más común es un abrupto lado a

sotavento y suave lado a barlovento, en el cual los granos se mueven por tracción y saltación; los principales tipos de estratificación dentro de la duna son: horizontal, ubicado comunmente en barlovento y en el área interdunas con laminación bien desarrollada, y cruzada debida a avalanchas en el sotavento con laminación de frente de deslizamiento; la estratificación cruzada se presenta tanto planar como lenticular (Ahlbrand, et al, 1981; en Scholle, 1982).

En este ambiente sedimentario es posible encontrar como estructuras sedimentarias primarias: huellas de organismos, rizaduras de viento, superficies de reactivación, marcas de lluvia y las ya mencionadas estratificación y laminación.

Cuando los cordones de dunas se encuentran sujetos a migración eólica se denominan dunas vivas, una vez que dicha migración ha cesado debido al surgimiento de vegetación rastrera y pastizales en las dunas, éstas se denominan dunas muertas, vegetadas ó viejas (Ahlbrand, et al, 1981; en Scholle, 1982).

EOLIANITAS.

En las regiones costeras tropicales de clima cálido húmedo o seco, es común que la arena esté formada por partículas de carbonato de calcio que, en condiciones favorables del régimen del viento dominante, forman dunas costeras denominadas eolianitas o dunas calcáreas. Este tipo de duna se forma cuando las acumulaciones eólicas de arena están en proceso de litificación debido a que la humedad ambiental es suficientemente alta y la aragonita original es capaz de disolverse; durante la estación seca, la intensa evaporación propicia la precipitación del CaCO_3 como calcita, cementando posteriormente los poros de las arenas calcáreas. Los procesos de formación y crecimiento de las eolianitas y las dunas de arena de cuarzo son similares. Mientras que la litificación de las eolianitas es permanente, la estabilización de las dunas puede suspenderse si la cubierta vegetal es destruida. Las eolianitas pueden presentar las mismas formas que las dunas, anteriormente descritas.

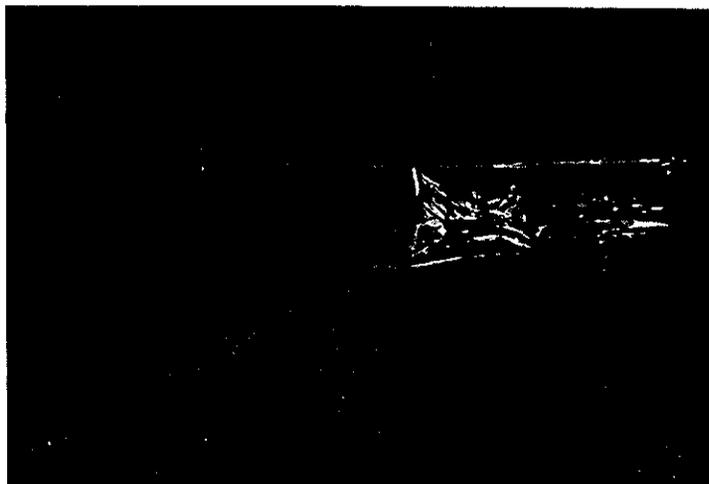
RESULTADOS.

IV. RESULTADOS DE CAMPO.

IV.1 DESCRIPCIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

A. AMBIENTE DE PLAYA.

Se analizaron los siguientes ambientes de playa: uno es la playa El Jiote de tipo terrígeno sobre la línea de costa; el otro es la playa arrecifal en la isla de Enmedio dentro del complejo arrecifal Antón Lizardo (fotografía 1).



Fotografía 1. Ambiente de playa en la isla de Enmedio.

La playa El Jiote presenta una morfología correspondiente con playa de plataforma continental estable y mar interior (fotografía 2).

De la anteplaya a la berma la pendiente es de 9° , disipándose ampliamente la energía de oleaje antes de llegar a la berma al tenerse cuatro líneas de rompiente en la cara de playa que corresponden con la posición de barras arenosas paralelas a la orientación de la playa; en la berma de la playa hay una acumulación de materiales negros, útiles para la identificación de esta

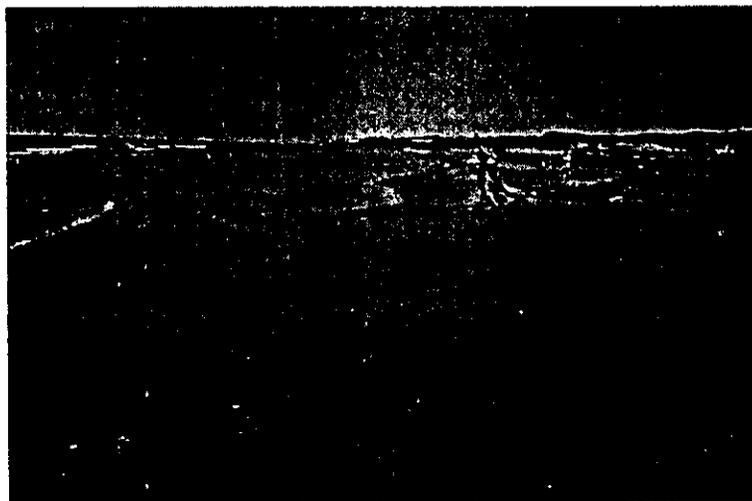
parte de la playa. Posterior a la berma la pendiente es de 2° , que corresponde con la postplaya, la cual es plana con un ancho de 50 m.

La continuidad lateral de la playa se ve interrumpida por la presencia, sobre la planicie de intermareas, de varios canales (≈ 10) de marea; la mayoría de los cuales de tan solo 10 m de longitud y ancho de 2 a 4 m, son rasgos locales que alteran tanto el frente de playa (con sus bocas o entradas) como la postplaya y llanura intermareas, pero sin alcanzar el campo de dunas; tan solo un canal presenta mayores dimensiones con una entrada de 10 m de ancho y longitud tal que se interna y disecta el campo de dunas adyacente a la playa; tanto en el como en los otros abundan estructuras sedimentarias primarias como rizaduras triangulares y galerías.

Desafortunadamente en la playa la acción de organismos no se limita a la bioturbación, ya que esta playa se encuentra fuertemente afectada por el hombre en diversas formas como: la basura (ampliamente distribuída), tanto doméstica en forma de plástico y restos orgánicos que se alínean en la planicie de intermareas en dirección paralela a la costa, e industrial con desechos de hidrocarburos y combustibles que han contaminado el mar en esta playa produciendo manchas de aceite tanto en el frente de playa como en los canales de marea. La contaminación natural se manifiesta en las acumulaciones de material producto de tormentas (fotografía 3). El nombre que se le ha dado a la playa es debido a que el nivel de contaminación del mar es tal, que no es recomendable a la salud ni bañarse ni mojarse en esta agua ya que afecta severamente la piel.

En la isla de Enmedio la playa presenta características diferentes a las de la playa El Jiote, ya que esta isla es de origen arrecifal.

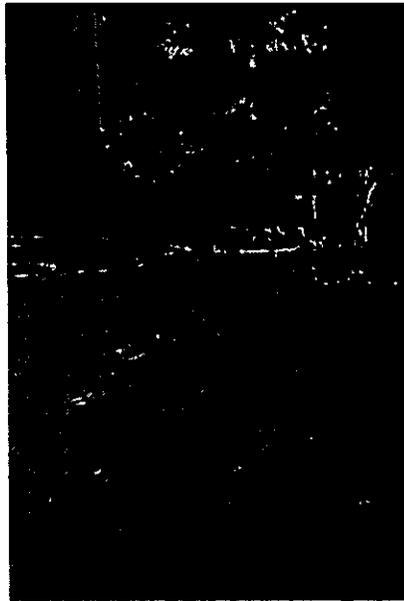
El principal material, tanto en el frente de playa como en la postplaya son arenas gruesas y medias compuestas de detritos coralinos y fragmentos de conchas texturalmente submaduros provenientes del arrecife. La pendiente en el frente de playa es de 15° (fotografía 4), y en él se presenta una sola línea de rompiente a 7 m de la primera berma; en este frente de playa existe un escarpe de erosión de 7 cm de altura producto de oleaje de tormenta (fotografía 5), se ubica a 2 m de la primera berma de playa.



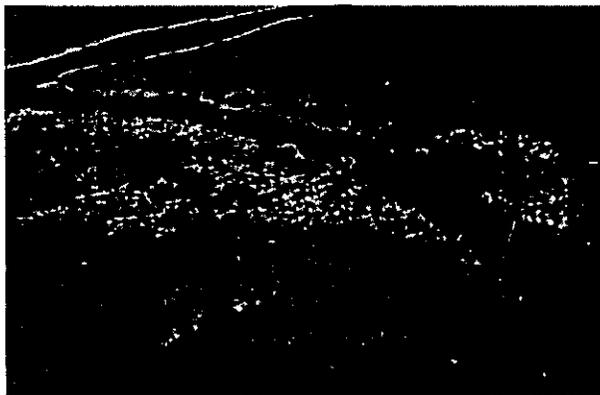
Fotografía 2. Morfología de la playa El Jote: pendiente suave con anchas zonas de anteplaya, frente de playa y postplaya.



Fotografía 3. Material acumulado por tormentas, utilizado como basureros.



*Fotografía 4. Berma en la
Isla de Enmedio.*



*Fotografía 5. Escarpe de erosión y acumulaciones de
material conchífero en la Isla de Enmedio.*

En la postplaya, cuya pendiente es de 2° y tiene un ancho de 5 m, se han desarrollado dos bermas con una distancia de 3 m entre ambas, siendo la berma interior la más antigua y la más erosionada, por lo que sus rasgos no son muy visibles.

Posterior a la postplaya existe un campo de dunas que ocupa la parte central de la isla (fotografía 6). Estas dunas están completamente vegetadas y alcanzan alturas de 2.5 m, todas presentan formas dómicas.

Las principales estructuras sedimentarias primarias en la isla son las alineaciones de detritos coralinos en el frente de playa y detrás de la berma producto del oleaje, y las rizaduras de crestas onduladas distribuidas tanto en la postplaya como en las dunas.

Afortunadamente este sitio no es muy frecuentado por el hombre debido a su lejanía (45 min en lancha desde el Puerto de Veracruz) y la única infraestructura del lugar es un rústico embarcadero y un faro, por lo que la contaminación y alteración antrópica del ambiente es mínima, permitiendo mantener íntegra su belleza natural.



Fotografía 6. Duna vegetada con rizaduras de viento sobre su superficie en la postplaya en la Isla de Enmedio.

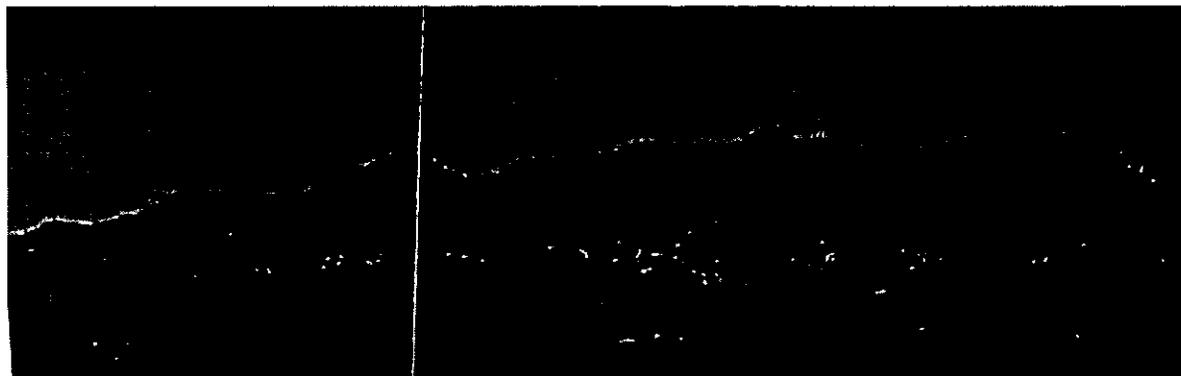
B. CAMPO DE DUNAS.

Al final de la postplaya se presenta un campo de dunas cuya anchura es de varios kilómetros hacia tierra y su longitud es de decenas de kilómetros, ya que es paralelo a toda la costa en esa zona de Veracruz; en este campo existen varios tipos de dunas como son: dunas barjanas, dunas transversales (cercanas a la costa), dunas longitudinales (hacia la parte interior) y dunas en domo,

alcanzando elevaciones de 4 y 5 metros. Todas se encuentran ya vegetadas, es decir, son dunas fósiles (fotografía 7).

