

19
2007
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
SECRETARÍA DE CULTURA Y TURISMO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO DE LA PORCIÓN SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A :
MANUEL EDUARDO MENDOZA CANTU



MEXICO, D. F.

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

A mi abuela:

por todo lo que me enseñó †

A mi madre:

por darme la vida y todo su cariño

A mi madrina:

por su total apoyo incondicional

A Erna:

**por todos los bellos momentos,
pero sobre todo por su gran
amor**

**Aquello a lo que tienes miedo,
es una clara indicación de lo siguiente que tienes que hacer**

**Donde hay una voluntad
hay un camino**

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----|---|-----|
| | Índice de Tablas | ii |
| | Índice de Figuras | iii |
| | Agradecimientos | v |
| | Resumen | 1 |
| I | Introducción | 2 |
| | Generalidades Sobre la Morfología de las Márgenes Continentales | 4 |
| | Objetivos | 8 |
| | Metodología | 9 |
| II | Antecedentes | 13 |
| III | Área de Estudio | 22 |
| | Localización | 22 |
| | Fisiografía | 22 |
| | Oceanografía | 29 |
| IV | Geología | 31 |
| | Estratigrafía | 32 |
| | Origen y Evolución Tectónica del Golfo de México | 37 |
| | Geología Estructural | 39 |
| | Sedimentos | 39 |
| V | Geomorfología | 42 |
| | Elementos de Clasificación | 42 |
| | Estructuras Disyuntivas | 43 |
| | Clasificación de las Unidades | 43 |
| | 1 Tectónico-Tabular Modelado | 43 |
| | 2 Marino Biogénico | 50 |
| | 3 Marino Denudativo | 52 |
| | 4 Marino Acumulativo | 57 |
| V | Conclusiones | 58 |
| | Literatura Citada | 62 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|----------------|---|-----------|
| Tabla 1 | Distribución de arrecifes de coral-alga en la región Sureste del Golfo de México | 26 |
| Tabla 2 | Estratigrafía de la Plataforma Campeche-Yucatán | 36 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|-----------|
| Figura 1 | Mapa de distribución de plataformas en base a cinturones climáticos | 6 |
| Figura 2 | Distribución de plataformas carbonatadas y arrecifes modernos | 8 |
| Figura 3 | Método de trabajo de la investigación | 12 |
| Figura 4 | Sección idealizada de la distribución de facies sedimentarias en complejos arrecifales | 15 |
| Figura 5 | Principales factores que influyen en el desarrollo de un arrecife | 15 |
| Figura 6 | Mapa Geomorfológico del Golfo de Campeche | 16 |
| Figura 7 | Provincias fisiográficas del Golfo de México | 17 |
| Figura 8 | División Taxonómica de las formas submarinas del Golfo de México | 19 |
| Figura 9 | Área de estudio | 23 |
| Figura 10 | Provincias sedimentarias del Golfo de México | 24 |
| Figura 11 | Mapa de formas de estructuras principales del territorio mexicano | 26- 27 |
| Figura 12 | Tipos de costas y geodinámica costera | 28 |
| Figura 13 | Circulación Oceanográfica | 30 |
| Figura 14 | Mapa estructural regional del Sureste de México | 31 |
| Figura 15 | Bloque diagramático de la paleobatimetría del Cretácico Medio | 34 |
| Figura 16 | Elementos tectónicos de la región del Golfo de México y parte del Caribe | 38 |
| Figura 17 | Reconstrucción tectónica para el Jurásico Medio | 40 |
| Figura 18 | Reconstrucción tectónica para Oxfordiano | 40 |
| Figura 19 | Perfil Sísmico del Escarpe de Yucatán | 44 |
| Figura 20 | Sección litológica-estructural del Escarpe de Campeche y Plataforma Campeche-Yucatán | 45 |
| Figura 21 | Sección litológica-estructural del Escarpe de Yucatán y Plataforma Campeche-Yucatán | 47 |
| Figura 22 | Terrazas de la Plataforma Campeche-Yucatán | 48 |
| Figura 23 | Modelo que representa la surgencia interna | 51 |
| Figura 24 | Modelos sombreados de las construcciones arrecifales | 54 |
| Figura 25 | Mapa de Pendientes de las construcciones arrecifales | 55 |

Figura 26 Modelo digital en tercera dimensión donde se observa el Cañón 56 Campeche y cañones-corredores sobre los Escarpes de Campeche y Yucatán

Figura 27 A) Perfil longitudinal de un cañón-corredor en el Talud Transicional de Campeche-Yucatán. B) Perfiles transversales de un cañón-corredor en el Talud Transicional de Campeche-Yucatán

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo dar las gracias a mis sinodales:

Mi sincero agradecimiento al M. en C. Antonio Z. Márquez García por su gran apoyo, confianza, amistad y dirección de tesis.

Al Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez por tener confianza en mi, además de proporcionar sus valiosos comentarios y asesoría en el presente trabajo de investigación y de iniciarme en una nueva aventura.

Al Dr. José Luis Palacio Prieto por el apoyo, amistad y comentarios al escrito final.

Al Dr. José Juan Zamorano Orozco por su aprecio, colaboración y asesoría durante la interpretación geomorfológica de este trabajo.

Al M. en C. Lorenzo Vázquez Selem por generar en mi el interés hacia la Geomorfología, por su apoyo durante la carrera y sus comentarios al escrito de tesis.

A la Geóg. Laura Luna González por su gran ayuda en la digitalización y procesamiento de cada uno de los mapas de esta tesis.

Al Geóg. José Manuel Figueroa Mah-Eng por su amistad y tiempo invertido al colaborar en la realización de esta investigación.

Al Dr. Joaquín Eduardo Aguayo Camargo por todo el apoyo proporcionado para la elaboración de este trabajo.

A los Ings. Geólogos Benjamín Márquez García y Alberto Pérez Rojas, al M. en C. Carlos Córdoba F. de A. y al M. en C. Jorge López Blanco por compartir sus conocimientos en mi formación académica.

A la Biól. Erna López Granados por la revisión del escrito, pero sobre todo por su apoyo, cariño y comprensión.

A todos los integrantes del Grupo Espeleológico Oztotl, principalmente al Ing. Geól. Ricardo Salas Colunga por su apoyo incondicional durante el trabajo en Ciencias del Mar y al Ing. Geól. Alejandro Carrillo Bañuelos por sus comentarios, amistad y apoyo.

A las Geógrafas Verónica Zermeño y Ana Elia Hernández, a los Biólogos Verónica Villanueva, Luis Miranda y Carlos Córdoba, y a la Familia Samohano por su amistad y comentarios a lo largo de la elaboración de la investigación.

A la Dirección General de Asuntos para el Personal Académico (DGAPA) por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

Al personal del B/O "Justo Sierra" por el apoyo prestado en la obtención de muestras e información en alta mar.

A cada una de las personas que de manera directa o indirecta participaron en la realización de esta tesis.

RESUMEN

La elaboración de esta tesis se llevó a cabo dentro del Proyecto Institucional *Dinámica Oceánica y su Relación con el Deterioro Ambiental en la Porción Sur del Golfo de México* del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México y con el auxilio teórico-técnico del Instituto de Geografía de la misma Universidad.

Durante el desarrollo de la investigación se realizaron cinco cruceros oceanográficos a bordo del B/O "Justo Sierra" de la U.N.A.M. a la región Sureste del Golfo de México, en los que se colectaron muestras de sedimentos carbonatados y terrígenos de la zona de estudio, y se realizaron ecogramas de la Plataforma de Campeche-Yucatán.

El análisis cartográfico-geomorfológico se elaboró en el contexto de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el cual se digitalizaron las isobatas de tres cartas batimétricas a escala 1:200,000 y se interpolaron 7,000 datos batimétricos para la porción de la Plataforma Campeche-Yucatán en la cual no existía ninguna cartografía a escala semidetallada, construyéndose por tal motivo un mapa batimétrico a escala 1:250,000.

Este mapa sirvió para generar la cartografía morfométrica (mapa de pendientes e hipsométrico) y los Modelos Digitales de Terreno (MDT), que junto a los ecogramas levantados durante las navegaciones en el área de estudio, permitieron definir las estructuras disyuntivas que se presentan en la Carta de Morfolineamientos, así como las cinco unidades principales y las siete secundarias de la Carta Morfogénica de la Porción Sureste del Golfo de México.

De esta manera, se reconoció que la Plataforma de Campeche, Yucatán, al igual que la de Florida fueron inundadas desde hace unos 18,000 años, al término de la glaciación Wisconsin, por aguas superficiales con temperaturas inferiores y salinidad superior a la actual. Además de las causas geológico-geomorfológica de la alineación de los arrecifes en el borde de la plataforma que consiste en la existencia de una surgencia en el Norte de la Plataforma de Yucatán, una surgencia interna geotérmica (endouppwelling), desarrollada a través del banco calcáreo y/o a la presencia de las aguas de la surgencia de Yucatán, las cuales se trasladan como corriente de fondo por la plataforma somera.

I. INTRODUCCIÓN

En México el estudio de la geomorfología en los océanos apenas inicia, sin embargo es de importancia para nuestro país, por contar con una Zona Económica Exclusiva, que abarca una superficie igual a los 2,892,000 km² (Aguayo-Camargo y Carranza-Edwards, 1990), corresponde a casi 900,000 km² más que la porción del territorio continental. La Plataforma Continental Mexicana, considerándola hasta la isobata de los 200 m, cubre un área de 431,050 km² que representa poco más de la quinta parte del área continental incluyendo las islas (Madrigal-Ugalde, 1980).

Estos mares mexicanos se han dividido según Aguayo-Camargo y Carranza-Edwards (1990) en las siguientes regiones y subregiones:

- 1.- **Pacífico:** Pacífico Norte-Baja California; Golfo de California; y Provincia Panámica que comprende la porción meridional e itsmeña.
- 2.- **Golfo de México:** Suroeste de Golfo de México, de Río Bravo a San Pedro en los límites de los Estados. de Tabasco y Campeche; Banco de Campeche.
- 3.- **Caribe:** De Cabo Catoche en el Norte hasta Bahía de Chetumal al Sur.

El estudio del relieve terrestre se remonta a culturas tan antiguas como la griega (Lugo-Hubp, 1989b), ya que es de vital importancia el conocimiento del paisaje que rodea al hombre para realizar una correcta planeación del uso que se le pueda dar. Sin embargo, los estudios geomorfológicos en el país, como en todo el mundo se han incrementado a partir de los años 40^s, con el avance técnico resultado de las investigaciones durante la Segunda Guerra Mundial (Lugo-Hubp, 1988b). En un principio, la geomorfología se limitó tradicionalmente a la porción subaérea de la Tierra, incluyendo pocos metros del paisaje submarino cercano a la costa (Bloom, 1978). En la actualidad, la geología ha comenzado a tener una orientación marina, con el dominio de la Teoría de la Tectónica de Placas, basada principalmente en datos submarinos, por lo que es necesario realizar la revisión de la geomorfología submarina (Bloom, 1978).

Las primeras aportaciones internacionales al conocimiento de la geomorfología submarina son de Umbgrove (1946) y Shepard (1948). Sin embargo es hasta las décadas de los 50^s y 60^s, cuando se publican los primeros mapas del relieve de los fondos oceánicos (Lugo-Hubp, 1989a) y se realiza un mayor número de contribuciones al conocimiento del origen y las formas de paisaje submarino, por encontrarse íntimamente ligadas a la búsqueda de energéticos (principalmente petróleo y gas natural). Dichos mapas fueron elaborados por las compañías dedicadas a la exploración y explotación de este recurso (Derrau, 1978). Por ejemplo, sobre el origen y estructura tanto de plataformas como taludes continentales, se pueden mencionar los trabajos de Wallace (1950), Mina-Uhink *et al.* (1956), Dietz (1964), Emery (1965); sin embargo, la mayoría de los términos empleados hasta ese momento, como por ejemplo, valle submarino, cresta o sierra y planicie, son únicamente descriptivos y tan sólo las formas submarinas más obvias como las de origen tectónico y volcánico pueden ser explicadas con base en la Teoría de la Tectónica de Placas o con

analogías con formas similares de origen subaéreo (Bloom, 1978).

Las investigaciones de las márgenes continentales, iniciaron de una manera sistemática después de la Segunda Guerra Mundial, utilizando técnicas geológicas y geofísicas (Burk y Drake, 1974) que permitieron analizarlas tanto a pequeña como a gran escala. Es a principios de los años 70^s, cuando la investigación del fondo marino se convierte en sistemática con la creación del Proyecto de Perforación del Mar Profundo (DSDP) y la utilización del B/O *Glomar Challenger*.

Los primeros trabajos relacionados con la cartografía, geología y geomorfología, elaborados en nuestros mares por investigadores nacionales, fueron realizados por la Dirección de Oceanografía de la Secretaría de Marina y el Departamento de Oceanografía perteneciente a la Dirección General de Geografía. Esta última construyó las cartas batimétricas escala 1:1,000,000 que cubren todo nuestro mar territorial. A partir de la interpretación geomorfológica de estas cartas, Lugo-Hubp (1985) elaboró una carta de Morfoestructuras del Fondo Oceánico Mexicano escala 1:8,000,000.

A pesar de la gran extensión marina y la creciente importancia que posee desde varios puntos de vista, los trabajos sobre geomorfología submarina, siguen siendo muy escasos, en especial los realizados a semidetalle. El estudio de una porción del Golfo de México, como es el Banco de Campeche (Plataforma Campeche-Yucatán) presenta particular importancia, por ser una zona de gran riqueza petrolera y de gran belleza natural al encontrarse incluidos en ella varios arrecifes coralinos principalmente sobre la margen de la plataforma.

La presente investigación se encuentra enmarcada dentro del Proyecto Institucional denominado Dinámica Oceánica y su Relación con el Deterioro Ambiental en la Porción Sur del Golfo de México, llamado DINAMO, el cual se desarrolla en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Dentro de esta investigación se realizaron cinco cruceros oceanográficos a bordo del B/O "Justo Sierra", en los cuales se recabaron muestras de sedimento y agua, las cuales se han analizado en los diversos laboratorios del mismo Instituto. Durante estos cruceros, también se registró la temperatura y salinidad en cada estación, además de levantarse ecogramas sobre la plataforma y talud continental, los cuales son una pieza importante en la interpretación geomorfológica.

Este trabajo de tesis se desarrolló gracias al uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en la evaluación geomorfológica submarina, debido a que en estas áreas no se cuenta con fotografías aéreas ni con imágenes de satélite. Para la captura, generación y manipulación de la información se utilizó un SIG, basado en una computadora personal AT-286/386 (ILWIS, Integrated Land and Watershed Management Information System) (Valenzuela, 1988).

Para la elaboración de este trabajo se contó con gran apoyo técnico-teórico del Instituto de Geografía de la U.N.A.M.

El trabajo geomorfológico dentro del proyecto, planteó la elaboración de un análisis cartográfico-geomorfológico, auxiliado de los análisis sedimentológicos e información geológica-tectónica, con la finalidad de construir las Cartas Morfogenética y de Estructuras Disyuntivas y Morfolineamientos.

GENERALIDADES SOBRE LA MORFOLOGÍA DE LAS MÁRGENES CONTINENTALES

Este trabajo se realizó en el área marina conocida como margen continental, estructuralmente forma parte del continente y es la zona de vínculo entre la tierra y el mar, ocupando, según Emery (1970) el 21 % de área oceánica. Esta se divide en margen pasiva y margen activa; la margen activa es aquella donde se ponen en contacto una placa oceánica y una continental por medio de una zona de subducción, mientras en la margen pasiva no se presenta esta zona de subducción, ya que originalmente se forman por desplazamiento del *rift* (Vannay y Stanley, 1983). Esta se encuentra constituida por tres provincias fisiográficas submarinas: la plataforma, el talud continental y el pie de continente, también llamado elevación continental.

La plataforma continental es definida como el área somera del mar que abarca desde la costa y se extiende hasta la cima del talud continental, en donde ocurre un súbito incremento de la pendiente a una profundidad promedio de 133 m, generalmente de 200 m (King, 1975; Lugo-Hubp, 1989b), con una pendiente y una amplitud promedio de 0°07' y 67 km respectivamente (Shepard, 1973). De acuerdo a Lugo-Hubp (1989b), las plataformas del mundo cubren alrededor 28,000,000 km² equivalente al 8 % de la superficie de los océanos.

La forma de la plataforma y el material que la constituyen, varían en gran medida dependiendo de la historia tectónica y de los procesos sedimentarios predominantes de acuerdo a la latitud en la que se localiza; Shepard (1969) reconoce tres grupos principales de sedimentos de plataforma continental de acuerdo al tamaño del grano:

- a) granos entre 2 mm (-1 phi) y 1/16 mm (4 phi), es decir arenas que pueden ser de tres tipos principales. El primer tipo corresponde a arenas terrígenas que se derivan del rompimiento de las rocas del continente por intemperismo y posterior erosión que las transporta hasta el mar, es decir, este tipo de arena se forma principalmente por procesos físicos. El constituyente principal de estas arenas es el cuarzo, pero pueden encontrarse otros minerales como feldespatos, micas, horblenda, augita entre otros. El segundo tipo corresponde a la arena calcarenita, la cual está constituida por conchas o fragmentos de conchas, foraminíferos, fragmentos de coral, y otros organismos consistentes de carbonato de calcio, por lo que se dice que es una arena biogénica. Las arenas autógenas constituyen el tercer tipo, las cuales se forman en el lugar por precipitación directa de las aguas marinas, es decir su origen es químico, como en el caso de las oolitas que están formadas por carbonato de calcio o por reemplazamiento de algún otro sedimento verdoso como la glauconita o sedimento café como la fosforita.

- b) El segundo grupo de sedimentos sobre las plataformas, se refiere al lodo que tiene un tamaño de grano menor a 1/16 (4 phi) mm. Técnicamente estos se dividen en limos con un diámetro entre 1/16 mm y 1/256 mm (8 phi), y las arcillas con diámetros menores a 1/256 mm (8 phi). Los lodos se generan a partir de los mismos procesos que las arenas, siendo los acarreados desde el continente los llamados terrígenos; los sedimentos biogénicos los constituidos por fragmentos de organismos; y los autigénicos, que se forman a partir de la precipitación química de los elementos disueltos en el agua de mar.
- c) El tercer tipo de sedimentos es menos común en las plataformas, y se refiere a los materiales con diámetro mayor a 2 mm (-1 phi) gránulos con diámetros menores a 4 mm (-2 phi), grava (*pebles*) con diámetro entre 4 y 64 mm (-2 a -6 phi), guijarros (*cobbles*) entre 64 y 256 mm (-5 a -8 phi), y bloques (*boulders*) con diámetro superior a 256 mm (-8 phi). Se origina principalmente por erosión, transporte y consecuente deposición de los materiales provenientes del continente, por lo que se denominan terrígenos o clásticos.

Por ejemplo, en las altas latitudes de las regiones polares, los principales agentes que afectan a la margen continental son los glaciales, el agua congelada, y la acción del frío (Vanne y Stanley, 1983). Por tanto los sedimentos que podrán acumularse serán más bien gruesos tales como arenas gruesas, gránulos, gravas, etc., mientras en las bajas latitudes de las regiones tropicales, caracterizadas por altos suministros fluviales, debe esperarse la presencia de sedimentos lodosos. En zonas donde el suministro fluvial esté ausente, habrá formación de arrecifes y desarrollo de plataformas carbonatadas (Vanne y Stanley, 1983) presentando sedimentos arenosos, porque la ausencia de materiales en suspensión permitirá la fotosíntesis de las algas zooxantelas con las cuales vive en simbiosis el pólipo del coral y que los pólipos no sean sepultados por los sedimentos. Tomando en cuenta la descripción anterior, Thompson (1961, en Vanney y Stanley, 1983) definió la distribución de los tipos de plataforma en relación a los cinturones climáticos principales (Fig. 1).