En fotografías aéreas se observa que estas dunas forman un sistema, hacia el interior del continente, de megarizaduras linguales orientadas perpendicularmente a la línea litoral y cambia hacia la costa a megarizaduras onduladas con líneas de crestas paralelas a la playa.

El criterio útil para distinguir los subambientes, es el de las estructuras sedimentarias primarias, ya que en las dunas se presenta estratificación cruzada y la bioturbación se debe principalmente a raíces, mientras que en la playa no se presenta ni estratificación ni laminación, salvo en un horizonte de arenas calcáreas y la bioturbación es originada por barrenos y madrigueras de cangrejo.



Fotografía 7. Campo de dunas estabilizadas por vegetación xerófila en la playa El Jiote.

C. LAGUNA COSTERA MANDINGA.

Su forma es triangular con la punta en dirección a la playa y su eje mayor, de 6 km de longitud, perpendicular a ésta; el eje menor tiene una longitud de 4 km. Asociada a esta laguna existe otra menor, también de forma triangular, con su eje mayor de 2 km de longitud, paralelo a la playa, por lo que las puntas de ambas lagunas convergen.

Alrededor de la laguna se han desarrollado pantanos de mangle negro (*Avicennia nitida*) y mangle rojo (*Rizophora mangle*), sobre sedimentos de arena media con abundancia de minerales

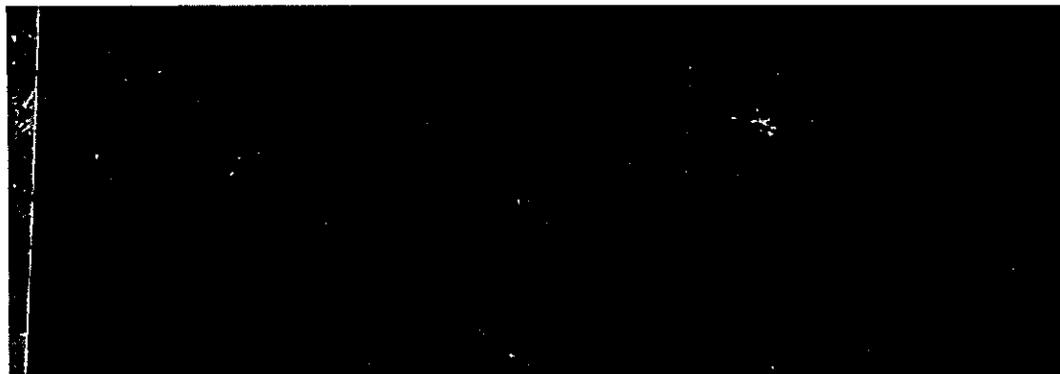
oscuros (fotografía 8); estos pantanos no forman un cinturón continuo que rodea ambas lagunas, sino que se desarrollan en áreas locales, como en la que se cavó la zanja No. 4; dentro de esta área de pantano se apreció ciclicidad en la secuencia de sedimentación.

Este ambiente lagunar es explotado por el hombre; en él se desarrollan actividades como el turismo, la pesca y el trabajo de la tierra como banco de material, debido a ésta última actividad, las dunas que rodean a la laguna han sido explotadas haciendo taludes en ellas, los cuales muestran estructuras sedimentarias primarias dentro del cuerpo de estas como estratificación cruzada a sotavento (fotografía 9).

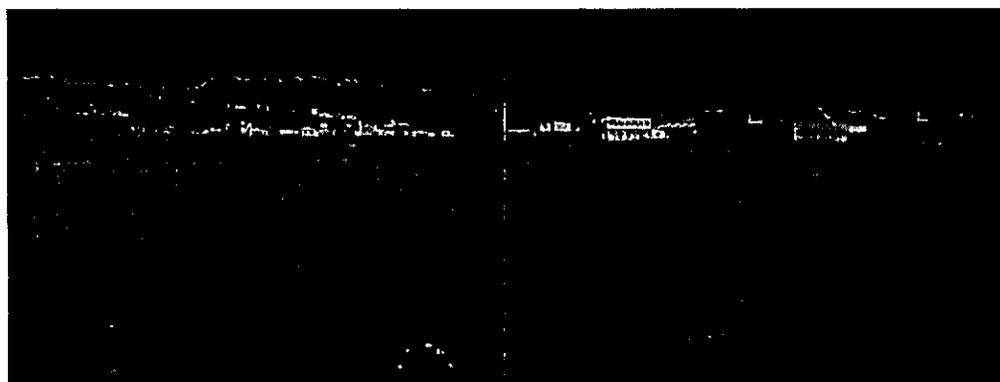
Debido a la demanda de terrenos aptos para la construcción, se le ha ido ganando espacio al pantano al privarlo de vegetación y al rellenar y nivelar con arena extensas zonas en la orilla de la laguna (fotografía 10). En estas zonas ya niveladas (terraplenes) se forman estructuras sedimentarias primarias como: rizaduras onduladas de viento, marcas de gotas de lluvia y costras por evaporación. Es difícil determinar el impacto a medio y largo plazo que esta actividad humana tiene sobre el ambiente global de la laguna.



Fotografía 8. Mangle rojo y negro en la orilla de la laguna de Mandinga, dentro del ambiente palustre.



Fotografía 9. Dunas explotadas como banco de material, donde se aprecia su estratificación interna.



Fotografía 10. Terraplén antrópico en Mandinga sobre el cual se realizan nuevas obras de vivienda.

IV.2 DESCRIPCIÓN DE ZANJAS.

Durante el trabajo de campo se cavaron cinco zanjas en las localidades donde se recolectó muestra, cuyo objetivo es la descripción de estructuras sedimentarias primarias (las cuales se acentúan al actuar el viento en las zanjas durante algunos minutos) y la observación de la historia reciente de la playa al exponer en sección los estratos superiores de la secuencia de playa. Las zanjas y los puntos de muestreo se ubican en las figuras 42, 43 y 44 :

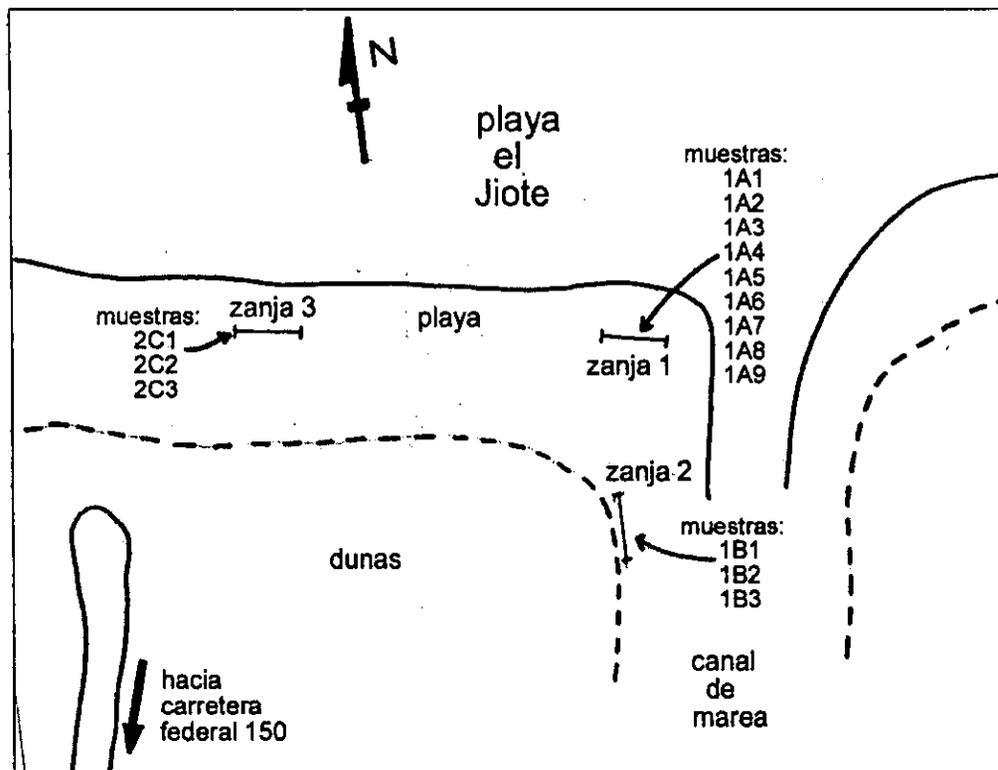


Fig. 42. Localización de zanjas en la playa El Jote.

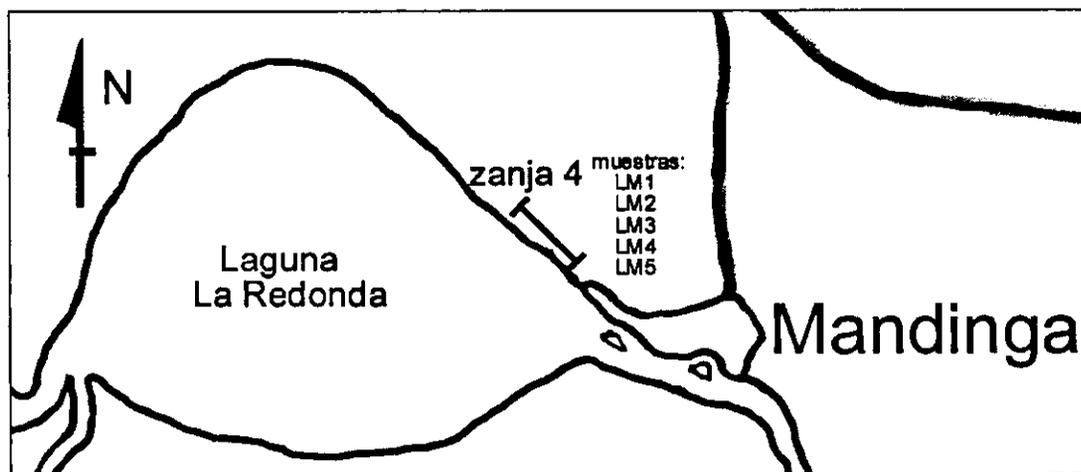


Fig. 43. Localización de la zanja 4 en la laguna de Mandinga.

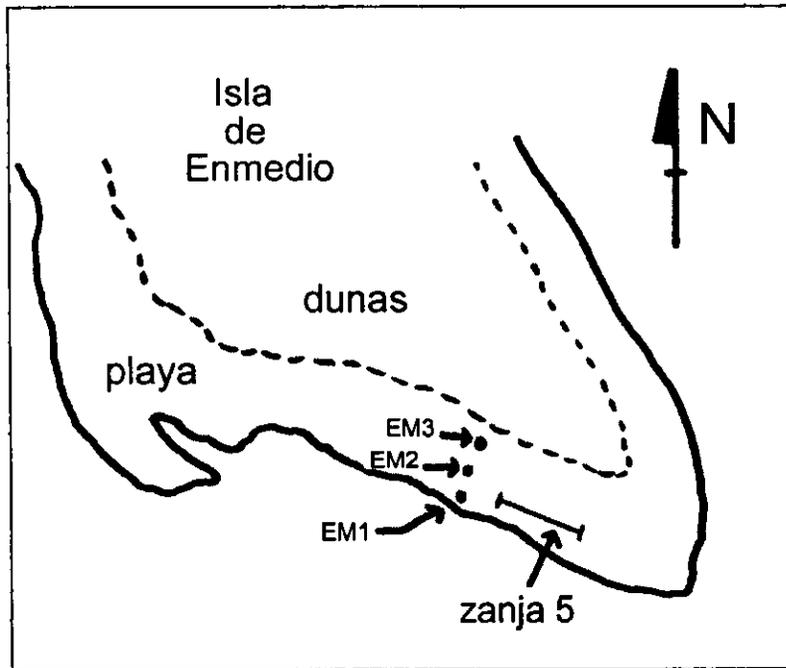


Fig. 44. Ubicación de la zanja 5 en la isla de Enmedio.

ZANJA 1.

Esta primera zanja se cavó en la postplaya a 3 m de la berma y paralela a la línea litoral (orientación E-W) alcanzando una profundidad de 80 cm y una longitud de 2 m. De aquí se colectaron las muestras: 1 A1, 1 A2, 1 A3, 1 A4, 1 A5, 1 A6, 1 A7, 1 A8 y 1 A9.

La arena es de color pardo oscuro (húmeda) y pardo claro (seca); no presenta estratificación ni laminación debido a que el material es muy homogéneo y el grado de sedimentación es alto, derivando en falta de tiempo para el desarrollo de tales estructuras.

El principal rasgo observado es un horizonte de arena calcárea ubicado a una profundidad de 40 cm de la superficie y con un espesor de 8 mm (fotografía 11). Este horizonte aflora en el frente de playa donde se tiene el máximo alcance del oleaje, justo debajo de la berma.

A la profundidad de 74 cm se tiene agua marina, indicativo del nivel medio del mar. Hacia la parte derecha de la zanja hay madrigueras de cangrejo que producen bioturbación en el horizonte de arena calcárea.



Fotografía 11. Pared norte en la zanja 1. Resalta en la parte media el horizonte de arena calcárea.

ZANJA 2.

Ubicada al sur de la zanja 1 y justo en el pie del campo de dunas; la orientación de esta zanja es perpendicular a la línea litoral, es decir N-S, con una profundidad de 1 m y un ancho de 2 m.

El material es arena de color pardo claro y pardo oscuro intercalados, formando laminas.

Contiene tres estratos diferenciados entre sí, por laminación cruzada plana de 18° de inclinación en el estrato medio. El estrato superior (fotografía 12) tiene un espesor de 15 cm, el medio de 30 cm y el inferior de 30 cm (a partir de este espesor y hacia abajo, el material es homogéneo sin estratificación).

Se tiene una estructura de corte y relleno donde el estrato inferior fue erosionado 10 cm por el estrato que lo sobreyace, indicando aumento en la energía del ambiente cuando se presenta la erosión y disminución al momento de depositarse láminas sobre la parte erosionada (fotografía 13).

Existe bioturbación representada por madrigueras de cangrejo que distorsionan las láminas, principalmente en el estrato inferior. En los estratos medio y superior afloran raíces pertenecientes a la vegetación que mantiene fijadas a las dunas.



Fotografía 12. Laminación cruzada plana dentro de la zanja 2.

ZANJA 3.

Cavada a 2 m de la berma de playa, con profundidad de 60 cm y longitud de 2 m. La arena tiene las mismas propiedades de color, texturales y de tamaño con la de la zanja 1, pero con la diferencia de que en este sitio hay mayor número de conchas y fragmentos de ellas, formando un horizonte de 6 cm de espesor y a 12 cm de profundidad; este es el único rasgo distintivo de la zanja, ya que subyaciendo y sobreyaciendo al horizonte conchífero la arena no forma estructura sedimentaria alguna; la zanja alcanza los 38 cm de profundidad donde se tiene el nivel medio del mar (fotografía 14).

ZANJA 4.

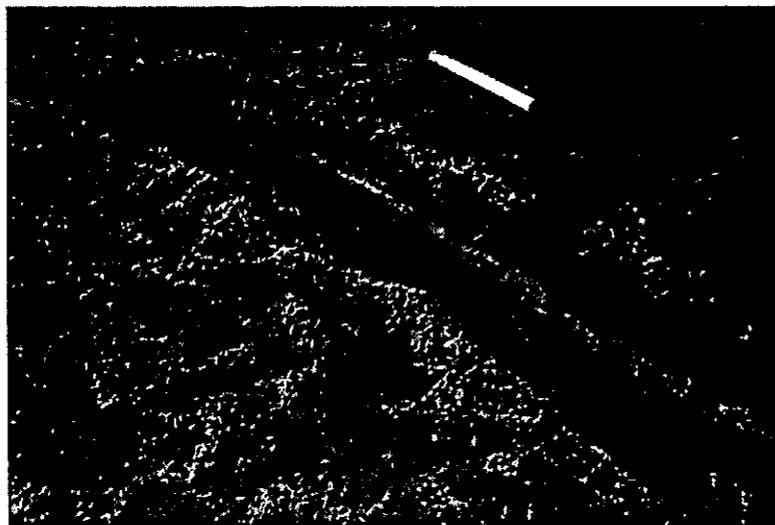
Cavada en la orilla de la laguna de Mandinga dentro del ambiente sedimentario de pantano. Debido a la densidad de raíces de mangle solo se logró una profundidad de 15 cm.

El material presente es arena media y fina, texturalmente madura, de color pardo oscuro y negro. Se tiene estratificación delgada con espesor promedio de 2.5 cm, producto de mareas; alternan estratos pardos con estratos negros y límites graduados entre ellos (fotografía 15).

En el piso de la zanja aflora el nivel medio del agua de la laguna.



Fotografía 13. Pared occidental en la zanja 2 mostrando laminación y bioturbación.



Fotografía 14. Interior de la zanja 3. Únicamente se aprecia el horizonte medio de arena calcárea.



Fotografía 15. Intercalación de bandas de color dentro de la zanja 4.

ZANJA 5.

Realizada en la playa sur de la isla de Enmedio en la zona de postplaya a 1 m de la berma. Todo el material es masivo sin ninguna estructura diferenciable. El nivel medio del mar se tiene a 60 cm de profundidad.

IV.3 DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS.

RIZADURAS.

Las rizaduras son el tipo más frecuente de estructuras sedimentarias primarias observadas en los distintos ambientes estudiados en el presente trabajo. Se registraron tanto rizaduras de oleaje y marea como rizaduras de viento, variando en tamaño desde rómbicas a megarizaduras (dunas). A través de todos los ambientes las rizaduras evolucionan de un tipo a otro, desarrollándose así, distintas rizaduras en un mismo lugar, por lo que no existen zonas exclusivas con solo un tipo de ellas, sino que se dan transiciones.

RIZADURAS DE CRESTAS RECTAS.

Se observan en la anteplaya y en el frente de playa, en zonas abiertas que se mantienen siempre inundadas.

Las líneas de crestas son continuas en el orden de decenas de metros ondulándose en determinados segmentos; cuanto más cerca se encuentran de la zona intermareal presentan mayores discontinuidades. Su orientación es paralela a la línea de costa, es decir E-W.



*Fotografía 16. Rizaduras de oleaje con crestas rectas
bifurcadas.*

La separación entre crestas, en el frente de playa, es de 7 a 10 cm y la altura de las rizaduras de 2 a 4 cm; tanto el oleaje como la marea forman, en la playa El Jiote, rizaduras de crestas rectas. En las de oleaje se aprecia bifurcación de crestas (fotografía 16) y las de corriente se identifican por las curvas de sus líneas de crestas (fotografía 17).

En las entradas de los canales de marea se observan rizaduras de transición entre rectas y onduladas; algunas de ellas con crestas gruesas de 5 cm de ancho, separación entre crestas de 10 cm y altura de 3 cm.



Fotografía 17. Rizaduras de crestas rectas con acumulación de minerales oscuros en el sotavento. Playa El Jiote.

Entre las dunas costeras (en los valles interdunas), hay rizaduras de crestas rectas originadas por el viento, solo que en ellas las líneas de crestas son continuas por un metro o dos; la distancia entre crestas es de 2 a 5 cm y su altura de 1 a 2 cm. Estas rizaduras de viento tienen también la bifurcación de crestas, señalada en la teoría como exclusiva de las rizaduras rectas de oleaje; por lo que la sola presencia de estas bifurcaciones no es un rasgo indicativo de un solo agente generador.

RIZADURAS ONDULADAS.

Se forman en la zona intermarea y en los canales de marea; durante la marea baja, algunas quedan expuestas subaéreamente. Son de crestas discontinuas y continuas con segmentos cortos. La separación de crestas es de 5 cm y la altura del valle a la cresta es de 0.7 a 2 cm; algunas crestas tienen 3 cm de ancho. Forman lentes alargados en dirección N-S (fotografía 18).

En la parte más interior de los canales de marea se observan rizaduras de transición entre las de crestas onduladas y las triangulares.



Fotografía 18. Rizaduras onduladas con crestas bifurcadas al pie del campo de dunas en la playa El Jiole.

RIZADURAS TRIANGULARES.

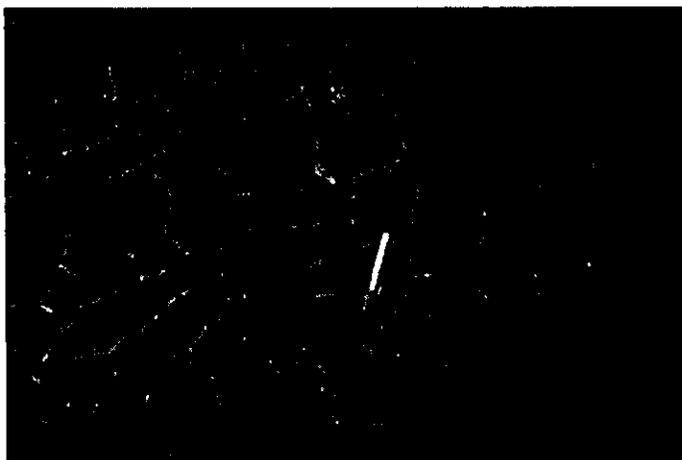
Se desarrollan en la parte interior de los canales de marea; se agrupan en pequeños lentes de 1.0 m x 0.5 m con orientación E-W; cada rizadura mide en promedio 13 cm x 7 cm con el vértice orientado hacia el interior del canal de marea (fotografías 19, 20 y 21). Algunas presentan también marcas de corriente y montículos de entrada de madrigueras de cangrejo.

RIZADURAS ONDULADAS DE VIENTO.

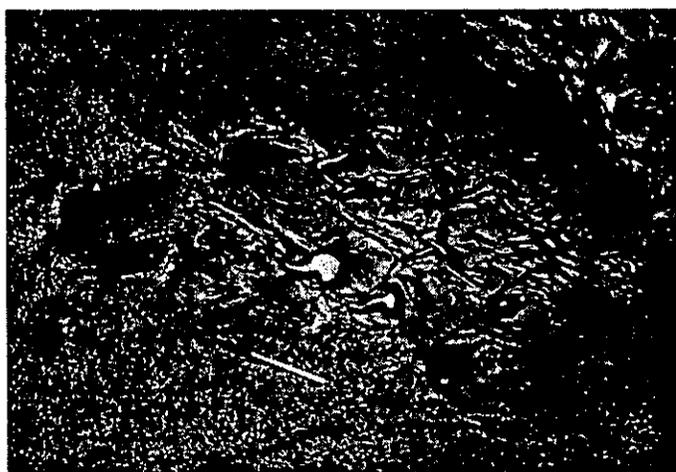
En la playa El Jiole estas rizaduras se forman en la postplaya, entre la berma y el pie del campo de dunas; son rizaduras de crestas onduladas, pero a diferencia de las de oleaje y marea, sus líneas de crestas son muy discontinuas y no son paralelas entre sí, además de no tener una orientación preferencial. La altura de valle a cresta es tan solo de milímetros.

En el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga, estas rizaduras onduladas son también de crestas muy discontinuas y oblicuas entre sí, sin orientación general de toda el área. La

distancia general de crestas es de 4 cm y su altura varía de 1 cm a milímetros. Su distribución es amplia en dicho terraplén y se les superponen otras estructuras como gotas de lluvia y costras de desecación (fotografía 22).



Fotografía 19. Conjunto de rizaduras triangulares en la parte más interior de un canal de marea de la playa El Jote. Son relativamente escasas en comparación con las rizaduras onduladas.



Fotografía 20. Rill marks que han generado rizaduras triangulares. Rasgo muy particular en el frente de playa en El Jote.



*Fotografía 21. Rizadas triangulares
en canal de marea de la playa El Jote.*



*Fotografía 22. Rizadas de viento en el
terraplén antrópico de Mandinga.
Condiciones totalmente subaéreas.*

En la isla de Enmedio se desarrolla este tipo de rizaduras entre la berma y el campo de dunas, siendo apenas perceptibles ya que la distancia entre valles es en promedio de 15 cm y su altura de 2 cm. No hay líneas de crestas bien definidas y su distribución es escasa.

Las que se desarrollan sobre las dunas tienen alturas de 4 cm y carecen también de líneas de crestas; su apariencia general es la de pequeños montículos de arena.

RIZADURAS TRIANGULARES DE VIENTO.

Ubicadas junto a las rizaduras onduladas pero en las zonas más interiores de la postplaya; sus crestas se acentúan debido a la acumulación de material oscuro en ellas. La altura promedio de cada rizadura es de 8 mm y las líneas de crestas, si bien muy discontinuas, presentan una orientación general de E-W; son rasgos muy locales.

OTROS TIPOS DE RIZADURAS.