Por su parte, el talud continental según Dietz (1964) es por mucho el más inclinado, grande y alto de los rasgos topográficos de la superficie terrestre, esta es la zona donde la pendiente se incrementa entre 3° y 5° (localmente 39° a 40°), que se extiende desde el quiebre de la plataforma hasta el pie del continente o en una trinchera a una profundidad que se encuentra desde los 1,400 m a más de 3,200 m, mientras que su amplitud oscila entre los 20 a 100 km (Bouma, 1979; Lugo-Hubp, 1989b). Esta provincia puede ser uniforme, presentar terrazas, escarpes inclinados y cuencas de intratalud, o puede ser muy irregular como resultado de la presencia de deslizamientos, escarpes de falla o diapiros. La mayor parte de los taludes están cortados transversalmente en gran número de lugares en su porción superior por cañones submarinos (Bouma, 1979). Bajo esta provincia, se produce la transición entre corteza continental y corteza oceánica (Bouma, 1979; Boillot, 1984). Según Burk y Drake (1974) el talud continental cubre un área aproximada de 28.7 millones de km², lo que corresponde a 5.6 % de la superficie de la Tierra.

El lodo es el sedimento predominante sobre el talud continental, en segundo lugar se encuentra el material arenoso y gravoso (Bouma, 1979); aunque los sedimentos

carbonatados están menos representados, pueden ser el principal constituyente en ciertas regiones (Miliman, 1974). En general los sedimentos son más finos que los de la plataforma adyacente.

El límite fisiográfico principal, entre las dos provincias submarinas primordiales mencionadas anteriormente (plataforma y talud continental), es la ruptura de pendiente o quiebre de la plataforma, el cual es una interfase crítica distintiva de los márgenes continentales. El rompimiento de la plataforma, es definido como el primer punto con un cambio esencial en el gradiente sobre el límite más externo de la plataforma continental (Vanney y Stanley, 1983), su profundidad, distancia desde la costa y su configuración varían en gran medida en relación al marco estructural. Sin embargo, el régimen deposicional y progradación consecuente, así como la erosión y el desarrollo regresivo, modifican sustancialmente la configuración plataforma a talud. Aquí los sedimentos serán predominantemente lodosos y arenosos en segundo término.

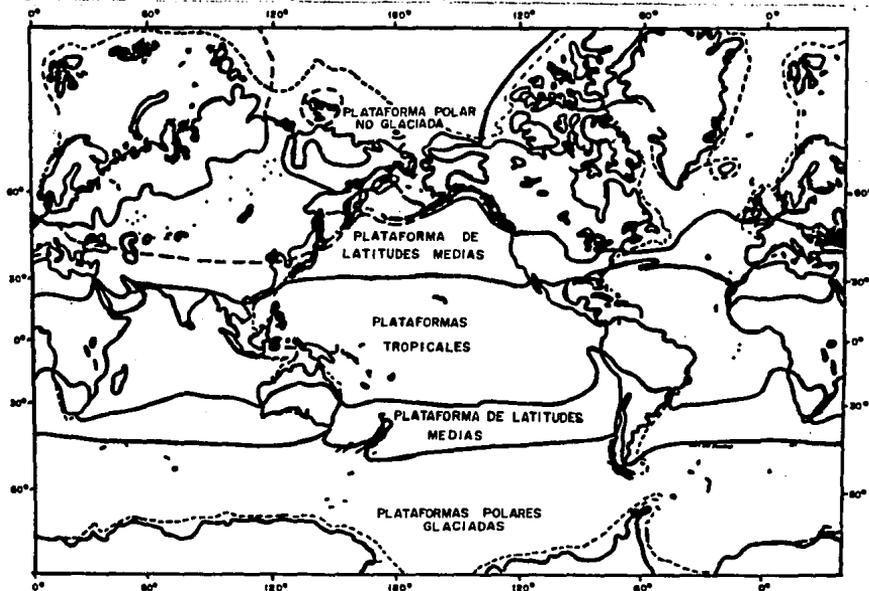


Figura 1. Mapa de distribución de plataformas en base a los cinturones climáticos principales (Polar, latitud media, tropical). Los límites pobremente definidos se dibujan con líneas discontinuas. Construido por Thompson (1961), tomado de Vanney y Stanley (1983).

El pie de continente es descrito originalmente por Heezen y Tharp (1954, en Lugo-Hubp, 1989b), como una planicie que presenta lomeríos con una altura de 10-20 m a 100-200 m, la cual se encuentra inclinada entre 1° y 6° y está formada por la coalescencia de conos de deyección o abanicos en la desembocadura de los Cañones submarinos y desarrollo de procesos gravitacionales y sedimentación marina, por lo que se dice que es una estructura

equivalente al piedemonte submarino (King, 1975; Bloom, 1978; Lugo-Hubp, 1989b). Los estudios sísmicos han demostrado que el pie de continente sobreyace corteza oceánica y por lo tanto, autores como Bloom (1978) lo consideran parte de la estructura oceánica. Sin embargo se construye a partir de materiales aportados por el continente, por lo que es considerado la principal zona de depositación sobre la margen continental. En la actualidad y en el tiempo geológico reciente (King, 1975), se presentan sedimentos generalmente de textura lodosa de origen pelágico, así como arenosos y gravosos originados por el transporte desde aguas poco profundas pendiente abajo por densas corrientes y masas de escombros submarinos (Bloom, 1978). Esta provincia comprende alrededor del 5 % del paisaje submarino.

Las plataformas desde el punto de vista sedimentológico, también se dividen en clásticas y carbonatadas, estas últimas se presentan en un ambiente marino especial en el cual existen aguas claras, cálidas y someras (Wilson, 1975). En la Fig. 2 se puede observar que éstas quedan restringidas a las zonas cercanas al Ecuador Terrestre, en latitudes no mayores a los 30° Norte y Sur sobre la porción Este de los continentes.

En la margen de las plataformas carbonatadas se llegan a desarrollar complejos arrecifales, los cuales presentan un importante armazón rígido que generalmente se forma en ambientes de oleaje de alta energía y aguas someras o bien se desarrollan construcciones carbonatadas como arrecifes, en los que aparentemente el armazón orgánico rígido, es escaso, aunque muchas construcciones carbonatadas tienen un armazón orgánico formado por organismos no cementados que atrapan sedimento (Logan, 1981).

Los quiebres de plataforma-talud carbonatados modernos, son altamente variables, ya que presentan morfológicamente rasgos complejos, distintos a los de sus contrapartes silicioclásticas, por la dominancia de producción de sedimentos orgánicos y rápida diagénesis *in situ*. Los quiebres plataforma-talud carbonatados son, en realidad márgenes carbonatados comúnmente caracterizadas por transiciones rápidas y abruptas de facies sedimentarias, comunidades biológicas y energía física (Hine y Mullins, 1983). Estos mismos autores reconocen cuatro tipos principales de quiebres plataforma-talud en márgenes carbonatados: (1) márgenes rodeadas por arrecifes (*reef-dominated rimmed margins*); (2) márgenes de atolón; (3) márgenes rodeadas por bancos de arena (*sand-shoal-dominated rimmed margins*) y (4) márgenes no rodeadas (*no-rimmed margins*).

Los quiebres de plataforma-talud a lo largo de las márgenes carbonatadas no rodeadas, son amplios, suaves y presentan rasgos no arrecifales que se encuentran en aguas más profundas (100-150 m). Estos límites de plataforma carbonatada, están caracterizados por una mezcla de granos de esqueletos y de no esqueletos, que pasan desde su porción superior como calcarenitas de moluscos y/o biohermas hasta su porción inferior a oozes pelágicos.

Hine y Mullins (1983), indican la existencia de cuatro procesos principales que controlan la localización y la tosca geomorfología de los quiebres de plataforma-talud carbonatados: (1) el tectonismo; (2) el flujo de energía física; (3) la topografía antecedente; y (4) la historia del nivel del mar. Procesos secundarios como desarrollo de barreras biogénicas,

producción de sedimentos *in situ*, transporte de sedimentos y cementación, colaboran para modificar la estructura del quiebre plataforma-talud.

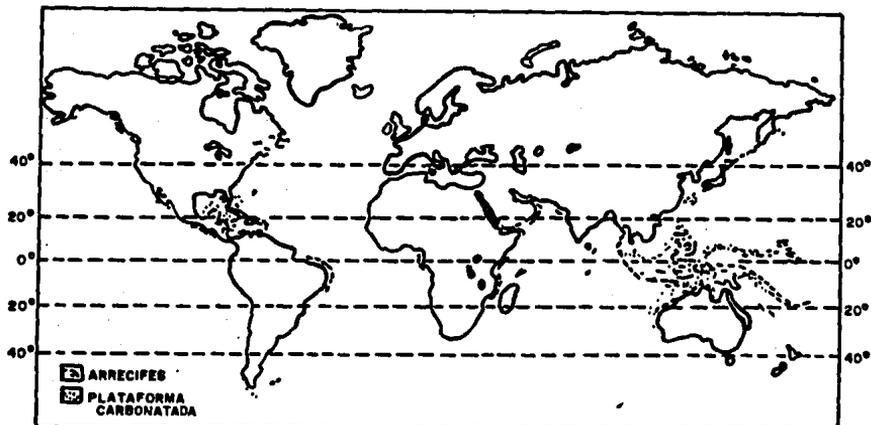


Figura 2. Distribución de Plataformas carbonatadas y arrecifes modernos, Tomado de Wilson (1975).
Notar la restricción de ambos a latitudes Norte y Sur inferiores a los 30°.

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un análisis geomorfológico para conocer la distribución y origen de las formas submarinas en la Plataforma de Campeche-Yucatán y contribuir al conocimiento geomorfológico de las plataformas carbonatadas.

Objetivos Particulares

- Construir un mapa batimétrico del área a escala 1:250,000.
- Realizar una descripción de las características geológicas de la zona de estudio.
- Reconocer algunos de los procesos por los que ha pasado la plataforma durante el Cuaternario.
- Conocer las causas geológico-geomorfológicas de la distribución alineada de los bancos arrecifales en la plataforma de Yucatán.

METODOLOGÍA

Material

El material cartográfico con el que se pudo contar para la realización del presente trabajo, es escaso por tratarse de un área marina. Sin embargo la Dirección de Oceanografía de la Secretaría de Marina proporcionó un banco de datos batimétricos y el Departamento de Oceanografía de la Dirección General de Geografía aportó tres cartas batimétricas a escala 1:200,000 elaboradas por PEMEX (Browder, 1974; Geosurce, 1974), que cubren el área de estudio en tres cuartas partes, también fueron utilizadas tres cartas topográficas 1:250,000 para precisar la línea de costa; se contó con los resultados del análisis granulométrico elaborado en el Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias de Mar y Limnología, y la información bibliográfica sobre la Evolución Tectónica, Geología y Sedimentología del Golfo de México y Plataforma de Campeche-Yucatán.

La investigación se realizó en el contexto de un Sistema de Información Geográfica (SIG), realizando la captura, generación y manipulación de la información espacial. El paquete utilizado fue el ILWIS (Integrated Land and Watershed Management Information System/Sistema de Información Integrada de Terreno y Manejo de Cuencas), diseñado por el Instituto de Levantamientos Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) en Enchede, Países Bajos (ILWIS, 1990).

La configuración del SIG esta diseñada para satisfacer los siguientes requerimientos:

- a) Aceptar datos de formato vectorial (por ejemplo mapas digitalizados) y de celdas (*raster*, por ejemplo imágenes de satélite en forma digital).
- b) Utilizar un banco de datos.
- c) Incorporar e interaccionar con modelos descritos en la literatura o disponibles como programas (por ejemplo modelos hidrológicos, de ordenamiento y utilización del terreno).

Fué necesario usar el SIG Arc Info en la interpolación automatizada de los datos batimétricos y la construcción de una carta de isobatas cada 200 m y otras cada 10 m.

Método

La metodología geomorfológica de este trabajo se dividió en tres áreas: campo, laboratorio y gabinete.

Campo

Se realizaron cinco campañas oceanográficas en la Plataforma de Campeche-Yucatán a bordo del B/O "Justo Sierra" de la U.N.A.M., en las siguientes fechas:

- 6 al 23 de marzo de 1990
- 25 de octubre al 8 de noviembre de 1990
- 13 al 25 de marzo de 1991
- 2 al 16 de octubre de 1991
- 13 de mayo al 13 de junio de 1992

Los derroteros realizados durante estas navegaciones o transectos, donde se ubican las estaciones de muestreo de estas campañas, se plantearon con la intención de conocer las características físicas, químicas, biológicas y sedimentológicas generales de la plataforma carbonatada, con el objetivo de evaluar el deterioro ambiental resultado de las actividades de extracción petrolera y transporte naviero en el área.

Durante estas campañas, los transectos de mayor interés morfológico fueron levantados mediante el uso de una ecosonda digital SIMRAD, en profundidades no mayores a los 2,500 m, registrándose la plataforma y parte del talud continental. La velocidad del buque durante el sondeo se expresa en nudos y el posicionamiento del barco al principio y al final de la toma, así como en el transcurso del recorrido, se anotó en coordenadas geográficas, por medio de un sistema de navegación por satélite G.P.S. (*Global Positioning System*), contando de esta manera con un mejor control de campo sobre el ecograma.

En cada estación, se recolectaron muestras de sedimento, con una draga Smith McIntyre de 15 litros de capacidad, a profundidades entre los 15 m a 210 m. En la primer campaña se realizaron 79 estaciones de muestreo. Del sedimento colectado en cada estación, se separó aproximadamente 0.5 litros, el cual se guardó dentro de una bolsa de plástico previamente etiquetada con los datos de cada estación y posteriormente se analizó en el Laboratorio de Sedimentología del I.C.M.y L. de la U.N.A.M.

Laboratorio

En el laboratorio se procesaron los sedimentos colectados con la finalidad de caracterizar sedimentológicamente el área de estudio, asociando los tipos texturales de sedimento con las características geomórficas de la margen continental en la porción Sureste del Golfo de México.

Las muestras lodosas (limo + arcilla) se secaron, pesaron y por medio del tamizado en húmedo se separó la fracción gruesa (arena + grava). Las partículas de lodo se pesaron y se obtuvo el porcentaje de la fracción lamosa. Las muestras arenosas se tamizaron utilizando la técnica sugerida por Folk y Ward (1957, en Folk, 1974) con una serie de tamices a cada phi, entre -1 phi y 4 phi, obteniéndose los atributos granulométricos: media, desviación estándar, asimetría y curtosis. Así, a partir del análisis granulométrico se definieron cuatro clases texturales para los sedimentos del área de estudio:

- 1) **Arena:** el porcentaje de arena es superior al 90 %.
- 2) **Arena lodosa:** el porcentaje de arena se encuentra entre el 50 y 90 %.

- 3) **Lodo arenoso:** el porcentaje de arena se encuentra entre el 10 y 50 %.
- 4) **Lodo:** el contenido de arena es inferior al 10 %.

Gabinete

Para el análisis geomorfológico-cartográfico del área, se digitalizaron las isobatas a equidistancias variables (5, 10, 100, 1,000 m) de tres cartas batimétricas a escala 1:200,000 de la Sonda de Campeche y el área marina comprendida al Norte de Puerto Progreso, Yucatán, y las cartas 1:250,000 que cubren los estados de Campeche y Yucatán.

La base de datos batimétricos se incorporó dentro del SIG Arc Info, software con el que se convirtieron las coordenadas geográficas en coordenadas UTM e interpolaron estos datos obteniendo un mapa con el que se cubrió el hueco dejado en la porción noreste del área no cubierta por las cartas batimétricas, así como el límite del área de estudio sobre el talud continental hacia el norte.

Una vez construida la carta, se incorporó al archivo vectorial de ILWIS y se creó un archivo conteniendo la información batimétrica del área total, posteriormente este archivo vectorial se rasterizó, facilitando el análisis morfométrico del área de forma automatizada dentro de ILWIS, sistema que permite reducir el consumo de tiempo de los procesos y sintetiza gran cantidad de información para su examen espacial (Walsh, 1985), además permite manipular tablas y mapas (Valenzuela, 1988).

El análisis geomorfológico por su parte, permite aclarar mediante la utilización de trabajos de gabinete y de campo, las manifestaciones en el relieve de los levantamientos y fallas nuevas (Lamadrid-Marón y Horta-Carballeda, 1984), método que es muy utilizado por los geomorfólogos rusos y cubanos, obteniendo buenos resultados en la búsqueda de estructuras favorables en la acumulación de petróleo y gas en sus respectivos países.

El análisis morfométrico, incluye la elaboración de las cartas hipsométrica, de pendientes, y de morfolineamientos. También se realizó la construcción de las cartas de morfografía, de estructuras disyuntivas según Orlova (1981), así como la rosa o grieta de fracturas con la metodología expuesta por Lamadrid-Marón y Horta-Carballeda (1984) y Lugo-Hubp (1988).

Para el análisis geomorfológico es pertinente la construcción de perfiles geológico-geomorfológicos del área con auxilio de la carta batimétrica según la metodología de Ortiz-Pérez (1990). Los perfiles batimétricos fueron interpretados deduciendo la presencia de fracturas y fallas en el escarpe e irregularidades en el fondo, como bancos arenosos y construcciones arrecifales.

El análisis de los sedimentos, así como la información previa obtenida sobre los mismos, principalmente de Logan (1969) y Logan *et al.* (1969) colaboraron de manera importante en la definición de unidades geomorfológicas ya que aquellos reflejan la naturaleza del ambiente de sedimentación y geomórfico.

Finalmente, con la información obtenida de las cartas temáticas, modelos digitales, modelos digitales en tres dimensiones, sedimentos y perfiles batimétricos, se elaboró la leyenda y la carta morfogenética a escala 1:250,000, la cual ha sido objetivo fundamental de las investigaciones geomorfológicas (Lugo, 1988a).

En la Figura 3 se muestra el esquema del método utilizado para esta investigación.

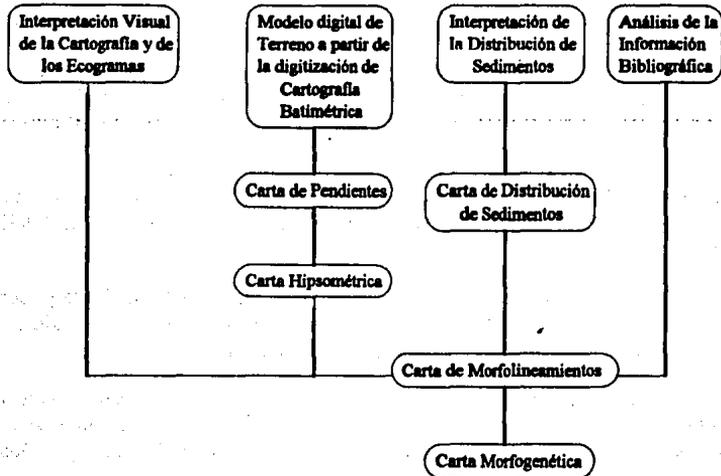


Figura 3. Método de trabajo de la investigación.

II. ANTECEDENTES

Los trabajos clásicos teóricos sobre el origen de las plataformas y taludes continentales fueron reimpresos por la American Association of Petroleum Geologist, (A.A.P.G.) en 1972 bajo el título de *Continental shelves origin and significance*. A continuación se realiza una pequeña clasificación de los temas contenidos en esta recopilación.

De estos trabajos los relacionados con el origen de las plataformas son los de Umbrogue, (1946) y Less (1951) donde se menciona que la orilla de la plataforma se encuentra generalmente a 200 m, y que la mayoría de los movimientos recientes se encuentran plasmados por la posición de las terrazas marinas, éstas se presentan a lo largo de las costas y océanos, indicando que las plataformas abruptas no pueden tener un origen subaéreo.

Entre las investigaciones que se refieren a la evolución a lo largo del tiempo en las plataformas continentales, se pueden mencionar las de Pratt (1950), Weaver (1950) y Dietz (1952).

Existe sólo un trabajo relacionado al origen de los taludes continentales de Dietz y Menard (1951) mencionando que el quiebre de la pendiente de la plataforma es causado por la abrasión del oleaje, relacionado con el descenso del nivel del mar.

Existen en la literatura trabajos sobre el origen de la plataforma-talud continental, denominado en algunos casos terraza continental, ya que por su origen común es difícil separarlas, entre los que podemos mencionar los de Dietz (1952), Emery (1965) y Shepard (1973).

Sin embargo, esta recopilación no es la única sobre el tema. Entre los trabajos más recientes sobre la causas de la forma de los taludes, se encuentra el de Hine y Mullins (1983), específicamente sobre quiebres plataforma-talud carbonatados; el de Vanney y Stanley (1983), en el cual incorporan observaciones de diferentes ambientes geológicos y geográficos, enfocados a aspectos geomorfológicos y sintetizan los tipos principales de rompimientos de plataforma en relación a la depositación en cinturones climáticos y al control estructural; el de Bouma (1979), donde se clasifican los taludes con base en el control estructural y la modificación que sufren, debido a la sedimentación; y el trabajo de Pitman III y Golovchenko (1983) sobre el efecto de los cambios del nivel del mar sobre el quiebre de la plataforma y los taludes en márgenes pasivas.

Las causas de la configuración de los arrecifes modernos, fueron estudiadas por Purdy (1974), atribuyéndola a los procesos kársticos que sufrió la plataforma. Cuando esta permaneció expuesta sobre el nivel del mar se vió afectada por la disolución de las aguas meteóricas desarrollando depresiones y mogotes; el posterior ascenso del nivel del mar permitió la colonización coralina de la margen continental.

Bloom (1974) analiza la teoría clásica de Darwin y la de Daly "Del Control Glacial", sobre el origen de los complejos arrecifales, mencionando que la del primero es básicamente

correcta y criticando la de este último, en el sentido de que los arrecifes no están truncados en su porción superior por efecto de la erosión al oscilar el nivel del mar durante el Pleistoceno. Para Bloom (1974), los arrecifes modernos son acumulaciones superficiales que sobreyacen densas secciones carbonatadas del Cenozoico, que presentan abundantes discordancias efecto de la disolución, fósiles de organismos y estructuras sedimentarias de aguas poco profundas. Por último menciona que los arrecifes Cuaternarios son resultado de la depositación de sustratos que se subducen lentamente, en los cuales los cambios glacio-eustáticos del nivel del mar durante el Pleistoceno tienen gran importancia sobre la morfología de los arrecifes.

Maxwell (1968, en Bloom, 1974) propuso una clasificación para la forma de los arrecifes enfocada a partir de la Teoría de Darwin, estudiando la Gran Barrera Arrecifal de Australia, en la que es utilizada la forma en planta de las plataformas arrecifales individuales para la subdivisión y está basada en el ciclo de vida de esta entidad orgánica y sedimentaria.

Wilson (1974) estudia los tipos de márgenes carbonatados en registros estratigráficos del Cretácico reconociendo tres tipos de complejos arrecifales en éstas: 1) montículos de lodo en talud inferior, 2) complejos de colinas arrecifales y 3) complejos de pared arrecifal. Wilson (1975) elabora un importante trabajo sobre las características ambientales y geológicas de las plataformas carbonatadas tanto antiguas como recientes, indicando la distribución de éstas últimas (Fig 2).

Logan (1981) realiza una clasificación de los arrecifes basada en su forma vista en perfil estratigráfico y disolución de las facies sedimentarias internas similares a fin de poder comparar a éstos. Una clasificación basada en los parámetros sedimentológicos, tales como la naturaleza del armazón y la geometría de las facies, está constituida por las siguientes unidades (desde la cuenca hacia la tierra, Fig. 4):

- 1) Talud distal.
- 2) Talud proximal.
- 3) Ladera del arrecife.
- 4) Armazón arrecifal.
- 5) Cresta arrecifal.
- 6) Llanura arrecifal.
- 7) Arena post-arrecifal.

El autor realiza una de las explicaciones más completas acerca de la variedad de factores físicos y biológicos que determinan la presencia y controlan la morfología del arrecife, entre los que se encuentran energía del ambiente, topografía preexistente, nutrientes, intensidad luminica etc. La morfología del arrecife jamás es resultado de uno o dos factores, pero sí es el resultado de la interrelación compleja de una gran variedad de factores (Logan, 1981, Fig. 5).

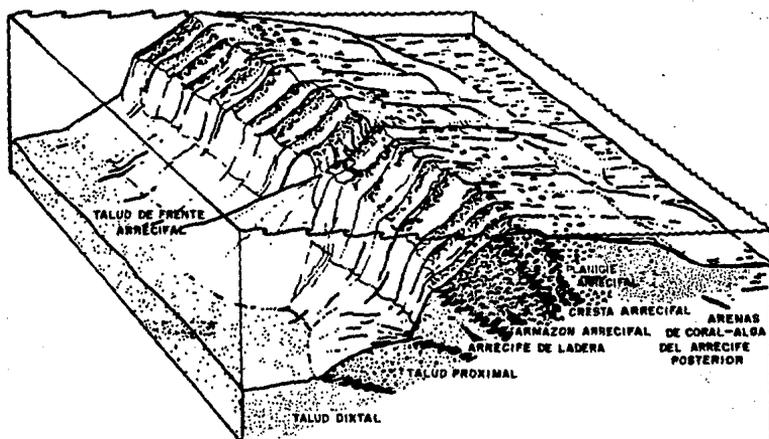


Figura 4. Sección idealizada de la distribución de facies sedimentarias en complejos arrecifales similares a aquellos formados por corales hermatípicos. La naturaleza suavemente cóncava de un armazón arrecifal es artística, no realista y el ángulo del talud arrecifal es mucho más suave que el observado. Tomado de Logan (1981).

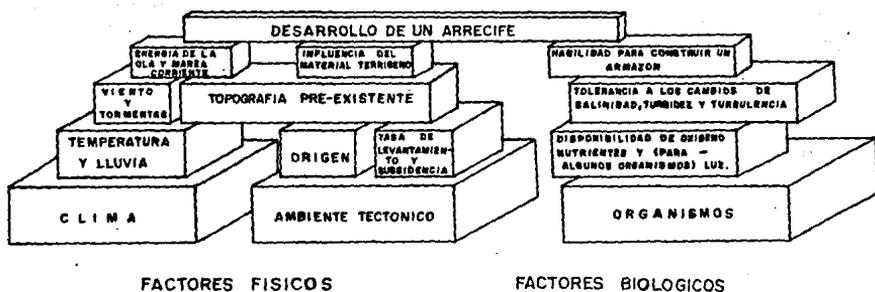


Figura 5. Principales factores que influyen en el desarrollo de un arrecife. El arreglo piramidal intenta mostrar la interrelación de estos factores. Tomado de Logan (1981).

Hopley (1982) y Guilcher (1988) publicaron dos libros acerca de la teoría de los arrecifes y sobre una gran cantidad de estudios de caso alrededor de todo el mundo e incluyen una extensa bibliografía al respecto.

En México como en la mayor parte de los países latinoamericanos los trabajos relativos a la morfología del fondo marino son escasos; sin embargo a nivel general, podemos mencionar que se inician a finales de los años 60'.

Adveev y Beloussev (1968), inician los trabajos sobre la geomorfología del Golfo de México y Mar Caribe proponiendo una división regional natural constituida por cinco unidades:

- 1) Golfo de México
- 2) El Mar Caribe
- 3) La Región Bahama
- 4) Trinchera de Puerto Rico
- 5) La Cuenca de Tobago y el Talud de Barbados

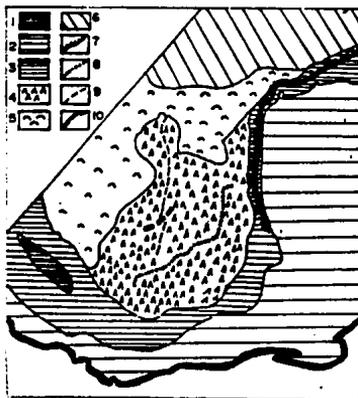


Figura 6. Mapa geomorfológico del Golfo de Campeche construido por Adveev y Beloussev (1968). 1) Terrazas sobre el talud continental; 2) La plataforma; 3) Superficie comparativamente suave del talud; 4) Superficie accidentada sobre el talud; 5) Planicie de acumulación con pequeñas colinas; 6) Planicies de acumulación subhorizontal; 7) Escarpe de Campeche; 8) Escarpes de falla sobre el talud; 9) Ejes de pliegues; 10) Ejes de sierras.

Incluyen un mapa denominado Golfo de Campeche (Fig. 6), el cual presenta una regionalización geomorfológica del Sureste del Golfo de México y el Caribe.

Bouma (1968) desarrolla una revisión de los trabajos geológicos y geofísicos elaborados en el Golfo de México, así como una breve reseña de las características fisiográficas,

batimétricas y sedimentológicas de fondo. También incluye un mapa de provincias fisiográficas del Golfo de México compuesto por 19 unidades (Fig. 7).

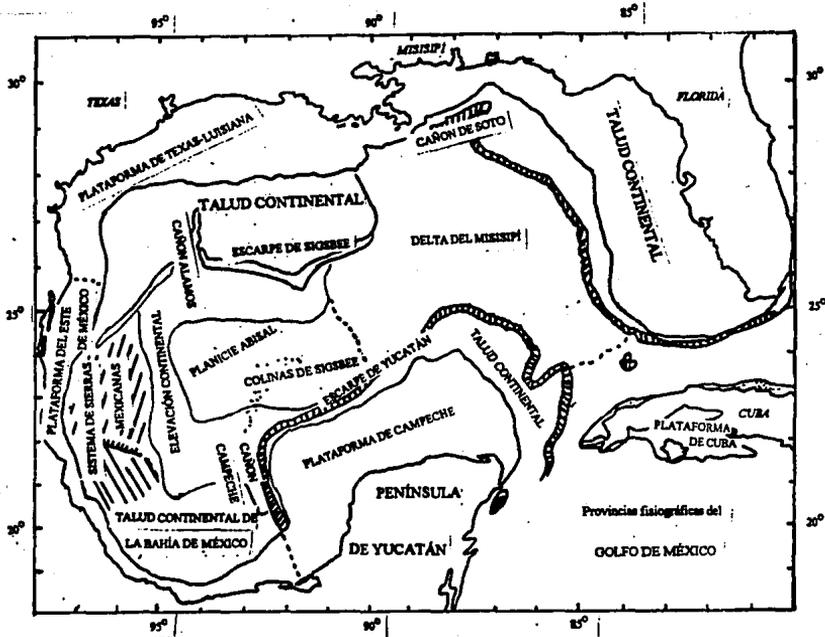


Figura 7. Provincias fisiográficas del Golfo de México. Tomado de Bouma (1968).

Los principales trabajos respecto a la geomorfología del Golfo de México son de Bergantino (1971), en el que se incluye un mapa de regiones morfológicas definidas con un criterio similar al de geomorfológicos continentales, en base a perfiles batimétricos y Uchupi (1975), quien es el primero en proponer una división del Golfo de México con base en la distribución que presentan los sedimentos por su origen.

Martin y Bouma (1976) dividen al golfo en forma taxonómica de acuerdo al origen, fisiografía y magnitud espacial. Separan los mayores elementos del Golfo de México en dos grandes grupos: continente y cuenca oceánica que corresponden al nivel I de su clasificación, mientras que dentro del nivel II se localizan la margen continental y el piso de la cuenca oceánica, en el nivel III se encuentran las provincias y en el nivel IV están

presentes las subprovincias y por último en el nivel V los rasgo sindivuales dentro de las subprovincias (Fig. 8).

Lugo-Hubp (1985, 1991) y Lugo-Hubp y Córdova-Fernández de Arteaga (1991), a partir de la interpretación geomorfológica de las cartas batimétricas de INEGI y de un análisis exhaustivo de la literatura geológica y geomorfológica de México, realizaron las cartas de Morfoestructuras del Fondo Oceánico (escala 1:8,000,000), Geomorfología 1 y Morfogénesis (escala 1:4,000,000) respectivamente.

La geomorfología de las costas de México ha sido estudiada recientemente por Ortiz-Pérez y Espinoza-Rodríguez (1991) desde el punto de vista de los paisajes costeros agrupando las siguientes unidades:

- 1) Costas erosivas (costas rocosas).
- 2) Costas abrasivo-acumulativas (costas mixtas).
- 3) Costas acumulativas (playas bajas arenosas).
- 4) Costas acumulativas (costas potamogénicas y de marismas).
- 5) Costas biogénicas (barrera arrecifal).

Por lo que respecta a los estudios geológicos del Sureste de México éstos han sido realizados principalmente por parte de geólogos petroleros entre los que figuran López-Ramos (1973), Viniestra (1981) y Peterson (1982), los cuales reconocieron la estratigrafía, la litología, la estructura y los paleoambientes de depósito de la Plataforma de Campeche-Yucatán y áreas adyacentes.

Antoine *et al.* (1974) analizaron las estructuras de las márgenes continentales del Golfo de México concluyendo que son el resultado de la actividad tectónica relacionada al movimiento salino, desarrollo arrecifal, actividad de las corrientes y aporte masivo de sedimentos en la margen Noroeste del golfo.

Winker y Buffler (1988), al estudiar la evolución paleogeográfica de las zonas profundas y las márgenes del Golfo de México desde el Jurásico Temprano hasta el Cretácico Medio, enfatizan la amplitud geográfica y los aspectos geométricos de las márgenes cretácicas identificando el control tectónico y paleoambiental.

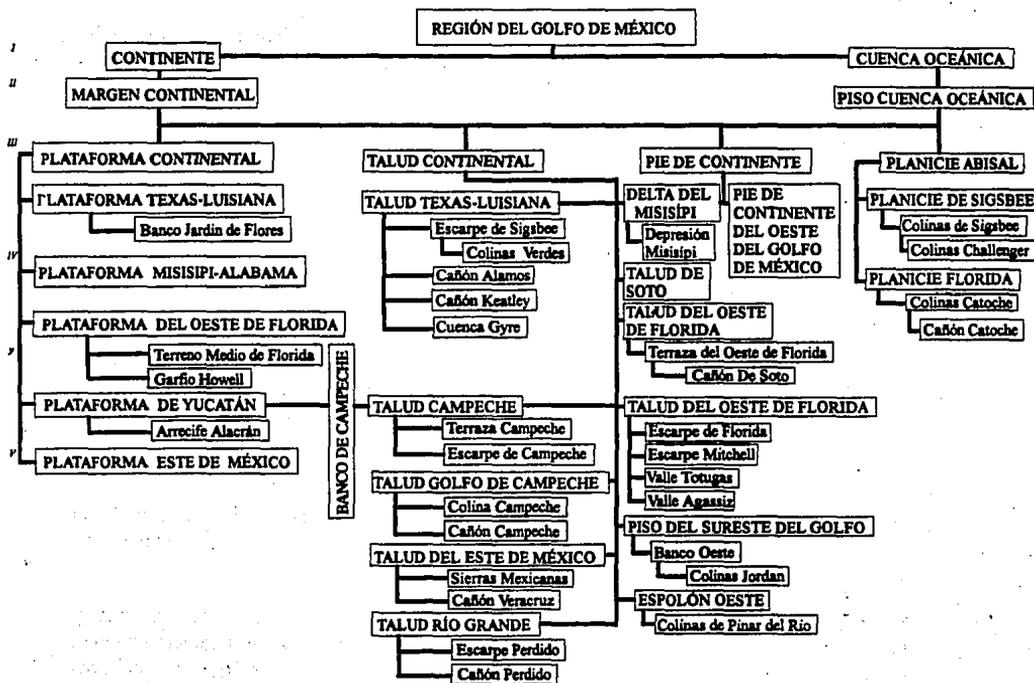


Figura 8. División taxonómica de las formas submarinas del Golfo de México. Nivel I cuenca oceánica y continente: rasgos de primer orden de la superficie terrestre. Nivel II divisiones geomórfas principales. Nivel III provincias. Nivel IV subprovincias y rasgos principales. Nivel V elementos presentes en las provincias submarinas. Tomado de Martín y Bouma, 1976.

La Evolución geológica-tectónica del Golfo de México y el Mar Caribe ha sido estudiada por Wilhem y Ewing (1972), Del Castillo y Vivaz (1973), Moore y Del Castillo (1974), Coney (1973), Aguayo-Camargo y Marin-Córdova (1987), Ross y Scotese (1988), Stephan *et al.*, (1990); Aguayo-Camargo y Carranza-Edwards (1991) elaboraron la carta de Tectónica Marina y De Cserna (1992) construyó la carta Tectónica, ambas a escala 1:4,000,000 para el Atlas Nacional de México donde interpretan el origen del golfo asociado a un *paleorift* ubicado en el Noroeste del Golfo de México, debajo del actual Delta del Misisipi, a grandes fallas de transcurrencia con dirección NW-SE en la porción septentrional de la República Mexicana, al desplazamiento del bloque Yucatán desde el centro de la cuenca en sentido de las manecillas del reloj o contrario a este y a la tectónica salina en la porción Sur y Norte del Golfo de México.

La sedimentología en la República Mexicana fué elaborada para el Atlas Nacional de México por Carranza-Edwards y Aguayo-Camargo (1991); representando en un mapa escala 1:8,000,000 los tipos de sedimento por características composicionales y deposicionales; el área del presente trabajo fué estudiada por Aguayo-Camargo *et al.* (1991) concluyendo que los sedimentos terrigenos del la Sonda de Campeche son aportados desde la Laguna de Términos, mientras que los sedimentos carbonatados provienen de la plataforma de Yucatán por la relativa claridad y temperatura de sus aguas y la presencia de una zona de transición localizada al Este de Laguna de Términos.

Logan *et al.* (1969) trabajaron esencialmente la paleosedimentación en la cual la presencia de sedimentos de la plataforma fueron interpretados en términos de cambios ambientales a través del tiempo, mientras que Logan (1969) estudió las características biológicas, geológicas y morfológicas de las construcciones arrecifales del borde de la plataforma, reconociendo la posibilidad de que estas se desarrollan sobre dunas pleistocénicas o rasgos kársticos preexistentes.

Bouma (1972) estudió muestras de núcleos que penetraron sedimentos del Holoceno y Pleistoceno reconociendo con ello las condiciones de transporte y depósito durante dicho intervalo de tiempo.

Rezak y Serpell (1972), trabajaron muestras de sedimentos carbonatados de las plataformas de Florida y Campeche-Yucatán, agrupando a éstos en cuatro categorías:

- 1) Carbonatos de Plataforma.
- 2) Arrecife de Coral-Alga.
- 3) Lodos carbonatados y evaporíticos
- 4) Carbonatos de aguas profundas.

Macintyre *et al.* (1977) analizaron un núcleo de la Isla Pérez recolectado por Bonet (1967), por métodos radiométricos y mineralógicos que confirman que la sección del Holoceno en la Isla es de al menos 22.7 m de espesor, probablemente un máximo de 33.5 m y representa un ambiente de plataforma a sotavento con energía moderada que se acumuló a una tasa entre 2.5 a 6 m/1,000 años, dominado por la comunidad de *Acropora*

cervicornis.