Sobre la playa El Jiote, en la parte más interior de un canal de marea de 15 m de largo y 3 m de anchura, se registraron rizaduras rómbicas; las líneas de crestas se entrelazan en ángulos de 60° a 90° , formando una red de rizaduras en dirección del interior del canal. La separación de crestas es de 5 cm y la altura entre valle y cresta es del orden de milímetros; los ejes principales de los rombos varían entre 10 y 6 cm. Son un fenómeno muy local indicativo de flujo muy somero y de baja energía.

En el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga, a un lado del pantano, algunas de las dunas presentan en su lado de barlovento rizaduras escalantes (climbing ripples); son de crestas irregulares con una altura valle a cresta de 7 a 15 cm. Estas rizaduras pueden clasificarse por su forma como triangulares, pero su característica distintiva es que se forman sobre otras rizaduras (dunas) y migran más rápidamente que éstas, por lo que avanzan hacia su cima, de ahí su nombre (fotografía 23).



Fotografía 23. Rizaduras escalantes sobre dunas en el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga.

MARCAS DE CORRIENTE.

La zona donde se desarrollan estas estructuras es entre la berma y el límite de océano, esto es, en el frente de playa; las más abundantes son las de tipo flauta, que se forman en zonas planas y sin rizaduras por todo lo largo de la berma; estas están orientadas con su eje mayor perpendicular a la línea litoral, su vértice se encuentra en la parte interior del frente de playa (hacia la berma) y se abren en dirección del océano con un ángulo de entre 15° y 30° . Sus límites son difusos y se superponen unas a otras, por lo que, no es viable cuantificar su longitud y espesor.

Junto a las marcas tipo flauta se localizan las marcas de objetos, que se generan en los lugares donde diversos obstáculos como conchas, entradas de madrigueras de cangrejo y basura antrópica, resisten el flujo de resaca del oleaje (fotografía 24). Las que se forman por conchas presentan una bifurcación de la estela justo detrás de ésta y se abren con ángulos de 30° . Las generadas por entradas de madrigueras no se bifurcan, sino que, forman una sola estela cuya longitud varía de 20 cm hasta 1 m, teniendo su parte más ancha en la entrada de la madriguera o justo detrás de ella. Las creadas por basura presentan formas muy variadas debido a la diversidad de objetos antrópicos; algunas son de tamaño milimétrico producidas por vidrio y corcholatas, mientras que en otras, su longitud es de varios metros ya que los objetos que las producen son

trocos y objetos antrópicos mayores, los cuales producen oradaciones en la arena conforme se desarrolla la estructura (fotografía 25).

MARCAS DE OLEAJE.

Se presentan entre el oleaje y la berma: en el frente de playa. En la playa El Jote, son líneas sinuosas de acumulaciones de conchas con amplia continuidad lateral (15 m). En esta playa se observan también alineaciones debidas a mareas, las cuales son considerablemente más rectas que las marcas de oleaje, si bien tienen la misma orientación; estas marcas de marea son acumulaciones de materiales oscuros claramente contrastantes con el resto de las arenas de playa (fotografías 26 y 27).

En la playa de la Isla de Enmedio tanto las marcas de oleaje como las marcas de marea están formadas por concentraciones de detritos de coral, restos de conchas y fragmentos de plantas; su orientación también es paralela a la línea de costa y ocurren entre la berma y el océano; son de mayor continuidad lateral llegando a abarcar todo el largo de la playa (fotografía 28).

RILL MARKS.

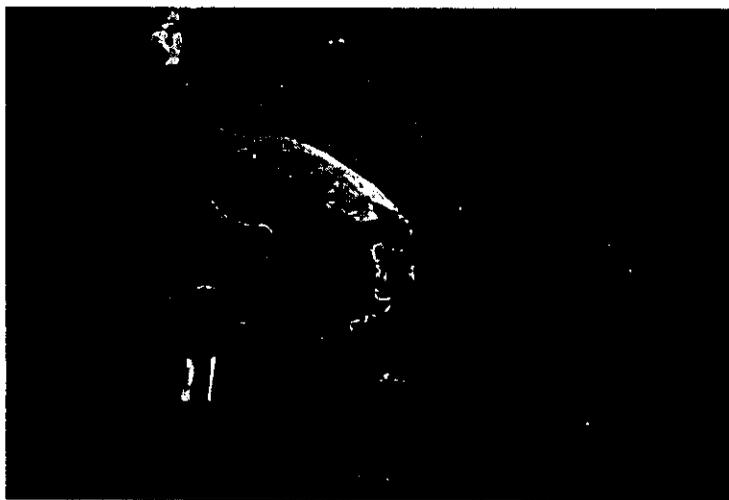
Este tipo de marcas son un rasgo muy local dentro de todo el ambiente de playa; se registraron entre la berma y el océano en la playa El Jote. Sus formas dendríticas se orientan perpendicularmente a la berma abarcando un área de 0.5 x 1.5 m en algunos casos y de 15 x 60 cm en otros (fotografía 29).

MARCAS DE GOTAS DE LLUVIA.

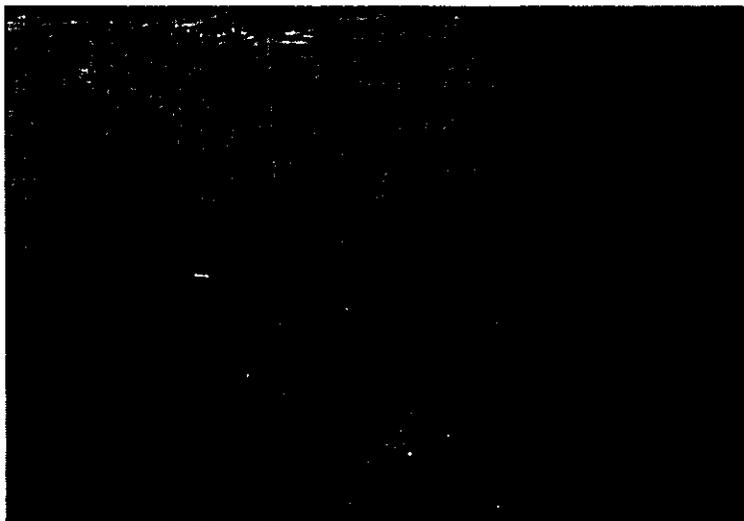
Son también rasgos muy locales que se presentan en pequeñas zonas de varios decímetros cuadrados, tanto en la playa El Jote, como en el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga; la densidad de marcas es alta, observándose superposición en ellas, por lo que su apariencia general es muy similar al acabado llamado "tirol" (fotografía 30).



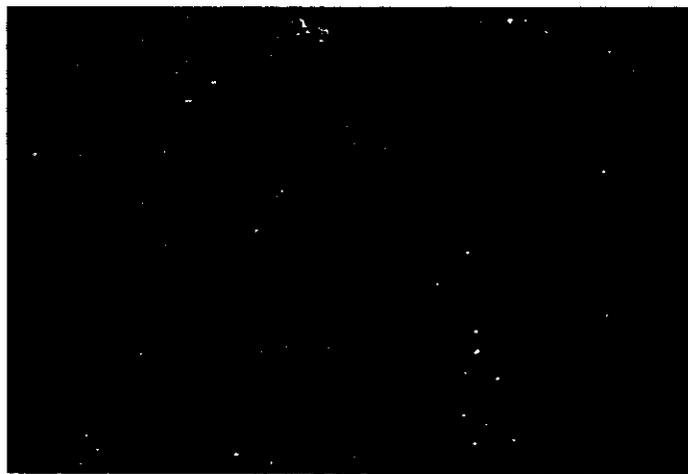
Fotografía 24. Marcas tipo flauta y de objetos al pie de la berma (sobre el frente de playa) en El Jote.



Fotografía 25. Tronco generando marcas de objeto sobre la playa El Jote. Se aprecia el escarbe en el lado de barlovento y la acumulación de arena en el sotavento.



Fotografía 26. Marcas de oleaje compuestas de detritos de conchas y minerales oscuros sobre el frente de playa en El Jote.



Fotografía 27. Alineaciones de detritos de coral y conchas sobre la playa de la isla de Enmedio.



Fotografía 28. Vista general de las alineaciones por oleaje en la Isla de Enmedio.

COSTRAS DE DESECACIÓN.

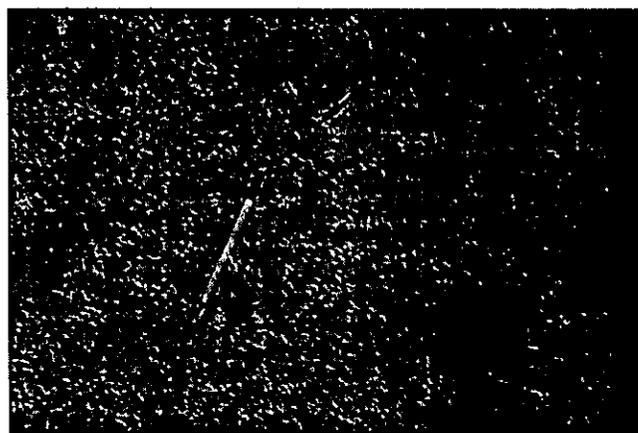
Si bien no están clasificadas en los textos como estructuras sedimentarias primarias, son rasgos indicativos de condiciones atmosféricas en las cuales la evaporación es mayor al grado de precipitación por algunos periodos de tiempo, y de la movilidad del agua dentro del sedimento; su apariencia es de láminas superpuestas con bordes sinuosos e irregulares, de continuidad lateral de varios metros y orientaciones muy variables.

En la playa El Jiote ocurren, entre la berma y el campo de dunas, en zonas donde se han desarrollado canales de marea; se componen de 1 a 9 láminas.

En el terraplén de la laguna de Mandinga son más locales y en general se forma una sola lámina o costra, pero con grosor de hasta 4 cm (fotografía 31).



Fotografía 29. Conjunto de estriaciones (rill marks) producto del flujo de resaca en el frente de playa en El Jote.



Fotografía 30. Marcas de gotas de lluvia sobre el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga. La densidad de marcas es muy alta al grado de encimar cráteres.



Fotografía 31. Costras de desecación en el terraplén antrópico de la laguna de Mandinga. Nótese el espesor de las costras.

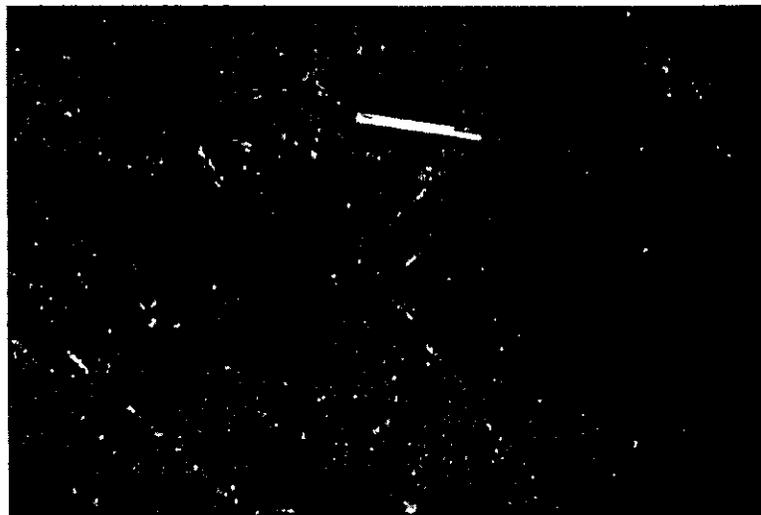
BIOTURBACIÓN.

En la playa El Jiote las estructuras de bioturbación son abundantes; si bien son pequeñas y la mayoría de ellas se deben a la actividad de cangrejos. El tipo de estructura se relaciona con la zona de la playa, así entre la berma y el campo de dunas es donde más abundan las huellas de estos animales, las cuales forman bandas de entre 4 y 12 cm de ancho cada una con longitud muy variable, al igual que su orientación. Generalmente su inicio es en la berma o en un canal de marea y terminan en los orificios de entrada de madrigueras. En la zona intermareal del océano, las estructuras biogénicas más abundantes son los montículos de arena que forman organismos como caracoles, gusanos y cangrejos, al hacer sus madrigueras; estos montículos tienen un tamaño de entre 3 y 12 cm de diámetro y alturas muy diversas en rangos de milímetros hasta 6 cm; su distribución es azarosa y se esparcen por todo el frente de playa. Los montículos hechos por caracoles tienen la característica de que el orificio de entrada se ubica en la cima de éste (fotografía 32). Otros montículos de arena se presentan en la postplaya, los cuales son hechos exclusivamente por cangrejos, en ellos el orificio de entrada está en una orilla; por lo general son de mayores dimensiones que los del frente de playa, algunos con un radio de 30 cm y altura de 15 cm. En el frente de playa se registran estructuras del tipo pistas, las cuales son zurcos dejados

por caracoles al arrastrarse en la arena. Son rasgos locales, de longitud en el rango de centímetros y espesor en milímetros. Al final de la pista se observa el caracol que genera la estructura, por lo que estas están aún en formación (fotografía 33).