Por lo que respecta al uso de los Modelos Digitales de Terreno, éstos han sido utilizados en análisis geomorfológicos por Franklin (1987), a partir de los cuales fué posible clasificar el paisaje del área del Yukón y posteriormente someter la clasificación a un análisis de correlación entre las variables altura, pendiente y geometría de laderas. Palacio-Prieto *et. al.* (1991) realizan una evaluación geomorfológico-estructural con modelos sombreados y pares estereoscópicos para un intrusivo en Baja California, reconociendo las principales direcciones de los tectolineamientos; y en áreas marinas frente a la costa española, Pelton (1987) construyó un modelo sombreado a partir de datos batimétricos que se insertaron en un programa de computadora.

Los trabajos antes mencionados sobre la geomorfología marina en México, se han realizado sólo a escala pequeña (1:8,000,000 y 1:4,000,000). La presente investigación es de las primeras que se realizan a escala mayor (1:2,000,000), en una área de gran importancia económica en el país como es la Plataforma Campeche-Yucatán.

III. ÁREA DE ESTUDIO

La presente investigación se desarrolla en la porción extremo oriental del Golfo de México, el cual en su conjunto ha sido frecuentemente caracterizado como una pequeña cuenca marina (Menard, 1967) o un mar tipo mediterráneo (Garrison y Martin, 1973), cubriendo un área mayor a 1,500,000 km², y presentando una profundidad máxima de 3,700 m. El golfo presenta muchos de los rasgos geomorfológicos característicos de los grandes océanos (Martin y Bouma, 1976), lo que ha propiciado la atención de muchas investigaciones geológicas, en especial las relacionadas con la geología del petróleo, principalmente por parte de las compañías petroleras estadounidenses, realizándose la mayoría en la porción Noroeste del Golfo de México.

El Golfo de México está comunicado con el Mar Caribe por medio del Estrecho de Florida y el Canal de Yucatán con una profundidad aproximada de 2,500 m (Avdeev y Beolushev 1968).

LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza entre los paralelos 18°40' a 23°10' de Latitud Norte y los meridianos 89°30' a 92°45' al Oeste de Greenwich y tiene un área de un poco menor a 148,857 km² (Fig. 9). Esta se dividió en dos zonas que fueron denominadas:

Zona 1: Sonda de Campeche (zona de las plataformas petroleras).

Zona 2: Plataforma Continental de Campeche-Yucatán, que incluye los Cayos de Arenas y Arcas, así como los Arrecifes de Triángulo y Alacrán.

La localización de todas las estructuras de coral-alga, así como las comunidades orgánicas que los constituyen se presentan en la Tabla 1.

FISIOGRAFÍA

Fisiográfica y sedimentológicamente el golfo ha sido dividido por Bergantino (1971) y Uchupi (1975) en dos grandes provincias, una terrígena al Oeste y una carbonatada al Este (Fig. 10). La provincia terrígena comprende el Delta y el Cono del Misisipi, las terrazas continentales Norte, Oeste, Sureste, así como el golfo abisal o golfo profundo, mientras que dentro de la provincia carbonatada se encuentran el Banco de Campeche (Plataforma Campeche-Yucatán) y la Plataforma cercana al Oeste de Florida.

Bergantino (1971), separa al Golfo de México en Divisiones Geomórficas Principales, Provincias y Secciones, indicando que la Plataforma Campeche-Yucatán es una sección que pertenece a la Provincia de la Plataforma del Golfo de México, la cual a su vez forma parte de la Provincia Geomórfica Principal, denominada Planicie Atlántica. La Sección Plataforma de Campeche Yucatán la divide en las subsecciones Plataforma Interna y Plataforma Externa.

Martin y Bouma (1976) al dividir taxonómicamente al golfo indican que la Plataforma de Yucatán y el Banco de Campeche pertenecen al nivel de provincia, mientras que el Arrecife Alacrán al de subprovincia.

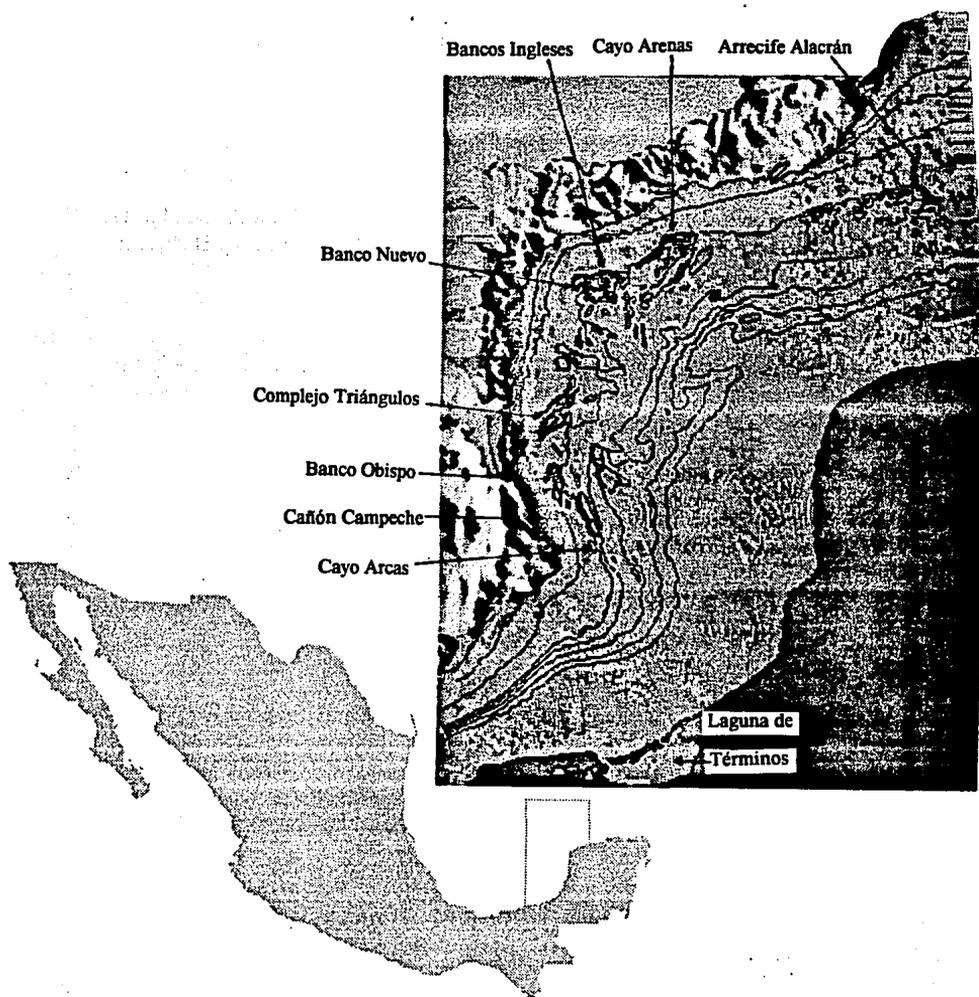


Figura 9. Área de estudio

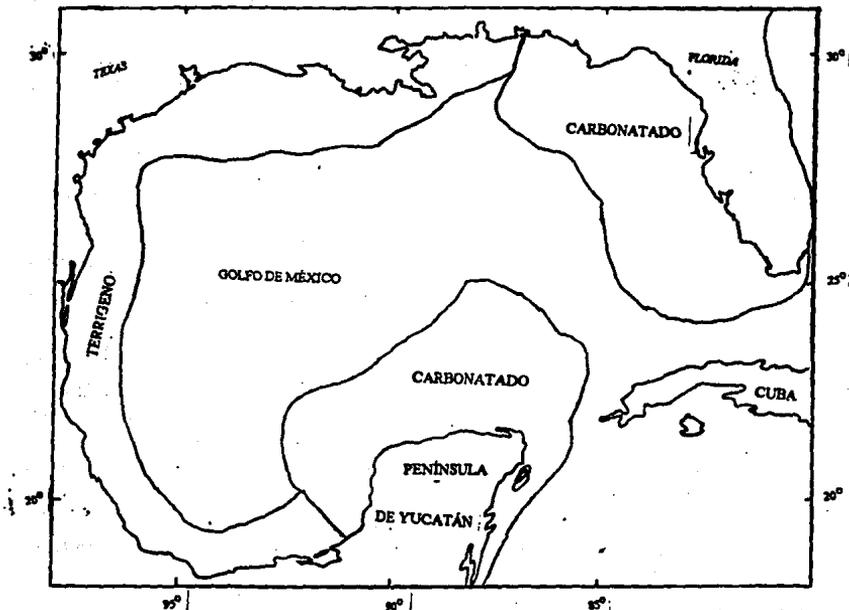


Figura 10. Provincias sedimentarias en el Golfo de México. Simplificado de Logan *et al.*, 1969.

La Plataforma Continental del Golfo de México es el borde sumergido del macizo continental y dentro de ella se localiza la subprovincia de la Plataforma de Yucatán, también llamado Banco de Campeche y es la cima de un amplio banco carbonatado, está limitado al Oeste, Norte y Este por suaves terrazas y un talud continental fuertemente inclinado. Este banco se extiende entre 180 y 300 km desde la línea de costa hasta el rompimiento de la plataforma (Martin y Bouma, 1976). La porción Norte de esta última, consiste de una zona plana interna que termina cerca de los 60 m y una zona externa que se extiende hasta la cima del talud alrededor de los 130 m (Logan *et al.*, 1969). La superficie de la zona externa es completamente irregular, caracterizada por numerosas elevaciones y planicies entre las mismas (Uchupi, 1975). Estos rasgos se concentran en la porción somera y en las terrazas que son marginales al talud continental.

Sobre el límite de la plataforma interna se desarrollan las principales irregularidades topográficas constituidas por numerosos complejos arrecifales, terrazas y rasgos kársticos de pequeña dimensión (Logan *et al.*, 1969; Garrison y Martin, 1973). Los complejos arrecifales muestran evidencias de nivelación entre los 31 y 37 m y planación a los 31 m (Uchupi, 1975), las terrazas se localizan entre las isobatas de 83 y 100 m, 46 y 58 m y 26 y 33 m; éstas se formaron según Bonet (1967), Logan *et al.* (1969) y Uchupi (1975) durante las transgresiones del Pleistoceno y Holoceno, es decir corresponden a antiguas líneas de costa que marcan detenciones o estadios de reposo de los cambios eustáticos del nivel del mar y les corresponde una antigüedad respectivamente, de 14,000, 11,000 y 8,000 años, de acuerdo a Logan (1969).

La terraza entre 46 a 58 m es la más interesante debido a que en ella se desarrollan los arrecifes Arenas, Obispo, Triángulos Este, Triángulos Oeste, Bancos Ingleses, Nuevo, Arenas y Alacrán. Al observar el mapa de la Figura 9 y Tabla 1 se aprecia que éstos se localizan en la porción Este de la Plataforma o Sonda de Campeche, ya que la porción oriental corresponde a un ambiente de depositación terrígeno. El Arrecife Alacrán es el más grande de los arrecifes de la plataforma, con aproximadamente 22 km de largo y ancho, además es el único que presenta una laguna (Korniker, 1962).

A partir de la isobata de los 58 m en la plataforma externa, el relieve presenta relativamente menos rasgos y suavizados generalmente (Bergantino, 1971). La intensidad de la pendiente se incrementa notoriamente cerca del límite de la plataforma

Lugo-Hubp (1990) y Lugo-Hubp y Córdova-Fernández de Arteaga (1991) consideran a la plataforma y talud continental de Yucatán dentro del relieve del fondo oceánico en la zona continental submarina, presentando la primera, una ampliación gradual hasta los 220-240 km en el extremo septentrional, con una inclinación de unos minutos con valores máximos de 1.5°, y al talud continental en su porción Norte y Oeste como escarpado entre las profundidades de 2,400 y 3,600 m, mientras que al pie de continente, lo consideran una superficie de inclinación suave que se encuentra por debajo del talud continental, con una pendiente de 1.5° a 10-25°, presentando una amplia extensión en el Golfo de México (Fig. 11).

**Distribución de Arrecifes de Coral-Alga
en la región Sureste del Golfo de México**

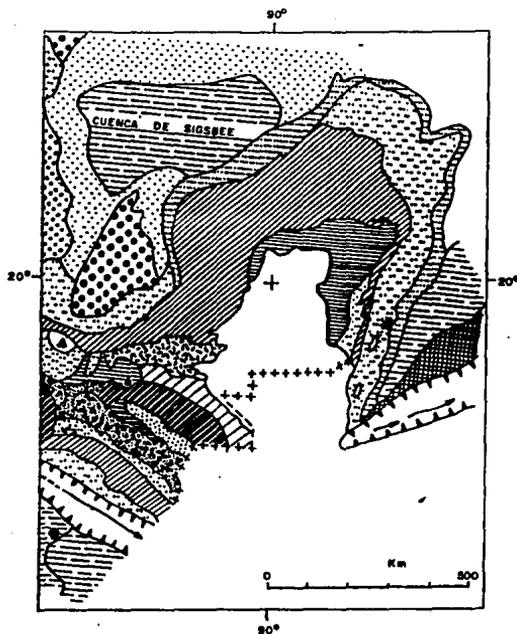
| Nombre | Comunidades de Organismos | | | | | Lat (N) | Long (W) | Estructura de la comunidad Constructora | Rango de Profundidad en (m) |
|--------------------------------|---------------------------|---|---|---|---|---------|----------|---|-----------------------------|
| | a | b | c | d | e | | | | |
| 1) Arrecife Alacrán | x | x | x | x | x | 22°30' | 89°45' | Arrecife Emergido | 0-36 |
| 2) Complejo Arrecifal Arenas | | | | | | | | | |
| Pared Arrecifal NE | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-46 |
| Pared Arrecifal SE | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-46 |
| Pared Arrecifal W | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-46 |
| 3) Arrecife Nuevo | x | x | x | x | x | 21°50' | 92°05' | Arrecife Emergido | 0-35 |
| 4) Bancos Ingleses | x | x | x | x | x | 21°48' | 91°57' | Banco Arrecifal | 9-46 |
| 5) Triángulo Oeste | x | x | x | x | x | 20°59' | 92°18' | Arrecife Emergido | 0-46 |
| 6) Complejo Triángulo Este-Sur | | | | | | 20°55' | 92°13' | | |
| Triángulo Este | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-43 |
| Triángulo Sur | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-43 |
| 7) Banco Obispo | x | x | x | x | x | 20°28' | 92°13' | Banco Arrecifal | 5-46 |
| 8) Complejo Arrecifal Arcas | | | | | | 20°13' | 91°59' | | |
| Cayo del Centro | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-43 |
| Cayo del Oeste | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-43 |
| Cayo del Este | x | x | x | x | x | | | Arrecife Emergido | 0-43 |
| 9) Elevaciones sin nombre | x | x | | | | | | Banco Duro | 24-61 |

a *Gypsina-Lithothamnium*b *Agariacia-Monstrastea*c *Diploria-Monstrastea-Porites*d *Acropora palmata*d *Lithothamnium-Halimeda-Diploria-Porites*

Tabla 1 Tomado de Rezak, R y Serpell, G.S., 1972

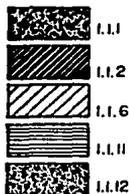
Figura 11. Mapa de formas de estructuras principales del territorio mexicano. Tomado de Lugo-Hub, 1990.

1.1.1 Montañas de bloque, esencialmente de rocas mesozoicas intrusivas y metamórficas. 1.1.2 Montañas plegadas, principalmente de rocas mesozoicas. 1.1.6 Altiplano con superficie acumulativa y montañas plegadas de rocas mesozoicas. 1.1.11 Mesetas en sistemas montañosos plegados y de bloques. 1.1.12 Montañas plegadas y lomeríos de rocas sedimentarias mesozoicas. 1.2.1 Planicies acumulativas y erosivas con elevaciones montañosas de rocas volcánicas, sedimentarias y metamórficas. 1.2.2 Depresiones intermontanas. 1.3.2 Paleogénicas. 1.3.3 Neogénicas. 1.4.1 De acumulación aluvial, litoral y eólica. 1.4.2 Deltaicas. 1.5.1 Campos volcánicos cuaternarios. 1.5.2 Estratovolcanes principales. 2.1.1 Plataforma continental 2.1.2.1 Talud continental de inclinación débil a fuerte. 2.1.2.2 Talud continental de inclinación media, con numeroso valles submarinos debidos a la estructura geológica de pliegues. 2.1.2.3 Talud continental con relieve montañoso de domos salinos. 2.1.2.4 Talud continental escarpado. 2.1.4 Pie de continente. 2.2.1 Trincheras. 2.2.2.1 Planicies abisales horizontales, con pocos accidentes. 2.2.2.2 Planicies abisales onduladas y con lomeríos. 2.2.3 Crestas montañosas. 2.2.8 Montañas submarinas de más de 1,000 m de altura. 2.2.9.1 Zona axial de fosas profundas deprimidas. 2.3.1 Bancos.



I TIERRA FIRME

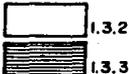
1.1 SISTEMAS MONTAÑOSOS Y ALTIPLANO



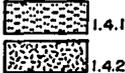
1.2 MARGENES MONTAÑOSAS



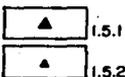
1.3 SUPERFICIES DE PLATAFORMA



1.4 PLANICIES COSTERAS ACUMULATIVAS

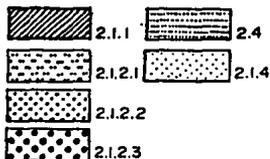


1.5 VOLCANES

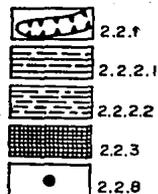


2 FONDO OCEANICO

2.1 ZONA CONTINENTAL SUBMARINA



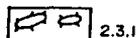
2.2 ZONAS TRANSICIONAL Y DEL LECNO OCEANICO



2.2.9. ZONA AXIAL DE FOSAS PROFUNDAS.



2.3 SIMBOLOS COMPLEMENTARIAS.



Ortiz-Pérez y Espinoza-Rodríguez (1991) definen tres tipos de costas por dinámica y génesis en el área del presente trabajo: 1) Costas acumulativas (potamogénicas y marismas), en la región del sistema Lagunar de Términos y en la porción Noroeste de la Península de Yucatán; 2) Costas abrasivo-acumulativas (mixtas), al Norte del Río Champotón y 3) Costas acumulativas (de playas bajas y arenosas), en la costa Norte de la península. Desde el punto de vista de la geodinámica costera, definieron: 1) De avance de la línea de costa hacia el mar por sedimentación y acarreo, al Norte del río Champotón; 2) Avance de la línea de costa por emersión y/o sedimentación deltáica, desde el mismo río hasta unos 70 km al Norte y 3) Retroceso de la línea de costa hacia el continente por sumersión y/o inactividad deltáica y/o elevación del nivel del mar, frente al Sistema Lagunar de Términos (Fig. 12).

GEODINÁMICA COSTERA

- | | |
|---|--|
|  | Avance de la línea de costa hacia el mar por sedimentación del acarreo costero. |
|  | Avance de la línea de costa hacia el mar por emersión y/o sedimentación deltáica. |
|  | Retroceso de la línea de costa hacia el continente por sumersión y/o inactividad deltáica y/o elevación del nivel del mar. |
|  | Línea de costa no diferenciada y/o neutral (en equilibrio). |

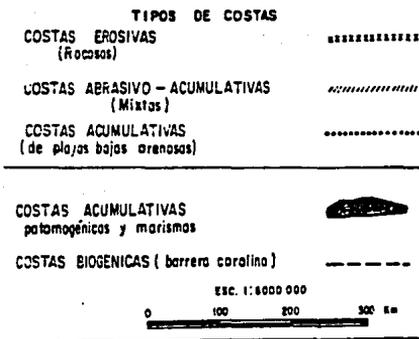
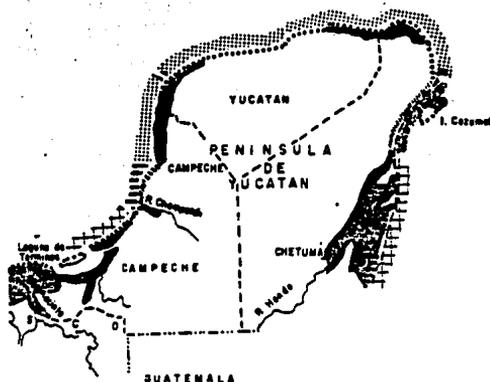


Figura 12. Tipos de costas y geodinámica costera. Tomado de Ortiz-Pérez y Espinoza-Rodríguez (1991).

OCEANOGRAFÍA

Las condiciones de la circulación oceanográfica, definen tres sistemas de corrientes superficiales (Fig. 13):

- a) La Corriente de Lazo, la cual penetra a través del Canal de Yucatán y se desvía al Oeste llegando hasta la Bahía de Campeche y sale por el Estrecho de Florida.
- b) Un giro anticiclónico que se desprende de la Corriente de Lazo y se desplaza hacia el Oeste.
- c) Una serie de giros anticiclónicos más pequeños, localizados sobre la Plataforma de Texas-Louisiana, Plataforma Continental del Noroeste de Florida y Bahía de Campeche.
- d) Un giro ciclónico en los meses de febrero a abril, tendiendo a desvanecerse.
- e) Un giro ciclónico en los meses de agosto a diciembre.

El límite Oeste de la Corriente de Lazo corresponde al Banco de Campeche, mientras que el Este se encuentra a unos 37 km de Cabo San Antonio, Cuba. Sus velocidades varían de 1.8 km/h, cerca de la costa Oriental de Cuba por el Canal de Yucatán, hasta más de 9.2 km/h a 37-55 km al Este de la Península de Yucatán (Logan *et al.*, 1969). Las velocidades máximas se presentan en los meses de julio, agosto y septiembre, y las mínimas durante los meses de enero y febrero (Emilson, 1976).

Merrel y Morrison (1981 en Monreal-Gómez y Salas de León, 1990) atribuyen la circulación ciclónica de la Bahía, al esfuerzo del viento, mientras que Cochrane (1969 en Monreal-Gómez y Salas de León, 1990) muestra la existencia de una circulación generada por una surgencia en el Norte de la Península de Yucatán y propone que la surgencia, al formar un domo de agua fría sobre el Banco de Campeche genera la circulación ciclónica.

Emilson (1976) menciona que en el Sur del Golfo de México la intensidad y dirección de la circulación litoral cambia estacionalmente debido a la dinámica de las aguas neríticas de la zona costera tropical y la fisiografía costera. El patrón de las corrientes a la profundidad de 500 m es similar al de las corrientes superficiales, excepto a lo largo de la costa de Cuba.

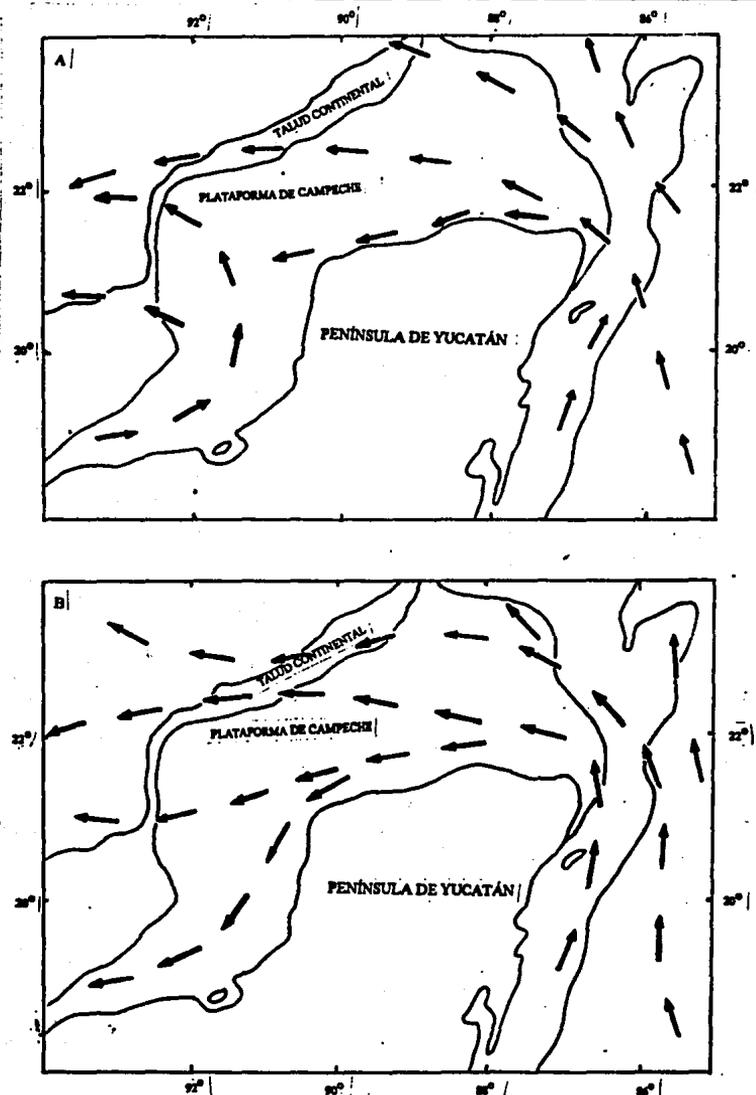


Figura 13. Circulación oceanográfica. Flujo de las corrientes regionales superficiales en la Plataforma de Campeche-Yucatán. Modificado de Leipper (1964, en Logan *et al.*, 1969). En A se presenta el flujo de la corriente en Junio (primavera). En B se presenta el flujo de la corriente durante Diciembre (invierno).

IV. GEOLOGÍA

La plataforma marina de Yucatán junto con la Península del mismo nombre constituyen la Plataforma de Yucatán, la cual queda comprendida en la región petrolera del Sureste de México, Norte de Guatemala y Belice y cubre un superficie de 522,925 km² (Peterson, 1982). Se encuentra limitada al Sur por la Cuenca del Petén, al Suroeste por la Cuenca de Macuspana, la de Comalcalco y la Plataforma de Reforma, al Norte por la cuenca del Golfo y al Este por la de Yucatán (Fig. 14).

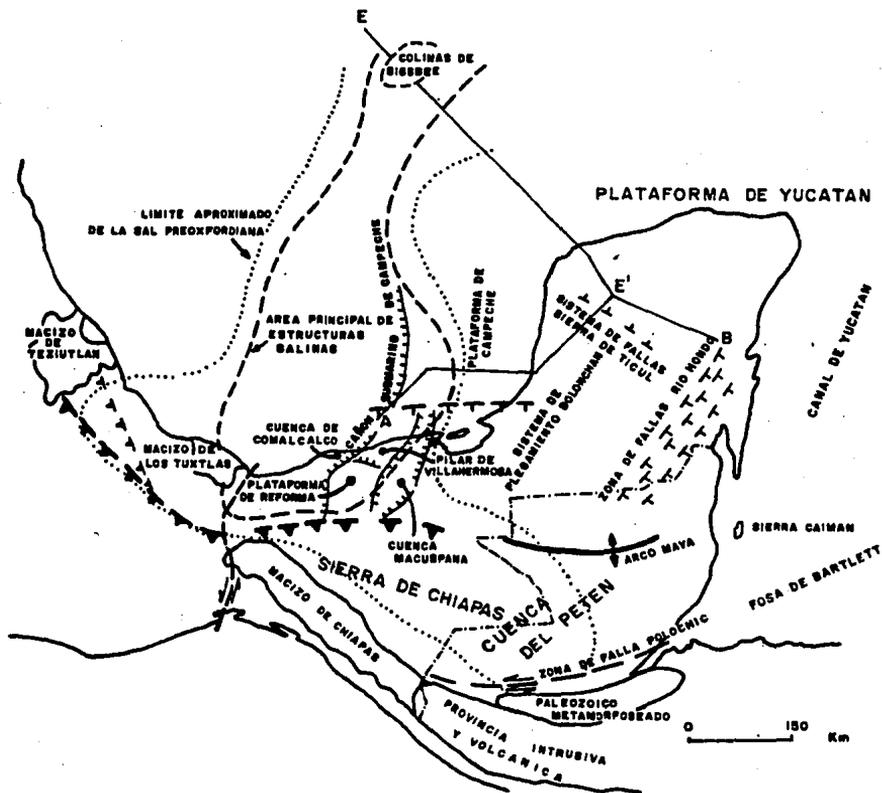


Figura 14. Mapa estructural regional del Sureste de México, Guatemala y Belice. En el se ubican dos secciones geológicas (A-B y E-E'). Simplificado de Peterson, 1982.

Geológicamente la zona está dividida en Plataforma de Yucatán y Plataforma Campeche, la cual incluye la zona marina con mayor contenido de petróleo de la Provincia Petrolera del Sureste de México, Guatemala y Belice (Peterson, 1982). La Plataforma de Campeche es la prolongación sedimentaria y tectónica del "Horst" de Villahermosa y está caracterizada por un sistema de fallas normales que forman un escalonamiento en terrazas que asciende de Oeste a Este hasta la cima o borde del Gran Banco Calcáreo Yucateco (Viniestra, 1981). La región es atravesada por una serie de fallas de transcurrencia de orientación NW-SE, desde la frontera con Guatemala hasta la Plataforma de Campeche, lo que complica la interpretación estructural de ésta.

ESTRATIGRAFÍA

Precámbrico-Paleozoico

El complejo basamento del área consiste de rocas ígneas siálicas y metamórficas del Precámbrico y Paleozoico Inferior-Medio, constituidas bajo la península en su porción Norte por un pórfido riolítico, una cuarcita y un esquisto (López-Ramos, 1973), las cuales subyacen a gruesas secciones de rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico (Wilhelm y Ewing, 1972; Peterson, 1982). La cima del basamento se localiza a 5,000 m por debajo del nivel del mar frente al actual Talud de Campeche-Yucatán, mientras que bajo la porción Noreste de la Península de Yucatán se encuentra entre 2,000 y 3,000 m debajo del actual nivel del mar, según se aprecia en la cartografía de Crowle (en Buffler *et al.*, 1980).

Jurásico Superior

Sobre el basamento se localiza un depósito salino, hacia la Bahía de Campeche y hacia el Norte, llamado la Gran Cuenca Salina de Campeche, situada en el Oxfordiano (Imlay, 1962; Viniestra, 1971, 1981; Locker, en Buffler *et al.*, 1980), lo que expresa un ambiente marino somero sometido a altas temperaturas. Mientras que hacia el Este (plataforma marina) esta sal se acuña, ocupando su intervalo estratigráfico un depósito de capas rojas (Viniestra, 1981), constituido por limonitas y areniscas de grano fino a muy fino, ocasionalmente contienen gravas de cuarzo y fragmentos gruesos de arena cuarzosa (López-Ramos, 1973), conformando un ambiente de depósito terrígeno.

También es localizado durante el Oxfordiano el inicio del lento y constante hundimiento de la plataforma de Yucatán, originando una precipitación carbonatada con más de 1,000 m de espesor, que representa el desarrollo temprano de las facies de plataforma carbonatada que en su crecimiento comenzó a formar calcarenitas como material detrítico derivado de sus márgenes arrecifales, las cuales sufrieron una dolomitización posterior por aguas percolantes a través del Jurásico Superior-Cretácico hasta el Pleistoceno (Viniestra, 1981; Peterson, 1982). Las secciones del Jurásico Tardío muestran facies lagunales depositadas en planicie de marea con excepción del Tithoniano y parte del Kinmeridgiano Superior que fueron depositadas en un ambiente de plataforma interna a media (Viniestra, 1981) constituidas por calizas oolíticas y dolomitas.

Bajo la plataforma marina, fueron recuperadas muestras del Tithoniano Superior consistentes de anhidritas, calizas oolíticas y dolomitas, representantes de un ambiente de planicie de marea (Peterson, 1982). La cartografía de Locker (en Buffler *et al.*, 1980) muestra que la cima del Jurásico Superior se encuentra a 3,500 m.b.n.m. frente al Talud de Yucatán, a 4,000 m.b.n.m. en la plataforma de Campeche, al Norte del Sistema Lagunar de Términos y a 3,000 m.b.n.m. bajo la porción Norte de la Península de Yucatán.

Locker (en Buffler *et al.*, 1980) indica que la cima del Jurásico se localiza a 3,500 m.b.n.m. frente al Talud de Yucatán, a 4,000 m.b.n.m. frente al Sistema Lagunar de Términos y a 5,000 m.b.n.m. bajo la porción Norte de la Península de Yucatán.

Cretácico

Las rocas Cretácicas de la plataforma carbonatada superan los 3,000 m de espesor y son las que constituyen la mayor parte del banco calcáreo (Peterson, 1982); la cima del Cretácico Inferior se localiza a 1,000 m.b.n.m. actual constituyendo parte del Escarpe de Yucatán, mientras que en la plataforma se encuentra a 4,000 m.b.n.m. y en el Norte de la Península de Yucatán entre 1,800 y 2,400 m.b.n.m. (Cagle, en Buffler, *et al.*, 1980). La cima del Cretácico Superior se encuentra a 5,000 m.b.n.m. actual, en la base del Escarpe de Yucatán, entre 1,000 y 2,000 m.b.n.m. en la Plataforma de Campeche y al Norte de la Península de Yucatán entre 400 y 1,000 m.b.n.m., de acuerdo a la cartografía de Charterjee, Cagle y Locker (en Buffler *et al.*, 1980).

Durante el Berrisiano-Aptiano la península siguió cubierta por aguas someras, que favorecieron la precipitación de anhidritas y carbonatos en un ambiente donde la intensa evaporación originó también la precipitación de carbonatos de magnesio que generaban dolomitas.

En el mismo intervalo de tiempo gran parte del país estuvo en condiciones similares ya que los bancos calcáreos se encuentran presentes en el Norte (Plataforma Coahuila), al Oriente (Plataforma San Luis Valles), al Sur (Plataforma Morelos), al Este (Plataforma Campeche-Yucatán) (Winker y Buffler, 1988; Fig. 15). Sin embargo Viniestra (1981) menciona que bajo la plataforma de Campeche las rocas del Cretácico han sido removidas por erosión y están ausentes en algunas localidades; Locker, Charterjee y Cagle, (en Buffler *et al.*, 1980) muestran al área del talud continental como la porción donde existe ausencia de sedimentos por no depósito o por erosión durante el Cretácico.

El Albiano-Cenomaniano presenta, en general, condiciones similares a las de los pisos anteriores, encontrándose las dolomitas en la Plataforma de Campeche, los depósitos carbonatados de aguas someras hacia la Plataforma y Península de Yucatán (Cagle, en Buffler *et al.*, 1980). La diferencia radica en la presencia de depósitos al Noreste del escarpe caracterizados por rocas carbonatadas clásticas que se interdigitan con sedimentos de facies de aguas profundas de fauna pelágica, así como dolomitas y turbiditas en varias porciones del perímetro del escarpe (Viniestra, 1981), las cuales constituyen depósitos de margen carbonatada de acuerdo a Cagle (en Buffler *et al.*, 1980).

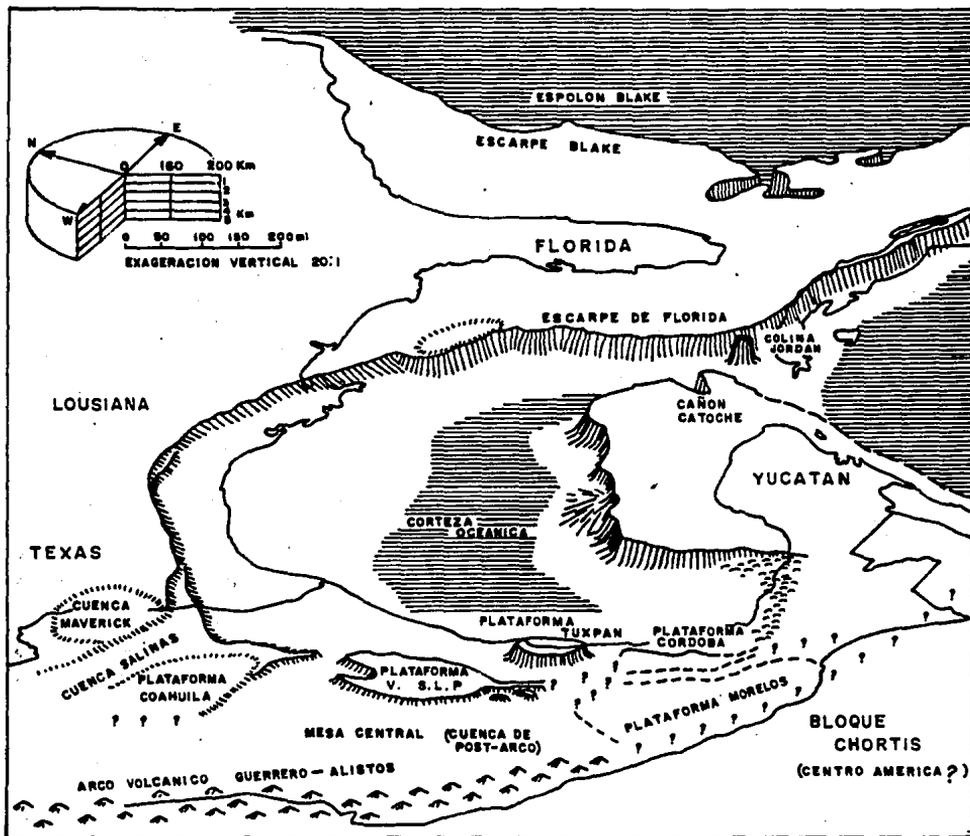


Figura 15. Bloque diagramático de la paleobatimetría del Cretácico Medio basado en perfiles de la margen de la plataforma, restando el material depositado después de este periodo. El modelo no es paleogeográfico, está basado en la posición geográfica actual y el ensamble de información estratigráfica. Tomado de Winker y Buffler, 1988.

Entrando al Cretácico Superior (Turoniano-Maestritchiano) López-Ramos (1973), indica que bajo la Península de Yucatán se encuentra una capa de 674 m consistente principalmente de anhidritas translúcidas y en segundo término en su base por estratos de material bioclástico con fragmentos de biomicrita, caliza espatítica, oolítica y dolomitas que presentan rasgos producto de la erosión y disolución (Viniegra, 1981), también se incluyen depósitos de aguas batiales. En la Plataforma de Yucatán se encuentran materiales carbonatados, mientras que en la Plataforma de Campeche y Talud Campeche-Yucatán las rocas de este intervalo están ausentes por erosión o no depósito (Locker y Cagle en Buffler *et al.*, 1980).

Debido a la presencia de una discordancia que pone en contacto a las evaporitas con depósitos marinos del Paleoceno, se interpreta comenzó una transgresión marina quedando expuestos algunos bancos carbonatados, incluyendo algunas partes del Banco Yucateco (Winker y Buffler, 1988).

Terciario

El Banco Calcáreo de Yucatán es el único que continuó con la precipitación de carbonatos y evaporitas durante el Paleoceno, constituido por calizas sumamente permeables debido a la intensa fracturación que presentan, lo que favoreció su disolución postdeposicional y la presencia de microcarvernas (Peterson, 1982); sin embargo en la porción del Escarpe de Yucatán se sigue presentando un hiatus que varía en amplitud espacial a lo largo del Terciario hasta el Pleistoceno (Cagle, Cagle y Locker; Sawyer, en Buffler *et al.*, 1980).