Fotografía 32. Montículos producto de entradas de madrigueras de gusanos y cangrejos en el frente de playa El Jiote.



Fotografía 33. Pistas aún en formación; pueden observarse los organismos que las forman en el frente de playa en El Jiote.

V. ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Durante el trabajo de campo y como uno de sus objetivos, se recolectaron muestras del sedimento presente en los distintos ambientes estudiados; estas muestras se obtuvieron dentro de las zanjas cavadas (a excepción de las muestras en la isla de Enmedio las cuales se tomaron directamente en la superficie de la playa).

En la zanja 1 se tomó muestra desde la superficie (muestra 1A1) hasta una profundidad de 75 cm (zanja 1A9) con intervalo de profundidad entre muestreos de 10 cm.

Dentro de la zanja 2 se tomaron tres muestras (1B1, 1B2 y 1B3) cada una correspondiendo con un evento de depósito.

Al ser la zanja 3 homogénea y presentar sólo un horizonte distintivo (arena calcárea), las muestras obtenidas corresponden: una con depósito anterior al horizonte (muestra 2C1), otra con el propio horizonte (muestra 2C2) y la última con el depósito posterior al horizonte (muestra 2C3).

En la laguna de Mandinga se obtuvieron, de la zanja 4, las muestras: LM1, LM2, LM3, LM4 y LM5; cada una correspondiendo con una banda de color dentro de dicha zanja.

Las muestras de la isla (EM1, EM2 y EM3) se tomaron directamente en la superficie de la playa, ya que la zanja 5 ahí cavada no muestra ninguna estructura ni rasgo distintivo.

V.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

Este análisis consistió en procesar las muestras de sedimentos, para su separación granulométrica en el tubo de Emery de sedimentación. Sólo la muestra 2C2 requirió de un tamizado previo, ya que algunos de sus fragmentos corresponden con el tamaño de gravas. La muestra EM1 no se procesó en el tubo de Emery debido a que sus granos son fragmentos de coral del tamaño de gravas.

Del procesamiento en el tubo de Emery se obtuvieron los datos de altura acumulada de sedimentación para cada tiempo según la temperatura del agua (Malpica, et al., 1993). Con estas

alturas se realizó el cálculo para establecer medidas texturales y las variables estadísticas: media, varianza, asimetría, desviación estándar y curtosis, y poder así clasificar las muestras de acuerdo a esos parámetros.

Se definió, para cada muestra:

- Mediana (50%): $Md\phi$
- Percentiles: $\phi_5, \phi_{16}, \phi_{25}, \phi_{50}, \phi_{75}, \phi_{84}, \phi_{95}$
- Diámetro promedio gráfico: $Mz = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$
- Índice de desviación estándar: $\sigma_1 = [(\phi_{84} - \phi_{16}) / 4] + [(\phi_{95} - \phi_5) / 6.6]$
- Índice de asimetría: $Sk_1 = [(\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{84} - \phi_{16})] + [(\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2(\phi_{95} - \phi_5)]$
- Curtosis gráfica: $K_G = (\phi_{95} - \phi_5) / 2.44(\phi_{72} - \phi_{25})$
- Curtosis corregida: $K'_G = K_G / 1 + K_G$

Obteniéndose así los valores de la tabla I y clasificando a las muestras como se observa en la tabla II. Con los parámetros estadísticos se obtuvieron las gráficas de porcentaje acumulado para cada muestra (pag. 82, 83, 84 y 85).

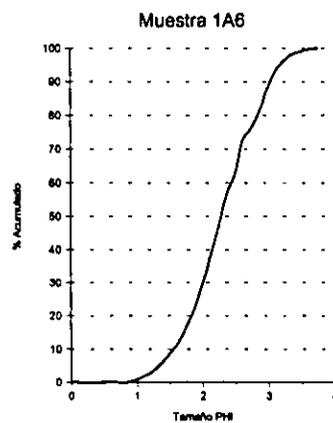
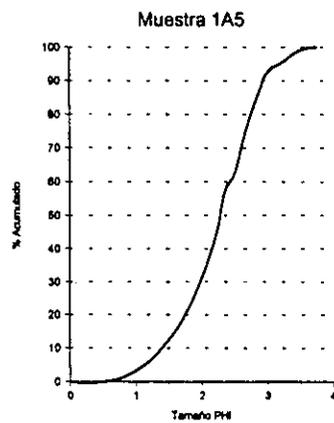
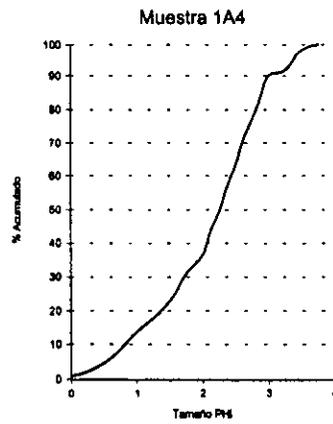
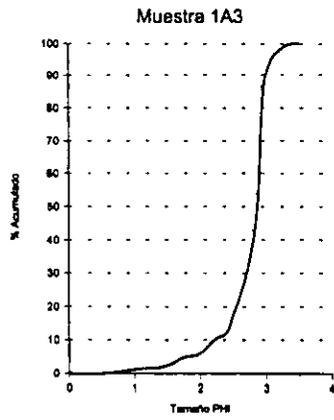
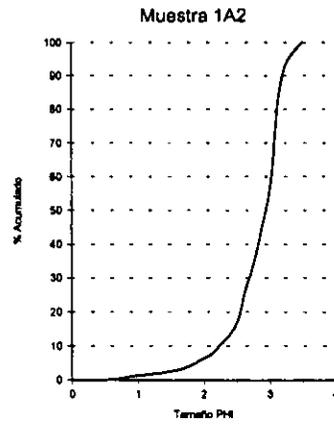
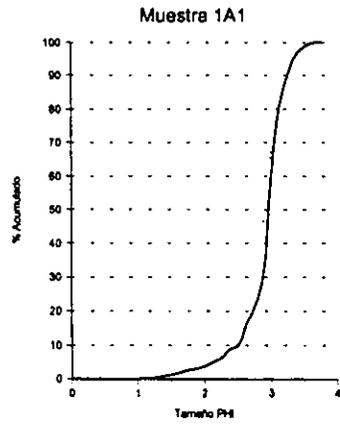
**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

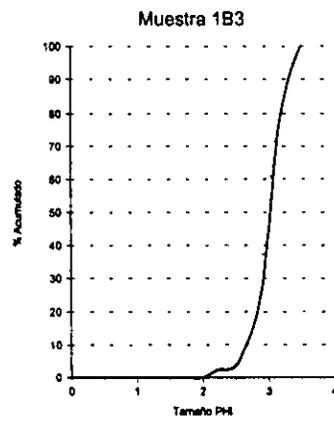
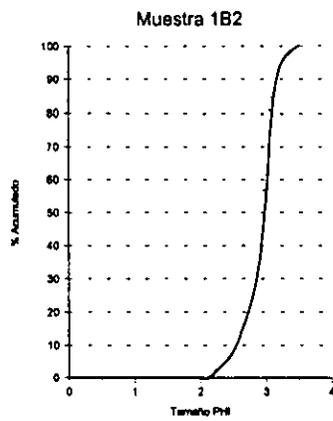
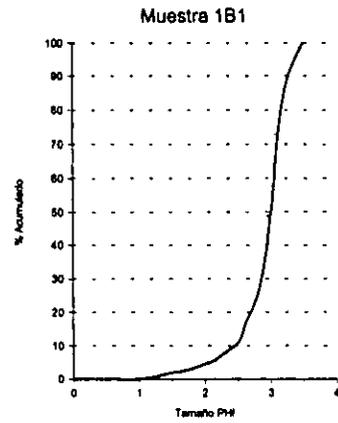
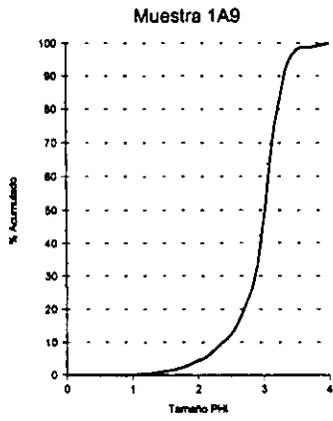
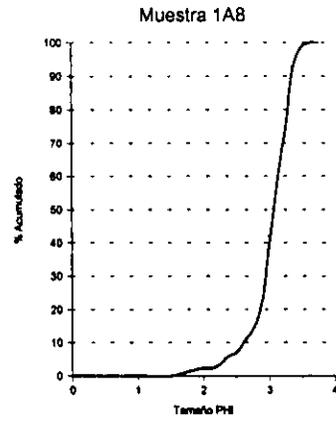
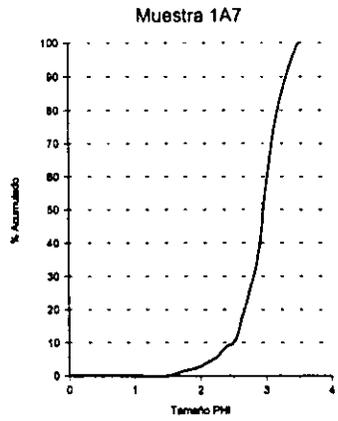
TABLA I. VALORES ESTADÍSTICOS DE LAS MUESTRAS.