El Eoceno en el Gran Banco Yucateco incluye entre 170 y 250 m de sedimentos de facies lagunales y evaporíticas al Sur, en el centro de la plataforma calizas cristalinas no fosilíferas y coquinas (Logan *et al.*, 1969) de aguas someras, mientras que al Norte se encuentran margas gris-verdosas de ambiente nerítico con dolomitas. Durante el Oligoceno la depositación consistió de margas grises con fragmentos café claro de calizas y margas gris-verdosas. La cima de los pisos paleogénicos se encuentra 2,000 m b.n.m. en el Talud Campeche, en la Plataforma de Campeche a 1,000 m.b.n.m. y aflora en la parte Norte de la península (Cagle, en Buffler *et al.*, 1980).

Mientras que el Mioceno se restringe a las áreas que rodean la Península de Yucatán y a su porción Norte y esta constituido principalmente por margas y calizas de la Formación Carrillo Puerto (Bonet, 1967; Macintyre *et al.* 1977; Peterson, 1982), y frente a la Laguna de Términos depósitos arenosos y limosos (Locker, en Buffler *et al.*, 1980).

El Plioceno-Pleistoceno está presente en porciones muy limitadas y constituidas por calizas autigénicas y biogénicas hasta una profundidad de 172 m (Logan *et al.*, 1969) y sobreyacen en algunas porciones discordantemente a los depósitos del Eoceno (Wilhelm y Ewing, 1972).

El Holoceno está representado por biohermas y biostromas de la Plataforma de Yucatán, así como arenas constituidas por clastos y fragmentos de esqueletos de organismos calcáreos, los cuales constituyen los taludes detríticos de las construcciones arrecifales y

lodos terrígenos aportados por el Sistema Fluvial Grijalva-Usumacinta y el Sistema Lagunar de Términos hacia la Plataforma de Campeche.

La Tabla 2 muestra resumida la estratigrafía de la región.

| ERATEMA, SISTEMA, SERIE, PISO | | PLATAFORMA DE YUCATÁN-BAHÍA DE CAMPECHE | LITOLOGÍA | |
|---|----------------------------|---|--|---------------------------------|
| C E N O Z O I C O | Holoceno | Arrecife Yucatán, Miembro Capa de Arenas | Biohermas, biostromas, clastos de esqueletos y arrecifes. | |
| | | Progreso, Sisal | Esqueletos, arena, coquinas, foraminíferos. | |
| | | Sigsbee | Ooides, pellets, litoclastos. | |
| | | Calcutita Campeche | Lodo aragánitico, pellets, esqueletos | |
| | Pleistoceno | Carrillo | Calizas autigénicas y biogénicas. | |
| | Plioceno | | | |
| | Mioceno | Puerto | Margas y calizas. | |
| | Oligoceno | Calizas, Lutitas y Margas | Calizas, lutitas y margas gris y gris verdosas. | |
| | Eoceno | Pisté-Icaiche | Evaporitas, calizas, coquinas, margas y dolomitas. | |
| | Paleoceno | Chichen-Itzá | Calizas permeables y evaporitas. | |
| C S R U E P. T | Maestrichiano | G | Anhidritas, calizas biogénicas, químicas y espáticas, así como dolomitas. | |
| | Campaniano | R | | |
| | Santoniano | U | | |
| | Conaciano | P | | |
| | Turoniano | O | | |
| | Cenomaniano | | Brechas de caliza, turbiditas y dolomitas | |
| | A C I N C O | Albiano | | Calizas, dolomitas y anhidritas |
| | Aptiano | Y | | |
| | Barremiano | U | | |
| | Hauteriviano | C | | |
| Valanginiano | A | | | |
| Berrisiano | T | | | |
| J U S R U Á P S. | Tithoniano | Á | Halita Limonitas y areniscas de grano fino a muy fino ocasionalmente gravas de cuarzo y arena cuarzosa | |
| Kimmeridgiano | N | | | |
| Oxfordiano | Sal, Rocas Clásticas | | | |
| Caloviano | | | | |
| Bathoniano | | | | |
| Bajociano | Todos | Limonitas y areniscas de grano fino a muy fino con material volcánico conocidas como Lechos Rojos | | |
| JURÁSICO INF. | | | | |
| TRIÁSICO | | Santos | | |
| PALEOZOICO | | Rocas Metamórficas e Igneas | Pórfido riolítico, cuarcita y esquistos | |

Tabla 2. Estratigrafía de la plataforma Campeche-Yucatán. Modificado de Logan *et al.* (1969); López-Ramos (1973); Maciayre *et al.* (1977); Viniestra (1981); Peterson (1982) y Buffler *et al.* (1980)

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

La granulometría general de los sedimentos es arenosa, compuesta por pellets, ooides, bivalvos, foraminíferos, fragmentos de esqueletos y de otros organismos. se presentan también materiales del tamaño de los lodos constituido por aragonita (espatita) (Logan *et al.*, 1969; Rezak y Serpell, 1972; Aguayo-Camargo *et al.*, 1991). Macintyre *et al.* (1977) utilizando muestras de Bonet (1967) reconstruyó la historia reciente del Arrecife Alacrán, reconociendo que en éste se encuentra la tasa de depositación más alta de material arrecifal en el Atlántico, hasta 12 m/1,000 años, constituida principalmente por fragmentos de la comunidad de *Acropora cervicornis*.

ORIGEN Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL GOLFO DE MÉXICO

Las dimensiones y características geomorfológicas del Golfo de México y por lo tanto de la Plataforma de Yucatán, están íntimamente ligadas al origen y evolución tectónica de México. En los años 60^s y 70^s la discusión acerca del origen del golfo se restringía a tres posibilidades: a) cuenca de mar profundo permanente, b) desarrollo debido a la subsidencia de un terreno continental y c) formación por desarrollo de un *rift* (Moore y Del Castillo, 1974).

La tercera opción, la cual involucra la apertura del Golfo de México por desarrollo de un *rift*, está ampliamente aceptada en los últimos años por autores como Moore y Del Castillo (1974), Uchupi (1975), Coney (1983), Aguayo-Camargo y Marín-Córdova (1987), Ross y Scotese (1988), Stephan *et al.* (1990), ya que el Golfo tiene una complejidad propia e implica movilidad tectónica, poniendo de esta manera en duda las clásicas interpretaciones de inmovilidad en la historia geológica del país (Coney, 1983).

A continuación se presenta una breve evolución paleogeográfica del Golfo de México a partir de los autores antes mencionados, considerando como preámbulo los elementos tectónicos involucrados en este desarrollo.

Elementos Tectónicos

Los elementos tectónicos fueron agrupados por Ross y Scotese (1988) a partir de información tectónica, geológica y geofísica, así como la introducción de ésta en un sistema computarizado donde fueron interpretadas. El bloque Plataforma de Yucatán es uno de los elementos tectónicos involucrados en el desarrollo del Golfo de México, están también relacionados los bloques Yaqui, Faja de Oro, Guerrero, Chiapas, Honduras o Chortis y Cratón Norteamericano, así como las fallas de transurrencia de Santa Cruz, Polochic-Motagua, Motagua-Jocotan, entre otros (Fig. 16).

Evolución paleogeográfica

La apertura del Golfo de México se inicia en el Triásico Tardío-Jurásico Medio, debido a la presencia de un *rift* que se ubica en la porción Norte del Golfo de México y presenta una dirección SSW-NNE, el cual es una prolongación del *rift* Atlántico que sufrió un desplazamiento por falla de transformación; el Bloque Yucatán está en el centro de lo que hoy es el golfo, empieza a migrar hacia el SW debido a la acreción de material a partir del

rift y a la presencia de una gran falla de transformación con un desplazamiento derecho y una dirección NNW-SSE (Fig. 17).

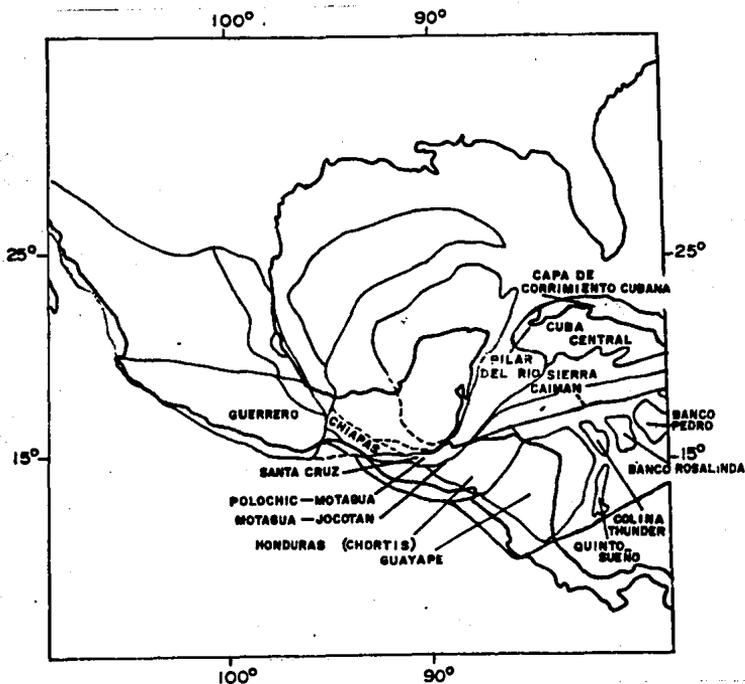


Figura 16. Elementos tectónicos de la Región del Golfo de México y parte del Caribe. Simplificado de Ross y Scotese, 1988.

Durante el Jurásico Tardío la generación de corteza oceánica separó la antigua cuenca salina. Al parecer, a lo largo de este intervalo el Golfo de México parece haber estado aislado del Océano Atlántico, aunque fué intermitentemente conectado al Oeste de Yucatán hacia el Pacífico. Posteriormente la expansión cesó y el centro de este movimiento se trasladó hacia el SE del Bloque Yucatán. Asimismo terminaron el desplazamiento izquierdo a lo largo de la zona de Fractura de Bahamas y el derecho a lo largo de la falla SSE-NNW antes mencionada. El Bloque Yucatán estaba casi en la latitud actual, sin embargo todavía continuó girado en sentido contrario a las manecillas del reloj (Fig. 18).

Pensamos que cuando se inicia el movimiento de la falla Motagua-Polchic en el Cretácico Tardío-Paleoceno el Bloque Yucatán empieza a girar en sentido de las manecillas del reloj a lo largo de la traza de dicha falla, ubicándose así en su posición actual.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los estudios estructurales de la plataforma se basan principalmente en la información obtenida de los pozos de perforación y en los estudios de refracción sísmica elaborados en su mayor parte por PEMEX.

La geología estructural es compleja, ya que involucra el empuje provocado por la tectónica salina, fallas normales que definen cuencas de sedimentación y acumulación de hidrocarburos (Cuencas de Reforma y Campeche), así como fallas de transcurrencia.

Las fallas normales se produjeron entre la llanura costera y la porción frontal de la Sierra Madre Oriental y Sierra de Chiapas, las cuales están relacionadas al basculamiento que sufrió el Banco Calcáreo Yucateco (Plataforma de Campeche-Yucatán) en el Sureste de la actual llanura costera (Viniestra, 1981).

Las fallas normales escalonadas con dirección NE al Oeste de la plataforma descienden hacia el Golfo de México, generándose un hundimiento progresivo del escarpe de Campeche, provocando por lo tanto un basculamiento general de la Plataforma Campeche-Yucatán en la misma dirección (Viniestra, 1981). Un efecto similar se observa en la porción emergida de la plataforma donde predominan los lineamientos con dirección NE y sus correspondientes SW (Lugo-Hubp *et al.*, 1992).

El límite Sur del Bloque Yucatán lo constituyen fallas de transcurrencia siniestras como la Motagua-Polochic y Motagua-Jocotan, las cuales presentan una orientación general Oeste-Este con importantes curvaturas.

SEDIMENTOS

El análisis granulométrico y composicional de 79 muestras colectadas en la campaña efectuada del 7 al 21 de marzo de 1990 estableció cuatro facies texturales, en las cuales se agrupan la totalidad de las muestras (Aguayo-Camargo *et al.*, 1991):

- a) Facies de Arena, en la cual el porcentaje de arena es superior al 90 % (A) y se ubica en la porción Noreste y Este del área de estudio, presentando una tendencia de depósito hacia el Norte de la Plataforma de Yucatán, interpretándose como la zona de mayor energía. Existen parches aislados de esta facies en los alrededores de los bancos arrecifales, los cuales aportan materiales texturalmente arenosos.
- b) Facies de Arena-lodosa, esta representada por las muestras que contienen un porcentaje de arena entre un 50 y 90 % (A1), circunda la Península de Yucatán e indica una disminución de la energía del ambiente.

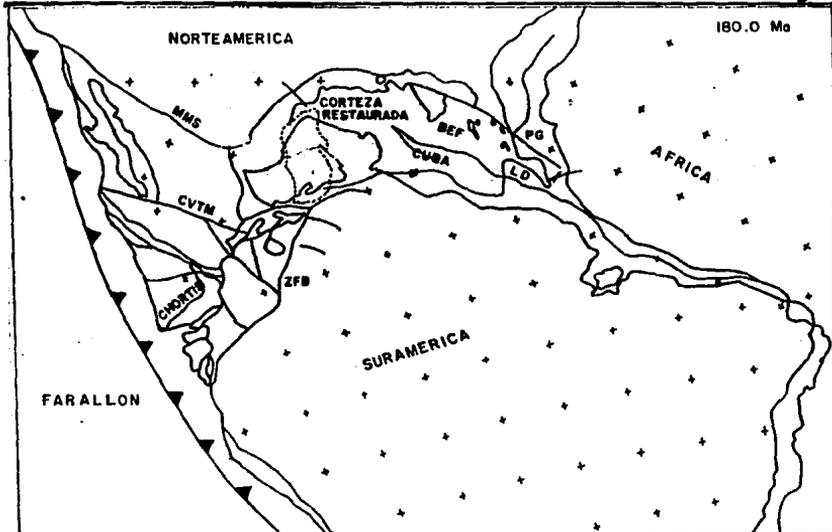


Figura 17. Reconstrucción tectónica para el Jurásico Medio, 180 m.a. Modificado de Ross y Scotese, 1988. Abreviaturas para las figs. 17 y 18: BEF-Bloque Estrecho de Florida; CVTM-Cinturón volcánico transmexicano; MMS Megacizalla Mojave-Sonora; LD Levantamiento Demerara; PG-Cuenca de Grenada; ZFB-Zona de Falla del Norte de Bahamas.

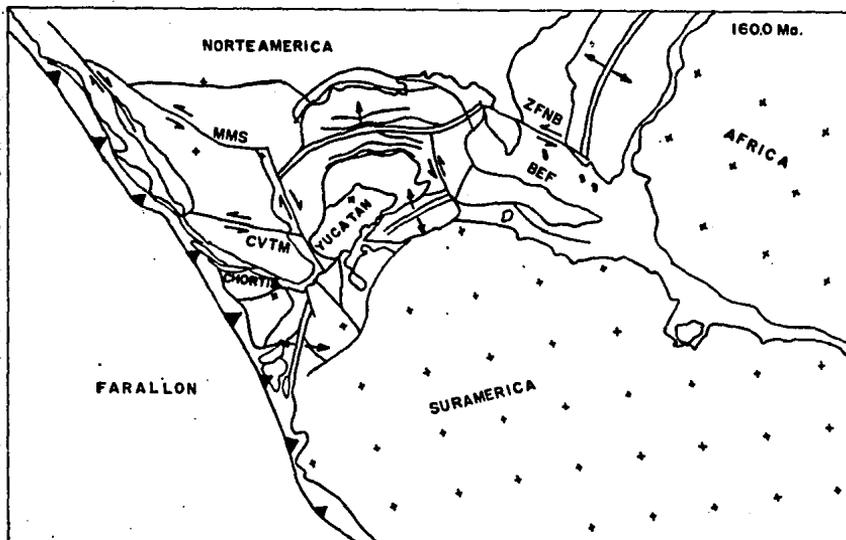


Figura 18. Reconstrucción Tectónica para el Oxfordiano, 160 m.a. Simplificado de Ross y Scotese, 1988.

- c) Facies de Lodo-arenoso, es aquella en la cual el porcentaje de arena se encuentra entre el 10 y 50 % (La), y constituye un franja de sedimentos sensiblemente orientada del Sureste hacia el Noreste, a partir de la porción Oriental de la Laguna de Términos hacia el borde de la plataforma continental circundando a los arrecifes Arenas y Triángulos.
- d) Facies de Lodo, es la que presenta un porcentaje de arena menor al 10 % (L), y se localiza en las zonas de menor energía, además de reflejar el aporte de sedimentos continentales, provenientes del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta, así como del sistema lagunar de Términos.

Composicionalmente es notorio el predominio de sedimento biógeno sobre el mineral, distinguiéndose cuatro biofacies que son (Aguayo-Camargo *et al.*, 1991):

- a) Biofacies de coral (C: coral > 50 %), se ubica en la porción oriental del área de muestreo en forma de islas, ya que están distribuidas discontinuamente, la extensión de la biofacies es limitada, y texturalmente esta asociada a sedimentos arenosos, gravosos, y aún a guijarros y bloques, generados estos últimos durante periodos ciclónicos.
- b) Biofacies de moluscos-coral (M-C: moluscos y coral > 75 %), se encuentra ampliamente distribuida en forma continua y al igual que la biofacies anterior es texturalmente arenosa y gravosa.
- c) Biofacies de moluscos (M: moluscos > 50 %), se ubica en la porción meridional-oriental del área de estudio y conjuntamente con la biofacies de moluscos-coral son las más abundantes, encontrándose en sedimentos generalmente lodosos.
- d) Biofacies de foraminíferos (F: foraminíferos > 50 %), se divide en dos partes, la más externa y profunda, entre los 150 y 200m, que corresponde a foraminíferos planctónicos; y la interna de foraminíferos bentónicos, a profundidades < 100 m. El conjunto de estos organismos forman facies de fangos fosilíferos.

V. GEOMORFOLOGÍA

El análisis cartográfico-geomorfológico de la porción Sureste del Golfo de México, parte medular de esta tesis, se presenta en este capítulo.

Este análisis se basa en los principios geomorfológicos que consideran a las formas de relieve, litología, estructura y génesis como los principales criterios de clasificación del terreno, y agrupa a las formas de relieve en unidades y subunidades de acuerdo a ciertos parámetros o características del mismo.

La escala de trabajo en las diferentes fases fué 1:200,000 en los mapas batimétricos, 1:500,000 hasta 1:10,000,000 en los mapas de temáticos (paleogeográficos, tectónicos y sedimentológicos); sin embargo el mapa morfogenético resultante se presenta a escala 1:2,000,000, ya que esto facilita su manejo posterior.

ELEMENTOS DE CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE TERRENO

En trabajos continentales de carácter morfogenético se pueden considerar más de ocho elementos, sin embargo al trabajar en el relieve submarino estos se ven reducidos a sólo cuatro:

- Litología:* se presenta una descripción de las rocas que conforman las unidades, debido a la relación existente entre ésta y la geoforma-procesos asociados.
- Estructura:* se elaboró a partir de la interpretación cartográfica y la información bibliográfica un mapa de lineamientos escala 1:2,500,000, (Mapa 5), debido a la marcada relación existente con el origen de cada unidad en el área de estudio.
- Pendiente:* esta expresión del relieve permite distinguir las diferentes formas de modelado, así como los procesos geomórficos a los que están sujetos cada unidad, por otra parte las clasificaciones del relieve submarino están basadas frecuentemente en la pendiente. Por lo que se elaboró un mapa de pendientes escala 1: 2,000,000
- Sedimentos:* los sedimentos en este trabajo tuvieron un gran peso en relación a la definición de unidades, ya que el relieve submarino es notoriamente modelado por la sedimentación y precipitación, lo que refleja la cantidad de energía a la que esta sujeta el área. Para ello se elaboraron dos mapas de distribución de sedimentos (1:1,000,000, se presenta una reducción a escala 1:2,500,000), de acuerdo a su tamaño y composición (Mapa 4). Cabe mencionar que el límite entre la zonas de precipitación de carbonatos y depositación de terrigenos no es bruscos, sino transicionales. Para la definición de unidades de relieve el cambio se define por la isolínea de la textura correspondiente a los lodos-arenosos.