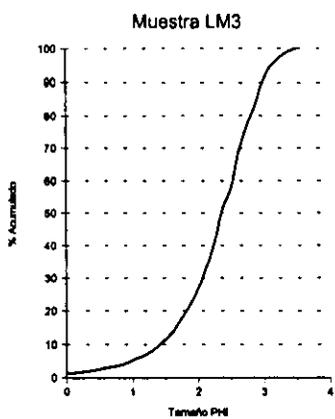
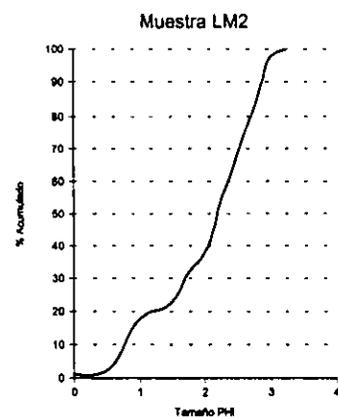
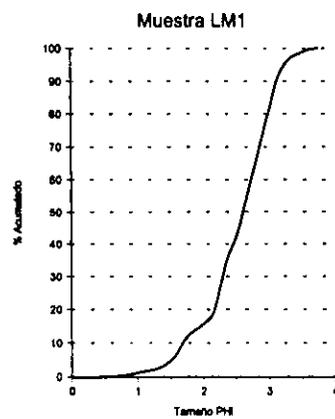
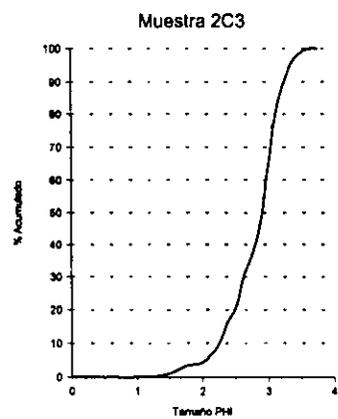
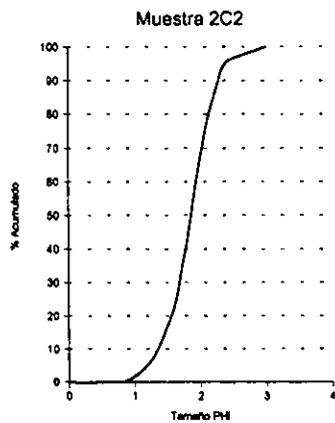
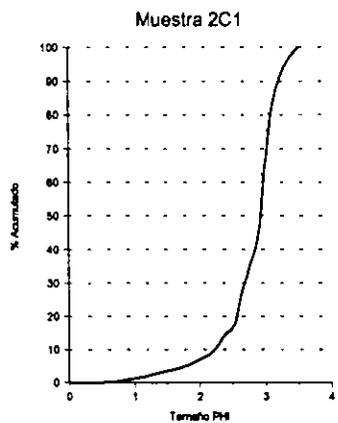
Parámetros y Percentiles.	Muestras										
	1A1	1A2	1A3	1A4	1A5	1A6	1A7	1A8	1A9	1B1	1B2
Md ϕ	2.950	2.950	2.850	2.400	2.300	2.300	2.950	3.100	3.050	3.000	3.000
MZ	2.930	2.850	2.750	2.330	2.230	2.300	2.930	3.070	2.980	2.970	2.930
α	0.330	0.460	0.314	0.736	0.610	0.595	0.236	0.290	0.370	0.307	0.261
Sk	-0.220	-0.560	-0.600	-0.101	-0.144	0.013	0.227	-0.327	-0.370	-0.350	-0.422
K _G	1.776	1.730	1.708	1.045	0.988	1.000	1.288	1.288	1.332	1.405	1.220
K' _G	0.640	0.630	0.630	0.510	0.500	0.660	0.560	0.560	0.570	0.580	0.550
ϕ_5	2.100	1.350	1.850	1.050	1.150	1.350	2.200	2.300	2.100	2.100	2.350
ϕ_{16}	2.650	2.450	2.450	1.600	1.600	1.700	2.650	2.800	2.600	2.700	2.650
ϕ_{25}	2.800	2.650	2.600	1.850	1.850	1.900	2.750	2.900	2.800	2.800	2.800
ϕ_{50}	5.900	5.900	5.700	4.800	4.600	4.600	5.900	6.200	6.100	6.000	6.000
ϕ_{75}	3.100	3.100	2.900	2.850	2.700	2.700	3.100	3.250	3.200	3.150	3.100
ϕ_{84}	3.180	3.150	2.950	3.000	2.800	2.900	3.200	3.300	3.300	3.200	3.150
ϕ_{95}	3.400	3.250	3.100	3.600	3.200	3.300	3.300	3.400	3.400	3.300	3.250
	1B3	2C1	2C2	2C3	LM1	LM2	LM3	LM4	LM5	EM2	EM3
Md ϕ	3.050	2.900	1.850	2.900	2.600	2.200	2.350	2.450	2.500	1.700	1.500
MZ	3.020	2.830	1.830	2.810	2.550	1.970	2.300	2.370	2.500	1.650	1.450
α	0.208	0.400	0.360	0.400	0.527	0.790	0.613	0.606	0.500	0.736	0.537
Sk	-0.537	-0.410	-0.098	-0.327	-0.200	-0.383	-0.193	-0.601	-0.106	-0.070	-0.110
K _G	1.093	1.537	0.943	0.931	1.103	0.878	1.100	1.148	1.040	0.857	0.796
K' _G	0.522	0.605	0.485	0.480	0.520	0.468	0.520	0.530	0.510	0.460	0.440
ϕ_5	2.500	1.750	1.200	2.050	1.500	0.650	1.000	1.050	1.500	0.500	0.600
ϕ_{16}	2.750	2.450	1.450	2.350	2.000	0.950	1.700	1.750	2.000	0.850	0.850
ϕ_{25}	2.850	2.650	1.600	2.550	2.250	1.550	1.950	2.000	2.200	1.150	1.000
ϕ_{50}	6.100	5.800	3.700	5.800	5.200	4.400	4.700	4.900	5.000	3.400	3.000
ϕ_{75}	3.150	3.050	2.100	3.100	2.900	2.600	2.750	2.750	2.850	2.250	1.850
ϕ_{84}	3.250	3.150	2.200	3.200	3.050	2.750	2.850	2.900	3.000	2.400	2.000
ϕ_{95}	3.300	3.250	2.350	3.300	3.250	2.900	3.150	3.150	3.150	2.800	2.250

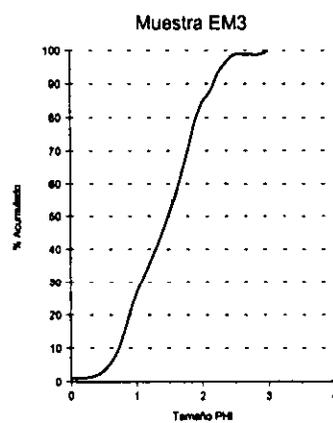
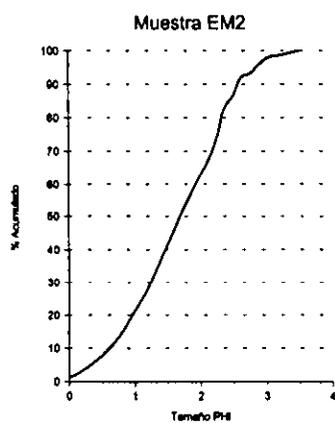
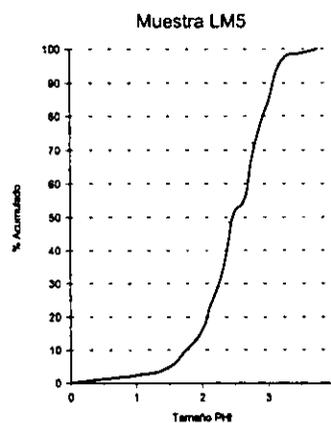
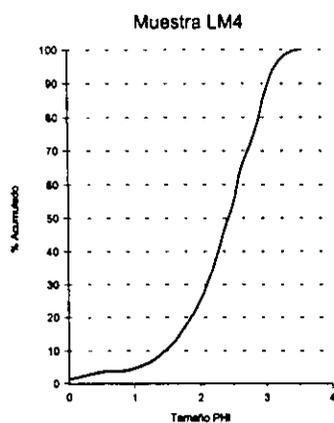
TABLA II. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS MUESTRAS CON BASE EN LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

1A1 Arena de grano fino, muy bien clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, muy leptocúrtica.	1A2 Arena de grano fino, bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, muy leptocúrtica.	1A3 Arena de grano fino, muy bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, muy leptocúrtica.	1A4 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, casi simétrica, mesocúrtica.	1A5 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, mesocúrtica.
1A6 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, casi simétrica, muy leptocúrtica.	1A7 Arena de grano fino, muy bien clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	1A8 arena de grano muy fino muy bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	1A9 Arena de grano fino, bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	1B1 Arena de grano fino, muy bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.
1B2 Arena de grano fino, muy bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	1B3 Arena de grano fino, mal clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	2C1 Arena de grano fino, bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, muy leptocúrtica.	2C2 Arena de grano medio, bien clasificada, casi simétrica, mesocúrtica.	2C3 Arena de grano fino, bien clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, mesocúrtica.
LM1 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, mesocúrtica.	LM2 Arena de grano medio, moderadamente clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, platicúrtica.	LM3 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, mesocúrtica.	LM4 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, muy asimétrica hacia los granos gruesos, leptocúrtica.	LM5 Arena de grano fino, moderadamente clasificada, asimétrica hacia los granos gruesos, mesocúrtica.
EM2 Arena de grano medio, moderadamente clasificada, casi simétrica, platicúrtica.	EM3 Arena de grano medio, moderadamente clasificada, casi simétrica, platicúrtica.			

GRÁFICAS DE PORCENTAJE ACUMULADO.







V.2 ANÁLISIS MICROSCÓPICO.

Este tipo de análisis es fundamental para establecer la procedencia e historia de los materiales; para el estudio microscópico de las muestras fué necesario elaborar láminas delgadas de éstas y analizarlas con microscopio petrográfico, obteniendo de esta manera porcentajes de minerales esenciales e identificación de minerales accesorios.

Las muestras también se analizaron con microscopio de disección con el fin de obtener sus parámetros texturales.

Los resultados de estos análisis se muestran en la tabla III.

TABLA III. RESULTADOS MINERALÓGICOS DE LAS MUESTRAS.

Lámina	Localidad	Color	Clasificación	Análisis en Microscopio de Disección		Mineralogía
				Redondez	Esféricidad	
1A1	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Subangulosos, subredondeados	Media, alta	Pirita, cuarzo, feldespato potásico, biotita, vidrio transparente, obsidiana, calcita, fragmentos de lutita
1A2	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media	Pirita, cuarzo, feldespato potásico, biotita, vidrio transparente, obsidiana, calcita, fragmentos de lutita
1A3	Playa El Jiole	Gris	Moderadamente clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados, redondeados	Baja, media, alta, muy alta	Vidrio transparente, calcita, cuarzo, feldespato potásico, obsidiana, biotita, olivino
1A4	Playa El Jiole	Gris	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media	Vidrio transparente, calcita, obsidiana, mica, fragmentos de lutita, cuarzo
1A5	Playa El Jiole	Gris claro, blanco	Moderadamente clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media	Vidrio transparente, calcita, obsidiana, mica, fragmentos de lutita, cuarzo
1A6	Playa El Jiole	Gris claro, blanco	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media	Vidrio transparente, calcita, obsidiana, mica, fragmentos de lutita, cuarzo
1A7	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Media, alta	Vidrio transparente, fragmentos de conchas, ortoclasa, olivino, obsidiana, granate, biotita, fragmentos de andesita
1A8	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja, media, alta	Pirita, cuarzo, calcita, biotita, granate
1A9	Playa El Jiole	Gris	Moderadamente clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados, redondeados	Baja, media, alta, muy alta	Vidrio, biotita, cuarzo, calcita, pirita, olivino
1B1	Playa El Jiole	Gris	Moderadamente clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja, media, alta	Calcita, cuarzo, obsidiana, vidrio transparente, biotita, fragmentos de andesita
1B2	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Media, alta	Vidrio transparente y obsidiana, calcita, cuarzo, pirita, biotita.
1B3	Playa El Jiole	Gris	Bien clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media, alta	Obsidiana, calcita, olivino, pirita, granate, cuarzo
2C1	Playa El Jiole	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados	Media, alta	Pirita, cuarzo, vidrio transparente y obsidiana, biotita, olivino
2C2	Playa El Jiole	Blanco, gris blanco	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja	Biotita, obsidiana, calcita, cuarzo fragmentos de roca
2C3	Playa El Jiole	Gris	Moderadamente clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja, media, alta	Biotita, calcita, cuarzo, obsidiana, olivino, zircón, turmalina?
LM1	Laguna Mandinga	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados, redondeados	Media, alta	Fragmentos de andesita y lutita, calcita, cuarzo, biotita, sulfuros de hierro
LM2	Laguna Mandinga	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados, redondeados	Media, alta	Fragmentos de andesita y lutita, calcita, cuarzo, biotita, sulfuros de hierro
LM3	Laguna Mandinga	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados, redondeados	Media, alta	Fragmentos de andesita y lutita, calcita, cuarzo, biotita, sulfuros de hierro
LM4	Laguna Mandinga	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados, redondeados	Media, alta	Fragmentos de andesita y lutita, calcita, cuarzo, biotita, olivino
LM5	Laguna Mandinga	Gris	Moderadamente clasificado	Subangulosos, subredondeados, redondeados	Media, alta	Fragmentos de andesita y lutita, calcita, cuarzo, biotita, sulfuros de hierro
EM1	Isla de Enmedio	Pardo	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos	Baja, media	Calcita, cuarzo
EM2	Isla de Enmedio	Pardo	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja, media	Calcita, cuarzo
EM3	Isla de Enmedio	Pardo	Mal clasificado	Angulosos, subangulosos, subredondeados	Baja, media	Calcita, cuarzo

TABLA III. RESULTADOS MINERALÓGICOS DE LAS MUESTRAS. CONTINUACIÓN.

Lámina	Localidad	Análisis en Lámina Delgada			Minerales Accesorios	Observaciones
		Qz %	Calcita %	Fp %		
1A1	Playa El Jiote	57.0	36.0	7.0	Oxidos de hierro, biotita y ferromagnesianos	La mayor parte de la calcita está en forma de fragmentos de conchas principalmente de miliólidos y corales. Contiene chapopote aunque escaso.
1A2	Playa El Jiote	55.5	37.1	7.4	Oxidos de hierro, biotita y ferromagnesianos	La mayor parte de la calcita está en forma de fragmentos de conchas principalmente de miliólidos y corales. Contiene chapopote aunque escaso.
1A3	Playa El Jiote	53.0	39.2	7.8	Biotita, óxidos de hierro, augita	Contiene gran cantidad de vidrio transparente. La calcita en fragmentos de conchas. Chapopote.
1A4	Playa El Jiote	-	-	-	-	Predomina el vidrio transparente sobre las conchas y fragmentos de conchas, aunque también hay gran cantidad de ellas.
1A5	Playa El Jiote	64.4	24.1	11.5	Biotita, óxidos de hierro, augita	Gran cantidad de fragmentos de conchas y vidrio.
1A6	Playa El Jiote	-	-	-	-	Predominio de vidrio y fragmentos de conchas.
1A7	Playa El Jiote	-	-	-	-	Contiene chapopote, fragmentos de coral y conchas y fragmentos de andesita.
1A8	Playa El Jiote	-	-	-	-	Gran cantidad de vidrio transparente y fragmentos de conchas.
1A9	Playa El Jiote	40.0	38.2	21.8	Oxidos de hierro, biotita y olivino	Abundancia de fragmentos de conchas.
1B1	Playa El Jiote	56.7	33.1	10.2	Oxidos de hierro, opacos, biotita, olivino, augita	No dominan ni los fragmentos de conchas ni el vidrio.
1B2	Playa El Jiote	52.1	38.0	9.9	Oxidos de hierro, opacos, biotita, olivino, augita	Se observan miliólidos, fragmentos de coral y chapopote.
1B3	Playa El Jiote	54.4	35.6	10.1	Oxidos de hierro, opacos, biotita, granate, augita	Muestra muy homogénea, sin dominio de un mineral en particular.
2C1	Playa El Jiote	52.1	34.7	13.2	Augita, biotita, minerales opacos (pirita), óxidos de hierro	Con fragmentos de roca (andesita) y de coral. Chapopote.
2C2	Playa El Jiote	-	-	-	-	Más del 80% correspondan a conchas y fragmentos de éstas.
2C3	Playa El Jiote	51.4	45.0	3.6	Biotita, óxidos de hierro, augita	Abundancia de chapopote. Con fragmentos de lutita.
LM1	Laguna Mandinga	43.5	34.2	21.2	Ferromagnesianos, olivino	Muy poco vidrio. Abundan los féricos y los fragmentos de roca.
LM2	Laguna Mandinga	43.6	37.7	18.7	Ferromagnesianos, olivino	Gran cantidad de fragmentos de andesita y de lutita. Muy poco vidrio y fragmentos de conchas.
LM3	Laguna Mandinga	-	-	-	-	Cantidad moderada de fragmentos de roca.
LM4	Laguna Mandinga	41.5	38.6	20.9	Olivino, biotita, augita	Gran cantidad de fragmentos de andesita y de lutita. Muy poco vidrio y fragmentos de conchas.
LM5	Laguna Mandinga	47.6	38.2	14.2	Olivino, ferromagnesianos	Muy poco vidrio. Abundan los féricos y los fragmentos de roca.
EM1	Isla de Enmedio	-	-	-	-	Compuesta totalmente de fragmentos de coral y conchas.
EM2	Isla de Enmedio	23.8	75.3	0.9	Calcita, cuarzo	Compuesta por fragmentos de coral y conchas de menor tamaño que ME1.
EM3	Isla de Enmedio	28.5	65.9	5.6	Calcita, cuarzo	Compuesta por fragmentos de coral y conchas de menor tamaño que ME2.

VI. CONCLUSIONES.

VI.1 AMBIENTES SEDIMENTARIOS.

A. PLAYA EL JIOTE.

Aquí los procesos de oleaje, corrientes y mareas son de baja amplitud, por lo que el principal tamaño en los sedimentos de la playa es arena fina y media, con bajo porcentaje de arena gruesa.

Se interpreta, por la forma de las dunas en Antón Lizardo, que el viento dominante en este ambiente es desde el SW, lo cual indica aporte de material del campo de dunas a la playa, por tanto, de acuerdo con Mason y Folk (1958), con criterios de redondez, esfericidad y madurez textural resulta difícil distinguir entre arena de playa y arena de duna, ya que existe mezcla de materiales por la condición del viento.

Dentro de las zanjas cavadas en este ambiente, se presentó un horizonte distintivo de arena calcárea, el cual corresponde con depósitos de tormenta; este horizonte aflora justo debajo de la berma de playa, por lo que su posición allí es más reciente que dentro de las zanjas –en las cuales se encuentra sepultado-, con base en este horizonte se reconoce una secuencia progradante en la playa, donde el sedimento acumulado por las dunas alimenta la playa ganándole así terreno al mar.

Si bien tanto las condiciones morfológicas (aguas tranquilas, baja pendiente de playa y alta continuidad lateral) como las de comunicación (a 10 min del puerto) hacen que el potencial turístico de esta zona sea interesante, la acción contaminante del hombre, como en muchos otros lugares, impide su desarrollo económico y deja en el abandono a esta playa.

B. LA ISLA DE ENMEDIO.

Las condiciones de energía en la playa de esta isla son similares a las de la playa El Jjote, es decir, baja amplitud de mareas y corrientes, y baja energía de oleaje que es disipada en la cresta del arrecife a 200 m de la playa.

En esta isla la principal fuente del aporte de sedimento es el océano (contrario a lo observado en El Jiote) generándose así un escenario de regresión marina al ir progradando la playa conforme recibe material, el cual se acumula posteriormente en el campo de dunas al centro de la isla.

C. LAGUNA COSTERA DE MANDINGA.

Por el lugar donde se ubica esta laguna, el océano no es la principal fuente de aporte ni para la playa ni para el campo de dunas, por lo que su origen no es el más común al de las lagunas costeras -detrás de una barra arenosa que se forma por la acumulación de arena proveniente del mar- y al ser su origen diferente, su morfología también lo es.

Mandinga está dentro de un amplio campo de dunas que abarca toda la zona desde el norte del Puerto de Veracruz hasta el Municipio de Antón Lizardo; estas dunas son producto de acumulación dentro de un ambiente completamente eólico y no debidas a acumulación por oleaje. En este marco se establece la laguna, formada al inundarse depresiones por descarga de ríos.

Por otra parte, la ciclicidad de los estratos dentro de la zanja no.4 en el pantano de Mandinga es debida a cambios estacionales, con alternancia de capas claras y oscuras, ambas con espesores de 2 a 4 cm.

VI.2 ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRIMARIAS.

A. DISTRIBUCIÓN.

Al ser las estructuras sedimentarias primarias originadas por el efecto de la acción conjunta de distintos agentes (viento, clima, organismos, oleaje, corrientes, entre otros) y al actuar estos agentes, en mayor o menor grado, sobre todas las zonas constituyentes de los ambientes sedimentarios, se registró lo siguiente:

1. No hay zonas dentro de los ambientes sedimentarios estudiados, donde solo se presente un tipo de estructura, por el contrario en todas las áreas se desarrollan diferentes tipos a la vez.
2. Las estructuras sedimentarias primarias ocurren (aunque sea escasamente) en la mayoría de las zonas que conforman a los ambientes sedimentarios estudiados.
3. El área de distribución de una estructura en particular se superpone con las áreas de otras estructuras. Así por ejemplo, en los lugares donde hay rizaduras onduladas también se tienen entre otras: galerías y marcas de corriente.

Si bien es factible que un tipo de estructura se desarrolle en varias zonas, hay partes dentro de los ambientes donde domina y es muy abundante; esto genera, para cada tipo de estructura las siguientes zonas de preferencia:

- *Estratificación.* En superficie sólo se observó sobre la berma de la playa El Jiote al aflorar el horizonte calcarenítico. Por otro lado, en la postplaya, el pantano y el campo de dunas se observó estratificación dentro de las zanjas; en el campo de dunas se tiene además estratificación y laminación cruzada plana y cruzada lenticular, así como corte y relleno y fallas de crecimiento; en el pantano se registró solamente estratificación paralela.
- *Rizaduras Rectas.* Abundantes en la anteplaya y en la parte inferior del frente de playa.
- *Rizaduras Onduladas.* Preferentemente se desarrollan en la parte superior del frente de playa, entre el límite de océano y la berma, así como también en los canales de marea. En la postplaya y los valles interdunas de la playa El Jiote y la isla de Enmedio son menos comunes; en estos subambientes el agente generador de este tipo de rizaduras es el viento.
- *Rizaduras Triangulares.* Estructura presente sólo en los canales de marea formando lenguas a lo largo de estos.
- *Rizaduras Rómbicas.* Rasgo muy local observado en las partes más internas de los canales de marea donde se tiene flujo de muy bajo tirante de agua.

- *Marcas de Corriente.* Muy abundantes en el frente de playa; las de postplaya (menos comunes) son marcas de objetos (tool marks). Las estriaciones (rill marks) son muy locales y únicamente se observaron entre el límite de océano y la berma.
- *Marcas de Oleaje.* Ocurren en el frente de playa (muy abundantes) y en la orilla de los canales de marea donde hay alineaciones de detritos por el nivel de agua, aunque en ellos el oleaje es muy suave, ocurriendo lo mismo en la orilla entre el pantano y la laguna. Los eventos de tormenta no registran marcas de oleaje en la postplaya tanto de El Jote como de la isla de Enmedio, en cambio forman acumulaciones de troncos, ramas y basura.
- *Gotas de Lluvia.* Presentes en la postplaya, en los canales de marea, en las dunas (en El Jote y en Mandinga) y el pantano, aunque en todos estos ambientes son muy escasas y sin amplia distribución.
- *Costras de Desección.* Se registran en la postplaya, en la orilla de los canales de marea y y en el campo de dunas (en Mandinga). Al igual que las gotas de lluvia son muy escasas y locales.
- *Bioturbación.* La mayor concentración y diversidad ocurre en el frente de playa, con pistas, huellas, barrenos, madrigueras de cangrejo y restos de plantas; en la postplaya es menos abundante y es producto principalmente de la actividad de cangrejos: huellas y madrigueras; en las dunas se tiene la misma actividad de cangrejos que en la postplaya, pero aquí las raíces de plantas son la principal bioturbación, al igual que en el pantano, donde es muy abundante debido al gran número de raíces de árboles de mangle.

B. ABUNDANCIA.

En la playa y las dunas (tanto de El Jote como de la isla de Enmedio), las estructuras más abundantes son las rizaduras y entre ellas, dominan las de crestas rectas y onduladas; las triangulares son rasgos locales propios de canal de marea; esta abundancia de rizaduras es indicativo de que en el ambiente de la playa El Jote y de la playa en la isla de Enmedio los

principales agentes ambientales actuantes son los flujos, tanto de viento como de agua; el flujo de viento domina a partir de la postplaya y llanura de intermarea hasta los campos de dunas, y los flujos de agua son los dominantes desde la anteplaya hasta el frente de playa justo debajo de la berma; estos flujos hidráulicos son principalmente de oleaje debido al carácter micromareal de la zona (pag. 32). De acuerdo con la distribución de estructuras sedimentarias primarias, los subambientes con mayor energía de corrientes son los canales de marea, ya que, es en ellos, donde se presentan las rizaduras con formas pertenecientes a altos niveles de energía (pag. 18).

Dentro de las dunas, otro tipo de estructura sedimentaria primaria muy abundante y variada, a parte de las rizaduras, es la estratificación y la laminación, estructuras no desarrolladas en la playa; el hecho de que en las primeras estas estructuras se presenten y en la segunda no, se explica interpretando que en las dunas el único agente de transporte y depósito es el viento, el cual es mejor agente clasificador que el agua, lo que produce capas y láminas de granos con características de esfericidad, redondez y angulosidad similares entre sí y diferentes de las capas adyacentes; por otro lado, en la playa, si bien el viento proveniente del campo de dunas es el principal agente de depósito, en ella se presenta el retrabajo de los sedimentos producto del oleaje, corrientes y tormentas, lo que resulta en una mezcla de granos y en la pérdida de la clasificación de éstos efectuada por el viento.

En el pantano también se presenta laminación y en él el agente de depósito es el agua, sin embargo las condiciones hidrodinámicas del pantano son diferentes a las de la playa, ya que en él la gran cantidad de raíces de árboles de mangle discipa la energía de oleaje (la cual es mucho menor en la laguna que en el océano), generando aguas tranquilas en el pantano, lo que propicia una selección de granos por gravedad al momento del depósito; por otro lado, dentro de este ambiente, la principal estructura sedimentaria primaria es la bioturbación producida por raíces, lo que resulta en una alta productividad orgánica en el pantano; las rizaduras, a diferencia de otros ambientes, son escasas y sin amplia distribución.

Los demás tipos de estructuras comunes (pero nunca dominantes), son las marcas de corriente y las marcas de oleaje; ambas son típicas y abundantes en las pocas zonas donde se presentan, principalmente en el frente de playa, tanto en El Jiote como en la isla de Enmedio.