ESTRUCTURAS DISYUNTIVAS

Para la elaboración de la carta de estructuras disyuntivas y morfolineamientos (Mapa 5), se tomó en cuenta la información cartográfica del Atlas Nacional de México, específicamente de las Hojas Geología Marina (V.9.5.A.) y Tectónica (IV.2.1.), de Aguayo-Camargo y Carranza Edwards (1991) y De Cserna (1991), respectivamente, así como la hoja Tectónica del Atlas del Golfo de México elaborada por Buffler (1980, en Buffler *et al.*, 1980), para el Programa de Perforación del Mar Profundo.

La batimetría obtenida para esta tesis (Mapa 1), y las cartas de pendientes e hipsometría (Mapas 2 y 3) tuvieron el mayor peso para la interpretación de la estructuras disyuntivas, debido al detalle de la información batimétrica catografiada. De esta manera se reconoció que ellas están fuertemente relacionadas a la historia tectónica del Golfo de México, en especial a la del Bloque Yucatán. Así pues se definieron fracturas, fallas normales y transcurrentes, que se explican por el movimiento de rotación del Bloque Yucatán en sentido de las manecillas del reloj a lo largo de la traza de las fallas de Motagua-Polochic y Motagua-Jocotán.

La estructura con mayor continuidad es una falla transcurrente izquierda de carácter regional con una orientación general SW-NE, la cual favorece el desarrollo de un cañón submarino en el NE del área de estudio. La siguiente estructura de carácter regional corre con una orientación NNW-SSE, en la cual se emplazó el Cañón Campeche. Al parecer ésta es también una falla de desplazamiento lateral izquierdo, que funcionó como plano de desplazamiento del Bloque Yucatán al inicio de la apertura del Golfo de México en el Jurásico Medio.

Al Talud de Campeche lo afectan estructuras, que al parecer son fracturas, las cuales favorecen el desarrollo de Cañones-corredores submarinos con una orientación casi E-W; estas fracturas se prolongan hasta la plataforma de Campeche-Yucatán, y se reflejan en la morfología de las construcciones arrecifales.

Según se aprecia en el perfil sísmico de la Figura 19, sobre el Escarpe de Yucatán existen fallas normales, que han generado la existencia de escalones sobre el escarpe, definiendo así un Talud Superior y otro Inferior.

CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DEL TERRENO POR SU ORIGEN

Las formas presentes en la porción Sureste del Golfo de México se pudieron dividir en base a su origen en: tectónico-tabular modelado, marino biogénico, marino denudativo, marino acumulativo y Kárstico (Mapa 6).

1. TECTÓNICO-TABULAR MODELADO

Estas formas incluyen a todas las que son producto directo de fuerzas endógenas, en este caso las creadas por movimientos en la corteza, es decir por procesos tectónicos así como de inyección de sal (tectónica salina) y han sido retocadas por procesos de depositación y erosión.

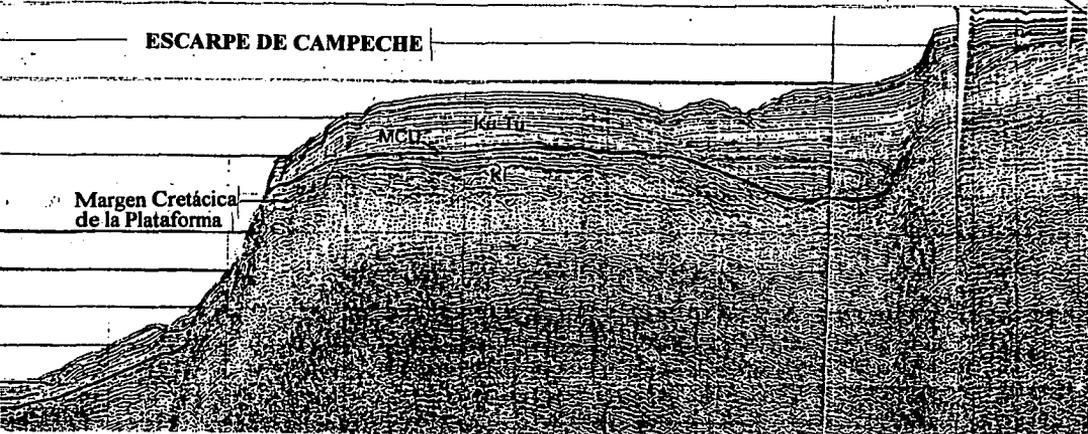


Figura 19. Perfil sísmico del Escarpe de Yucatán, donde se observa la presencia de un fallamiento normal, generador de superficies escalonadas. Tomado de Buffler *et al.* (1980). Ku Cretácico Superior, Tt Terciario Superior, MCU Discordancia del Cretácico Superior. Reinterpretado para este trabajo.

En el área de estudio se pudieron definir dos grandes unidades: Talud Continental y Plataforma Continental no rodeada, los cuales a su vez se subdividen en unidades menores.

1.1 Talud Continental

1.1.1. Talud de diapiros salinos

Esta unidad comprende una parte de las colinas que se ubican en el Golfo de Campeche, sólo ocupa 4,683 km² del área de estudio, está constituida por cuerpos de sal Jurásica formados en mares someros y de circulación restringida, que se inyectaron en los sedimentos Cenozoicos, los cuales pertenecen a una de las zonas de mayor acumulación de sal de la Gran Cuenca Salina de Campeche.

Se presentan con manifestación en el relieve desde la profundidad de 200 m hasta los 3,500 m con pendientes entre 1°, en la porción superior hasta 30° en las porciones más escarpadas.

Los sedimentos superficiales de este talud están representados por lodos terrígenos, los cuales suavizan la forma de la estructura original del domo salino producto de la inyección. Su límite Oriental lo constituye el contacto tectónico-litológico con el Escarpe de Campeche mientras que el Occidental, queda fuera del área de estudio y está representado por el Cañón Veracruz.

1.1.2 Escarpe de Campeche

Esta unidad se orienta casi Norte-Sur, con una superficie de 3,031 km², formada por rocas carbonatadas químicas, biogénicas y anhidritas del Grupo Yucatán, como se aprecia en la sección litológica de la Figura 20, las cuales subyacen a sedimentos recientes constituidos por lodos (limos y arcillas) carbonatados de la unidad sedimentaria propuesta por Logan *et al.* (1969) como Manto Sigsbee.

El escarpe tiene una amplitud de 2,600 m ya que inicia a la profundidad de 200 m.b.n.m., presentando su posición más distal a la profundidad de 2,800 m.b.n.m. y una pendiente que oscila entre 2° hasta ser superior a los 45°. En el talud sobresalen rasgos particulares de relieve como los Cañones-corredores submarinos.

La configuración actual del escarpe es el resultado de su complejo origen tectónico distensivo de falla de transformación como se propone en el inciso de Evolución Geológica, un subsecuente crecimiento arrecifal en el borde de la plataforma, acumulación de sedimentos carbonatados y fallas listricas que se presentan paralelas al margen del mismo como resultado de la fuerte pendiente y la fuerza de gravedad actuante sobre los materiales que la conforman.

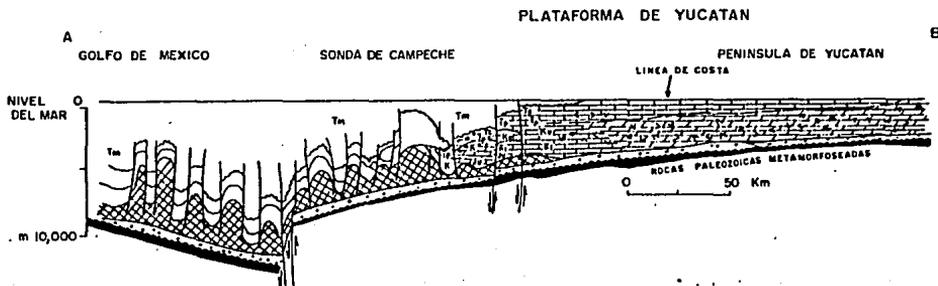


Figura 20. Sección litológica-estructural del Escarpe de Campeche y Plataforma de Campeche-Yucatán; se encuentra ubicado en el Mapa de la Figura 14. Tomado de Peterson (1982).

1.1.3 Escarpe de Yucatán

La Unidad del Escarpe de Yucatán esta alineada SW-NE y representa 1,247 km² del área y sólo comprende la porción Occidental del mismo. Al igual que el de la unidad anterior se desarrolla sobre rocas carbonatadas químicas, biogénicas, y anhidritas del Grupo Yucatán y los sedimentos recientes que lo cubren están constituidos por lodos carbonatados de la unidad sedimentaria, denominada por Logan *et al.* (1969) como Manto Sigsbee.

La amplitud de éste es de 2,800 m con su inicio a los 200 m.b.n.m. y final a los 3,000 m de profundidad. En el mapa de pendientes (Mapa 2) se puede observar que se encuentran entre 1° y más de 45°. En esta unidad también se encuentran rasgos de Cañones-corredores submarinos.

Este talud también tiene un origen tectónico distensivo, sin embargo es de *rift*, es decir de apertura del fondo oceánico, por lo que su configuración difiere con respecto al escarpe de la unidad antes mencionada, del crecimiento de colonias arrecifales, precipitación de carbonatos y fallas listricas debidas a la fuerza de gravedad que actúan sobre la fuerte pendiente original por lo puede dividirse en dos secciones:

1.1.3.a Talud Superior

En esta parte del talud se presentan menores pendientes entre 1° y 10°, ya que se encuentra constituido por una serie de superficies de escalonadas (terrazas), que asemejan el modelo de margen de *rift* con fallas en echelón, también llamadas escalonadas (Fig. 19) o bien movimientos gravitacionales de tipo rotacional resultado de la fuerte inclinación y falta de soporte lateral. Inicia a los 200 m.b.n.m. finalizando a los 1,000 m de profundidad, ocupando una superficie de 8,954.29 km².

1.1.3.b Talud Inferior

Las pendientes representativas de esta porción del talud oscilan entre 5° y más de 45° con una amplitud de 2,000 m; la profundidad máxima se encuentra a los 3,000 m.b.n.m., con una superficie de 3,520 km².

Donde termina esta unidad se presenta la llanura abisal y no se desarrolla el pie de continente como en la mayoría de los márgenes tipo Atlántico, lo que representa una anomalía en la sucesión de las formas de relieve que puede ser causada por importante sedimentación abisal en conjunto con la presencia de fallas rotacionales (Fig.21).

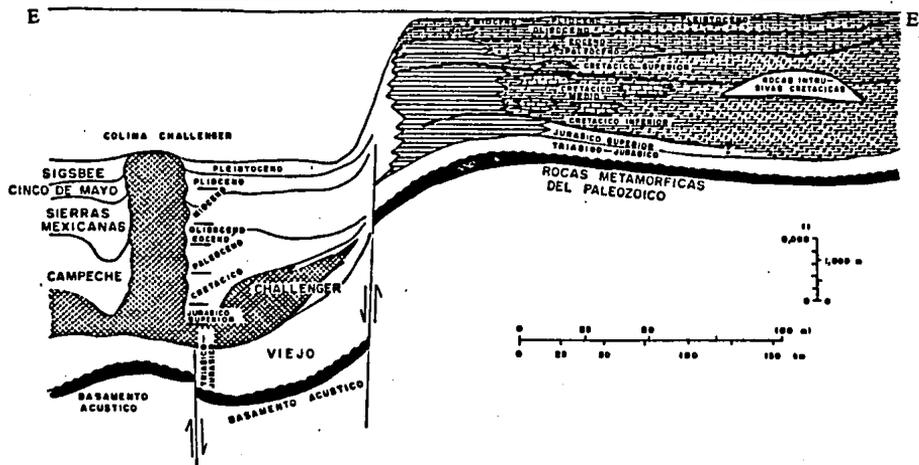


Figura 21. Sección litológica-estructural del Escarpe de Yucatán y Plataforma de Campeche-Yucatán; se encuentra ubicado en el Mapa de la Figura 14. Tomado de Peterson (1982).

Escarpe de transición Campeche-Yucatán

Esta unidad se encuentra representada por la porción Norte del Escarpe de Campeche y la más Occidental del Escarpe de Yucatán, se definió así porque en la zona se realiza el cambio de dirección del talud, además de presentar una geometría ligeramente convexa y presentar cañones-corredores submarinos.

La amplitud de la unidad es de 2,800 m, ocupando un área que corresponde a 3,079 km², las pendientes mayores se presentan en la cara hacia el Cañón Campeche con valores superiores a los 45°, mientras que las pendientes relativamente menores se localizan en la ladera Norte con valores entre 10° y 20°.

Las rocas que la conforman son las del Grupo Yucatán y los sedimentos que en ella se presentan son texturalmente lodos constituidos por carbonatos.

1.1.4 Talud-cabecera de cañón submarino

Esta porción del talud corresponde al área de la cabecera del Cañón Campeche; se caracteriza por presentar laderas cóncavas y una forma en planta similar a la U, con pendientes superiores a 3° e inferiores a 30°. La amplitud de la cabecera es de 800 iniciando a 200 m.b.n.m y finalizando a 1,000 m de profundidad, con una superficie ligeramente superior a 4,733 km².

Este talud se desarrolla en rocas carbonatadas y evaporíticas que varían del Jurásico al Terciario Superior, mientras que los sedimentos superficiales que las recubren corresponden a lodos terrígenos aportados por el Sistema Lagunar de Términos y los ríos Grijalva-Usumacinta.

El desarrollo de la cabecera del cañón se ve favorecido por una falla de transformación que en esta porción corre NW-SE.

1.2 Plataforma continental

Esta unidad representa el casi el 66 % del área de estudio, con una superficie de 98,000 km² y es resultado de la precipitación de carbonato de calcio, anhidrita, la sedimentación de fragmentos de organismos calcáreos y cambios glacioeustáticos del nivel del mar y por ende de las formas Kársticas resultantes cuando quedó expuesta a los procesos atmosféricos.

La plataforma presenta tres superficies de nivelación o terrazas que están bien marcadas en la topografía actual de la plataforma, las cuales se localizan entre 90 m y 134 m, 63 m y 51 m, y 29 m y 36 m, por lo que una se encuentra en la plataforma interna y dos en la externa (Fig. 22).

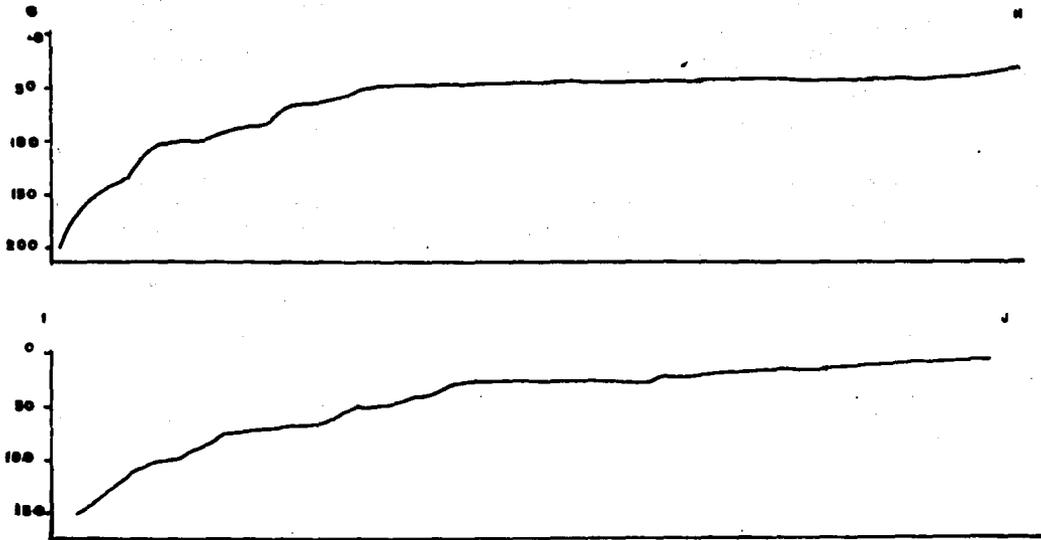


Figura 22. Terrazas de la Plataforma de Campeche-Yucatán.

Estas superficies tiene una profundidad constante a lo largo de la región y están asociadas a restos de organismos bentónicos de aguas someras, ooides, abundantes restos de fragmentos liticos y algunos fósiles por lo que son interpretadas como antiguas líneas de costa desarrolladas durante detenciones en las fluctuaciones del nivel del mar en el Cuaternario (Logan *et al.*, 1969).

Tomando en cuenta la distribución espacial de los sedimentos y las variaciones morfométricas pudo dividirse en subunidades del relieve como: plataforma interna y externa las cuales a su vez se subdividieron en carbonatada y terrígena.

1.2.1 Plataforma continental no rodeada Interna

La Plataforma interna es la porción de la planicie sumergida que inicia en la línea de costa y finaliza aproximadamente en la isobata de los 50 m de profundidad, lo que equivale a la amplitud del relieve, y aunque ésta es mínima, el área que ocupa es de aproximadamente 78,500 km² con una pendiente que varía de 0° a 1°.

El límite inferior de esta unidad, esta marcado por las existencia de elevaciones arrecifales, alrededor de 50 m de profundidad. Las rocas que conforman la plataforma interna son las margas, calizas autigénicas y biogénicas de la Formación Carrillo Puerto, las cuales constituyen la superficie de nivelación entre 35 y 50 m.

1.2.1.a Plataforma continental carbonatada no rodeada interna

La Plataforma interna carbonatada con una superficie de 66,776 km² se caracteriza porque en ella se realiza una importante precipitación química de carbonato de calcio y la depositación de fragmentos de organismos de esqueleto rígido del mismo mineral, por lo que se compone de espículas de briozoarios, pelecípodos, gasterópodos y foraminíferos. La textura de estos sedimentos varía de arena media a fina y está pobremente clasificada (Logan *et al.*, 1969; Aguayo-Camargo *et al.*, 1990). Este tipo de sedimentos fué denominado por Logan *et al.* (1969) como unidad sedimentaria Manto Progreso.

Hacia la porción oriental de esta unidad, en los alrededores del Arrecife Alacrán, se encuentran grandes depresiones cerradas, seguramente de origen kárstico; la más grande presenta un eje mayor de hasta 14 km.

1.2.1.b Plataforma continental interna terrígena

Esta plataforma se caracteriza por la gran influencia continental, es decir el aporte de material erosionado en el continente, transportado por sistema fluvial Grijalva-Usumacinta y el aporte del sistema lagunar de Términos. La textura sedimentaria corresponde principalmente a limos y arcillas con importantes concentraciones de microorganismos plantónicos y bentónicos, especialmente de foraminíferos. En la unidad se presentan pequeñas elevaciones, denominadas bancos duros, las cuales son descritas dentro de la unidad de origen biogénico.

Las características morfométricas representativas de la unidad son una pendiente menor a 1, una amplitud de 150 m, iniciando a los 50 m.b.n.m. y terminando en la isobata de 200 m, ocupa una superficie ligeramente menor a 11,800 km².