Las estructuras escasas y locales son: 1) gotas de lluvia y costras de desecación, las cuales indican que en la postplaya en El Jiote y en el terraplén de la laguna Mandinga se intercalan estacionalmente ciclos de lluvias (correspondientes a la estación veraniega y la temporada de tormentas) con ciclos de estiaje en los cuales el nivel de evaporación supera al de precipitación (pag. 26); y 2) corte y relleno, deslizamientos por crecimiento y superficies de reactivación, que se observaron sólo en las dunas de la playa El Jiote y señalan que las condiciones de flujo eólico no son constantes, en cambio hay periodos de régimen de viento erosivo y periodos de régimen depositante (pag. 24).

No se identificaron en ninguno de los ambientes: estructuras de carga, almohadas, moldes de cristales, intrusiones clásticas, ni grietas de desecación (debido a la naturaleza no cohesiva del material). La tabla IV muestra las zonas de abundancia para cada tipo de estructura registrada:

	Playa				Campo de Dunas	Pantano
	Anteplaya	Frente de Playa	Postplaya	Canal de Marea		
Estratificación	-	×	×	×	*	*
Rizaduras Rectas	*	×	-	-	×	-
Rizaduras Onduladas	×	*	×	×	×	-
Rizaduras Triangulares	-	-	×	*	-	-
Marcas de Corriente	-	*	× ¹	×	-	-
Marcas de Oleaje	-	*	-	* ²	-	-
Gotas de Lluvia	-	-	×	×	×	×
Costras de Desecación	-	-	×	×	-	-
Bioturbación	×	*	*	×	*	*

* Abundante 1: Por flujo de viento.
 × Escaso 2: Alineaciones por nivel de agua.
 - No observado

C. INDICADORES DE AMBIENTE.

La combinación: abundancia y zona preferencial, es el rasgo que se señala para que un tipo en particular de estructura sedimentaria primaria sea un buen indicador de ambiente y/o subambiente; esto aplicable en estudios paleoambientales.

Se tienen entonces los siguientes indicadores:

- *Rizaduras Rectas*: para anteplaya, si estas son comunes y no hay otro tipo de rizadura.
- *Rizaduras Onduladas*: indicadores de playa en general; por ser comunes son necesarias las asociaciones con otros tipos de estructuras, para diferenciar partes constituyentes; se tiene así, que para frente de playa es necesario identificar también marcas de oleaje y bioturbación local.
- *Rizaduras Triangulares*: muy buenos indicadores para canal de marea.
- *Marcas de Corriente*: en frente de playa.
- *Marcas de Oleaje*: en frente de playa y canal de marea.
- *Gotas de Lluvia*: indicadores de superficie expuesta temporal ó permanentemente a condiciones subaéreas durante las cuales se presenta precipitación.
- *Costras de Desecación*: indicadores de superficie expuesta a condiciones subacuáticas o de saturamiento, alternando con condiciones subaéreas durante las cuales el nivel de evaporación es mayor al nivel de precipitación.
- *Estratificación y Laminación*: auxiliar (por ser común) en determinar ambientes; para pantano: estratificación paralela y gran bioturbación; para dunas: estratificación y laminación cruzada con bioturbación de raíces.
- *Bioturbación*: en frente de playa bioturbación por madrigueras, huellas y pistas; en duna bioturbación por raíces de plantas rastreras y madrigueras; en pantano gran bioturbación por raíces de mangle.

Para definir con mayor exactitud un ambiente ó subambiente sedimentario son necesarias las asociaciones de los criterios anteriores.

VI.3 GRANULOMETRÍA Y MINERALOGÍA.

En los diferentes ambientes sedimentarios estudiados el análisis estadístico de muestras derivado de la prueba en el tubo de Emery de sedimentación resulta en parámetros, que de acuerdo con Shepard (1956), Mason y Folk (1958), Chapell (1967) y Duane (1964), señalan mezcla entre la arena de playa y la arena de las dunas, lo cual es congruente con la interpretación basada en las estructuras sedimentarias primarias del régimen de viento (pag. 92) e indican también el sentido general en el aporte de arena: de las dunas hacia la playa en El Jiote.

Las gráficas de porcentaje acumulado (pag. 82, 83, 84 y 85) muestran que la arena del campo de dunas en la playa El Jiote, sigue un comportamiento de distribución normal, lo que no ocurre con la arena de playa, en la cual su distribución se aleja de la curva normal, debido a que, de acuerdo con Mason y Folk (1958), en la playa, los sedimentos han sufrido retrabajo por los procesos marinos en la plataforma.

En la isla de Enmedio el sentido en el aporte de sedimentos es del océano a la playa y, de la playa hacia las dunas, basado en el hecho de que el material tanto de la playa como el de las dunas, es material calcáreo, proveniente del arrecife.

En ambos ambientes de playa, los sedimentos presentan baja esfericidad y redondez (Tabla III); esto es debido a que las fuentes de aporte -el campo de dunas en El Jiote y el arrecife en la isla de Enmedio-, son inmediatas a los sitios de depósito, por lo que el transporte de sedimentos es mínimo.

Los sedimentos del campo de dunas en el Municipio de Antón Lizardo son texturalmente maduros, por lo que la arena que constituye a la playa El Jiote hereda esta madurez textural proveniente de las dunas.

En cambio, en la isla de Enmedio la fuente de aporte -el arrecife- produce sedimentos texturalmente submaduros, los cuales no cambian esta condición durante su transporte -por ser éste demasiado corto- y llegan con la misma submadurez textural a la playa de la isla.

Durante el trabajo de campo se observó que el sedimento en la playa de esta isla presenta las siguientes diferencias granulométricas: (1) de tamaño de grano: grava en frente de playa y arena gruesa en postplaya; y (2) grado de clasificación: que es mayor en la postplaya y menor en el frente de playa.

En el análisis de contenido mineral (Tabla III), se estableció la correspondencia de la arena de la playa El Jiote y el pantano de la laguna de Mandinga con la provincia geológica del macizo volcánico de los Tuxtlas (carácter mineralógico de acuerdo con Ortega, et al., 1992), por lo que, se señala al macizo de los Tuxtlas como la principal fuente de aporte de sedimentos en el área de estudio, acorde con lo expuesto por de la Fuente (1959) y Viniegra (1950); lo que deriva en que, la edad de los ambientes sedimentarios costeros de la playa El Jiote y la laguna de Mandinga es menor a la del mencionado evento volcánico, el cual, según Ortega, et al., 1992, es del Cenozoico.

LITERATURA CITADA.

Libros:

- Arche, A., 1992. **Sedimentología. Vol II.** Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Madrid, España; 386 p.
- Boggs, S., Jr., 1987. **Principles of Sedimentology and Stratigraphy.** Merrill Publishing Company; 784 p.
- Coleman, J. M., y S. Gagliano, 1965. **Sedimentary Structures: Mississippi River Deltaic Plain.** Society of Economic Paleontologist and mineralogist: division of the AAPG. Special publication No.12; 102 p.
- Collinson, J. D., y D.B. Thompson, 1989. **Sedimentary Structures.** Unwin Hyman, London, 2nd ed.; 207 p.
- Davis, R. A., 1971. **Costal Sedimentary Environments.** Springer-Verlag, 2nd ed.; 716 p.
- Davis, R. A., 1992. **Depositional Systems: an introduction to sedimentology and stratigraphy.** Prentice Hall, 2nd ed.; 604 p.
- Friedman, G. M., J.E. Sanders, y D. C. Kopaska-Merkel, 1992. **Principles of Sedimentary Deposits.** Macmillan Publishing Co.; 717 p.
- Glenn, S. V., 1990. **Exploration Stratigraphy.** Penn Well Publishing Co., 2nd edition; 433 p.
- Guzmán, A. E., 2000. **Estado de la Exploración Petrolera en México.** AMGP Boletín 50 Aniv., 48 (1, 2); 80 p.
- Kennett, J., 1982. **Marine Geology.** Prentice Hall Inc.; 656 p.
- Logan, B. W., 1969. **Carbonate Sediments and Reefs, Yucatan Shelf, Mexico.** AAPG, Memoir 11; 184 p.
- Malpica, C.V., D. J. Barceló, J. P. Barradas, S.J. Moya, y F. Monroy, 1993. **Cuaderno de Prácticas. Laboratorio de Sedimentología.** Facultad de Ingeniería, UNAM, México; 51 p.

- Ortega, G. F., S.L. Mitre, Q.J. Roldán, G. J. Aranda, Z. D. Morán, A. S. Alaniz, y S. A. Nieto, 1992. **Texto Explicativo de la Quinta Edición de la Carta Geológica de la República Mexicana, Esc. 1:2,000,000.** Consejo de Recursos Minerales e Instituto de Geología, UNAM.; 74 p.
- Reineck, H. E. e I. B. Singh, 1975. **Depositional Sedimentary Environments, with reference to terrigenous clastics.** Springer-Verlag; 549 p.
- Selley, R. C., 1976. **An Introduction to Sedimentology.** Academic Press; 408 p.
- Scholle, P. A., y D. Spearing, 1982. **Sandstone Depositional Environments.** AAPG Memoir 31; 409 p.
- Scholle, P. A., D. G. Bebout, y C. H. Moore, 1983. **Carbonate Depositional Environments.** AAPG Memoir 33; 704 p.
- Waker, R.G., y N. P. James, 1992. **Facies Models. Response to Sea Level Change.** Geological Association of Canada; 454 p.

Artículos:

- Álvarez, M., Jr., 1961. **Provincias Fisiográficas de la República Mexicana.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 24 (2): 3-20.
- Salvador, A., 1987. **Late Triassic-Jurassic Paleogeography and Origin of the Gulf of Mexico Basin.** AAPG Bulletin, 71 (4): 419-451.
- Anderson, T., y V. Schmidt, 1983. **The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time.** Geological Society of America Bulletin, 94: 941-966.
- Bello, N. M., 1983. **Integración e Interpretación geológico-geofísica de la Cuenca de Veracruz.** Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 15 (2): 15-33.
- Chappell, J., 1967. **Recognizing Fossil Strand Lines from Grain Size Analysis.** Journal of Sedimentary Petrology, 37 (1): 157-165.

- Curray, J. R., F. J. Emmel, y P. J. Crampton, 1969. **Holocene history of a strand plain lagoon coast, Nayarit, Mexico.** Proc. Int. Symp. Coastal Lagoons, Mexico City, 1967, pp. 63-100.
- De la Fuente, N. J., 1959. **Paleogeografía y distribución de los sedimentos terciarios en la Cuenca de Veracruz.** Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 11 (1, 2): 21-50.
- Duane, D., 1964. **Significance of Skewness in Recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina.** Journal of Sedimentary Petrology, 34 (4): 864-874.
- Emery, K.O., 1963. **Arrecifes coralinos en Veracruz, México.** Geofísica Internacional, 3 (1): 11-17.
- Flores, R. J., 1955. **Los arrecifes de la cuenca de Tampico-Tuxpan, México.** Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 7 (11, 12): 397-500.
- Gibson, J. B., 1936. **Estratigrafía y Tectónica de la zona costera del Golfo entre los 19°34' de latitud norte y el río Coatzacoalcos, Ver.** Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 9 (5): 271-288.
- Hoyt, J., 1976. **Barrier island formation.** Bull. Geol. Soc. Am., 78 (9): 1125-1136.
- Jiménez, R. A., 1979. **Características Hidrográficas de la Vertiente del Golfo de México en el Estado de Veracruz.** Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, (9): 117-155.
- Mason, C. C., y R. Folk, 1958. **Differentiation of Beach, Dune and Eolian Flat Environments by Size Analysis, Mustang Island, Texas.** Journal of Sedimentary Petrology, 28 (2): 211-226.
- Ríos, M. F., 1956. **Bosquejo geológico de la Cuenca de Veracruz y parte del a Cuenca Salina del Istmo de Tehuantepec.** Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 11 (7, 8): 27-38.
- Shepard, F. P., y M. A. Beal, 1956. **A Use of Roundness to Determine Depositional Environments.** Journal of Sedimentary Petrology, 26 (1): 49-60.
- Viniegra, F., 1950. **Breve análisis geológico de la llamada Cuenca de Veracruz.** Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 2 (4): 281-290.

- Moore, G., y L. del Castillo, 1974. **Tectonic evolution of the Southern Gulf of Mexico.** Geological Society of America Bulletin, 85: 607-618.
- Schouten, H., y K. D. Klitgord, 1994. **Mechanistic solutions to the opening of the Gulf of Mexico.** Geology, 22: 507-510.