1.2.2 Plataforma continental no rodeada Externa

La Plataforma externa inicia a la profundidad de 50 m, terminando a 200 m.b.n.m., donde se encuentra el quiebre de la Plataforma, cubriendo un área igual a 19,500 km². La pendiente se incrementa con respecto a la plataforma interna, pero siempre es menor a 1°.

Una característica peculiar de esta unidad es que se acuña, desapareciendo, cerca del Arrecife Triángulos, ya que el talud de detritus de éste constituye la porción superior del Talud Campeche.

La plataforma se desarrolla en rocas carbonatadas de Mioceno-Pleistocénicas de la Formación Carrillo Puerto, las cuales se encuentran sepultadas por depósitos de arena media a fina y lodos terrígenos.

1.2.2.a Plataforma continental carbonatada no rodeada externa

Esta unidad, siempre inicia en el borde de las construcciones arrecifales, siempre a 50 m.b.n.m.; su límite inferior es la isobata de los 200 m, donde se ubica el quiebre de la Plataforma, siendo su amplitud de 150 m y su superficie de 13,594 km², cabe mencionar que hacia la porción oriental de esta unidad, al igual que en la Plataforma continental no rodeada carbonatada interna, también se desarrollan depresiones cerradas de origen kárstico así como algunos pequeños bancos arrecifales. En esta misma porción se prolonga hacia el mar en comparación con su porción occidental. Las rocas que la constituyen están sepultadas por depósitos de arena media a fina, mal clasificada (Logan *et al.*, 1969; Aguayo-Camargo *et al.*, 1991), la cual fué denominada Manto Progreso por Logan *et al.* (1969).

1.2.2. b Plataforma continental externa terrígena

La Plataforma Continental Terrígena cubre un área de 12,000 km² aproximadamente, con una amplitud de 150 m, inicia a los 50 m y finaliza a los 200 m., se caracteriza por presentar bancos duros, los cuales serán descritos en las unidades biogénicas, sepultados por depósitos terrígenos, con una textura fina constituidos por fragmentos de foraminíferos y minerales silíceos. Las rocas sobre las que se desarrolla la unidad corresponden a las de la Formación Carrillo Puerto, anteriormente descrita.

2 MARINO BIOGÉNICO

Las formas que constituyen este relieve están directamente relacionadas a la actividad de organismos, que a su vez se ven influenciados por las corrientes, el oleaje, la turbidez del agua, vientos, temperatura del agua, etc. (Fig. 5). Se definió dentro de esta unidad a las construcciones de coral-alga sobre margen continental.

2.1 Construcciones de coral-alga sobre margen continental

El origen y desarrollo de estas formas se vincula a la existencia de una surgencia de aguas profundas ricas en nutrientes que se transportan a través de las capas de roca inferiores por lo que es denominada surgencia interna geotérmica (*endo-upwelling*) (Rougerie y Wathy, 1990), consiste en el ascenso de sales nutritivas necesarias para el desarrollo del arrecife, las cuales proceden de las capas oceánicas profundas subsaturadas de carbonato-aragonita que penetran en el zócalo calcáreo poroso del arrecife y son calentadas por el flujo geotérmico, elevándose en el interior del arrecife por convección y surgiendo luego en forma difusa en su laguna o bien en forma más dinámica alrededor de la corona externa, el cual desempeña un papel insustituible en la construcción y el funcionamiento de los edificios coralinos (Fig. 23). Durante este ascenso también se realiza un remplazamiento mineral conocido como dolomitización, es decir el carbonato de calcio (CaCO_3) principal constituyente de la caliza se transforma en dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$), lo que corresponde con la estratigrafía antes decrita.

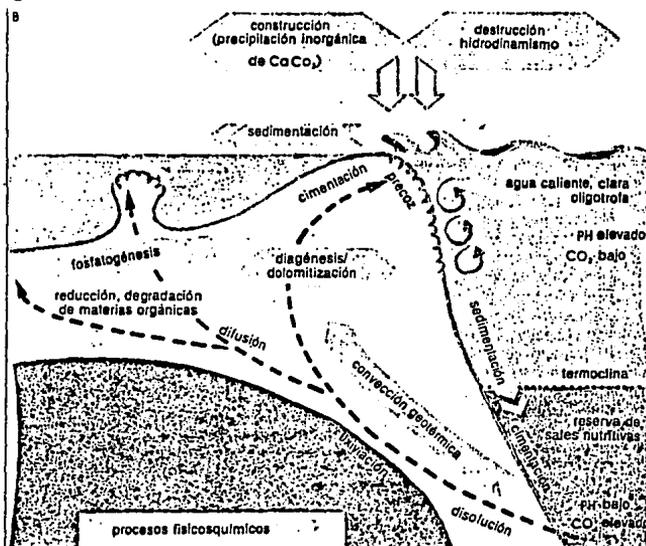


Figura 23. Modelo que representa de la surgencia interna. Tomado de Rougerie y Wathy (1990).

Las aguas profundas ascienden por efecto de la surgencia interna (*endowpelling*) ricas en gas carbónico disuelto y pH bajo, al final de su recorrido sufren una desgasificación que provoca una precipitación de carbonatos en la matriz calcárea que de este modo resulta cimentada y consolidada. El aporte de aguas con un elevado contenido de sales nutritivas sostiene la intensa actividad biológica (fotosintética) de las algas bentónicas y simbióticas como las zooxantelas.

Otra posible causa de los arrecifes en el borde de la Plataforma Campeche Yucatán, sin descartar que tal vez sean ambas las que actúen, es la surgencia de la corriente de Yucatán en el borde Este de la plataforma a la altura de Contoy, la que se desplaza posteriormente como corriente de fondo en la plataforma somera.

El análisis de estas formas permitió definir cuatro unidades distintivas las cuales se pueden observar con mayor detalle en los Modelos Digitales Sombreados y mapa de pendientes, en el cual se observan intensidades entre 2° y 3°. Todas las construcciones arrecifales están constituidas por la unidad sedimentaria Miembro Capas de Arena (Logan *et al.*, 1969), formada por biohermas, biostromas y clastos de esqueletos

2.1.1 Arrecife emergido

Las formas denominadas con este término son aquellas estructuras orgánicas que rompen el espejo de agua, constituyendo islas coralinas sobre la plataforma, y se caracterizan por presentar una pared arrecifal resistente al embate de las olas, constituida por comunidades orgánicas vivas. En la Tabla 1 se pueden observar los nombres y las coordenadas donde se ubican estos arrecifes.

2.1.2 Complejo arrecifal

Este término es utilizado en el sentido propuesto por Logan (1981), ya que esta estructura orgánica presenta la totalidad de las facies sedimentarias de un complejo arrecifal maduro como son talud distal, talud proximal, ladera del arrecife, armazón arrecifal, cresta arrecifal, llanura arrecifal, arena post-arrecifal. En la zona de estudio existe una sola estructura orgánica con estas características conocida como Arrecife Alacrán en la porción más oriental del área, el cual ocupa una superficie 52.53 km².

2.1.3 Banco arrecifal

Son aquellos arrecifes localizados sobre la Plataforma de Yucatán que no presentan la totalidad de las facies sedimentarias de los complejos arrecifales y que no cortan la superficie del espejo de agua. En muchas ocasiones estas elevaciones sólo superan los 5 m de amplitud de relieve aunque son muy abundantes principalmente cerca del Complejo Arrecifal de Alacrán y hacia el límite Noreste de la Plataforma de Yucatán

2.1.4 Banco duro

Se refiere a aquellas elevaciones que se localizan sobre la plataforma terrígena frente a la Laguna de Términos, las cuales presentan alturas generalmente cercanas a los 5 m y están constituidas por calizas biogénicas, es decir son construcciones arrecifales sepultadas por capas de sedimentos provenientes del continente.

3 MARINO DENUDATIVO

Las formas representativas de este relieve son las originadas por efectos de los procesos exógenos erosivos de las corrientes y los movimientos de masas.

En este estudio se pudieron definir dos unidades representativas, una los Cañones-corredores submarinos y el Cañón Submarino.

3.1 Cañones-Corredores submarinos

Esta unidad lineal sólo se encuentra en los taludes de Campeche y Yucatán, siendo más importantes sobre el primero. Estos cortan las porciones más escarpadas de estos taludes y representan la respuesta a los procesos gravitacionales modeladores de una serie de pequeñas depresiones longitudinales casi paralelas a la pendiente. En algunos casos estos elementos del relieve están favorecidos por la presencia de estructuras disyuntivas.

Estas depresiones longitudinales presentan formas de "V" en perfil transversal, mientras que en perfil longitudinal ligeramente cóncavo, con pendientes que oscilan entre 20° y 30°.

3.2 Cañón submarino

En el área de estudio se presentan dos grandes Cañones submarinos; el más importante se conoce con el nombre de Cañón Campeche, el cual se localiza al Oeste del área de estudio, el segundo no tiene una denominación específica.

El Cañón Campeche es genéticamente el resultado del contacto litológico entre las rocas del Banco Calcáreo de Yucatán al Este y los Diapiros de la Cuenca de Campeche al Oeste, por lo que su origen es el de una depresión de contacto, en la que actualmente se desarrollan procesos de transporte y sedimentación similares a los de un cañón. La gran expresión morfológica de esta unidad es debida, principalmente al desarrollo del Escarpe de Campeche y al ascenso, por inyección de sal, del Talud de Diapiros de Campeche y en segundo término a la presencia de una falla de NNW-SSE, que funciona como plano de debilidad asociado a la diferencia litológica.

La asimetría del Cañón (Fig. 26), se explica por el diferente desarrollo de los taludes que lo flanquean, mientras que su magnitud (desde su cabecera hasta su zona de depósito, 350 km) se explica por ser una depresión de contacto.

La superficie del fondo del Cañón es de alrededor de 2,700 km², con una amplitud de relieve de 1,000 m, inicia a 1,000 m.b.n.m. y su porción más profunda se encuentra a 2,000 m.b.n.m., las pendientes características de esta unidad varían de menos de 1° hasta 3°.

El cañón al Este del área se desarrolla sobre rocas carbonatadas y parece encontrarse influenciado por una falla de desplazamiento lateral izquierda, resultado de la rotación del Bloque Yucatán con velocidad diferencial.

Los cañones submarinos de menores dimensiones, generalmente están controlados por estructuras disyuntivas, que en algunos casos corresponden a expresiones morfológicas similares a fallas, debido a que presentan algunos desplazamientos horizontales. Al igual que el cañón al Este, estos Cañones son simétricos o casi simétricos (Fig. 27).

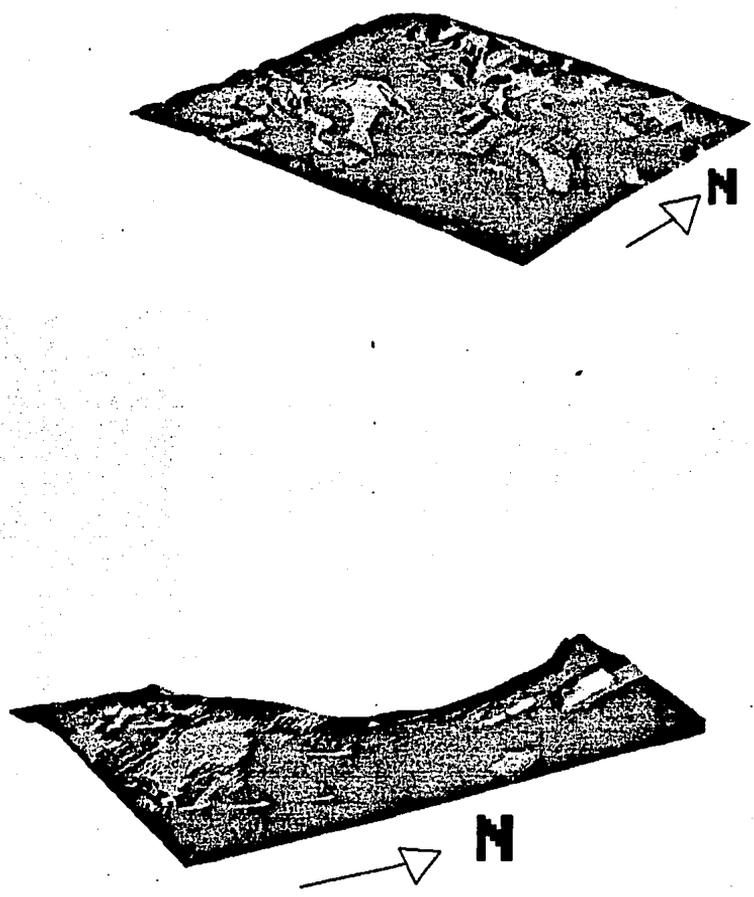


Figura 24. Modelos Sombreados de las construcciones arrecifales.

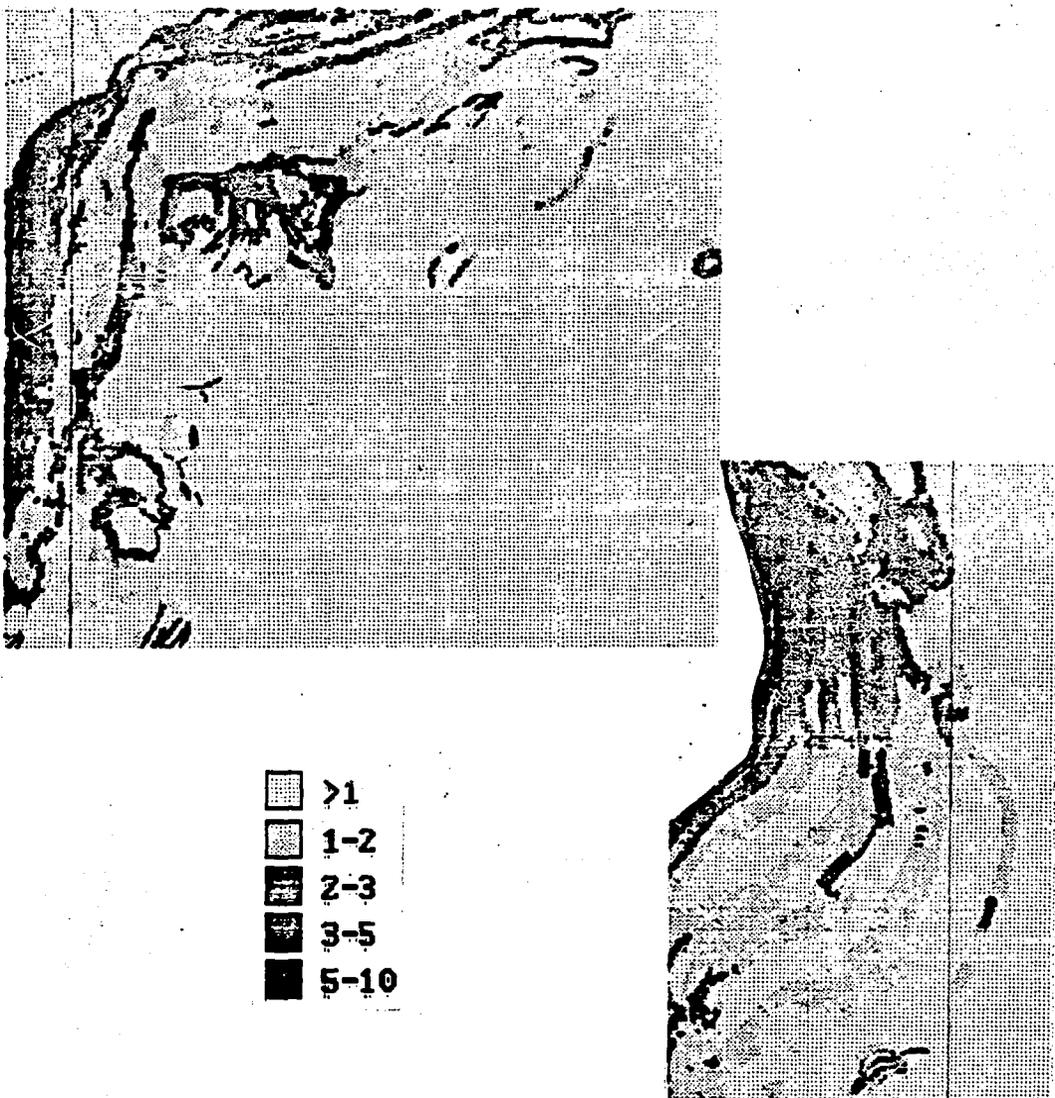


Figura 25. Mapa de Pendientes de las construcciones arrecifales.

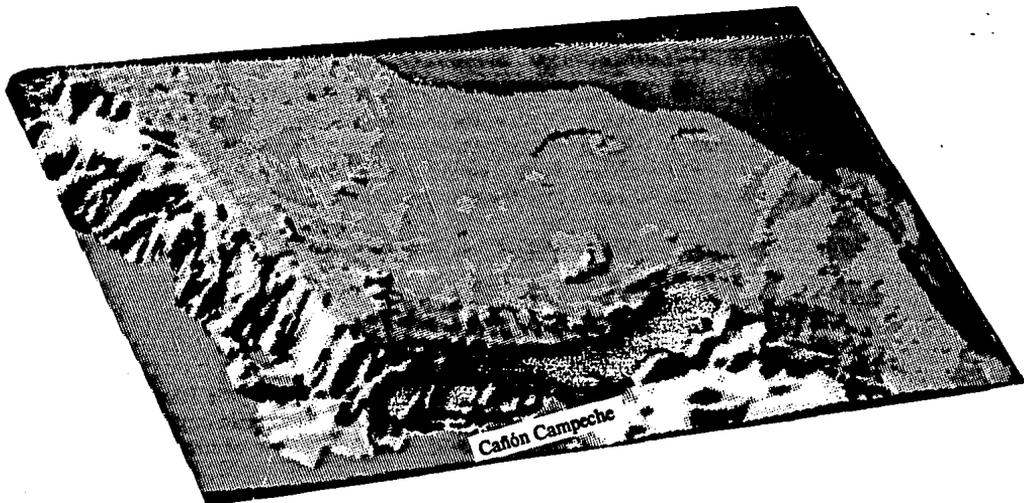


Figura 26. Modelo digital en tercera dimensión donde se observa el Cañón Campeche y cañones-corredores sobre los Escarpes de Campeche y Yucatán

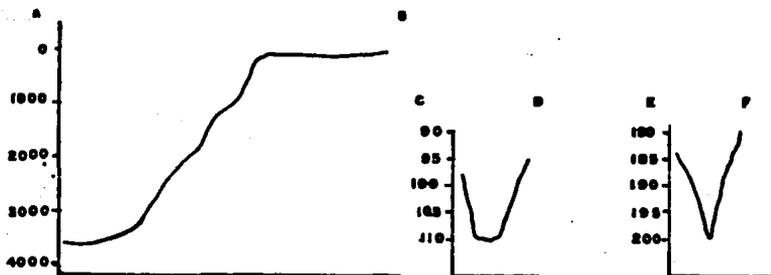


Figura 27 A) Perfil longitudinal de un cañón-corredor en el Talud Transicional de Campeche-Yucatán. B) Perfiles transversales de un cañón-corredor en el Talud Transicional de Campeche-Yucatán

4 MARINO ACUMULATIVO

Este conjunto de formas es producto de la deposición del sedimento proveniente de las unidades sedimentarias someras, que ha sido transportado por efecto de la gravedad o de las corrientes de fondo, o de precipitación *in situ* de los materiales disueltos en el agua del mar o bien de la sedimentación de organismos platónicos, por lo que la textura sedimentaria de éstas unidades corresponde a limo-arcillosa.

En el área de estudio se reconocieron dos grandes unidades denominadas pie de continente y llanura abisal.

4.1 Pie de Continente

Esta unidad se caracteriza por estar fuertemente influenciada por el aporte de material acarreado de las colinas de Campeche, la Bahía del mismo nombre y de la Plataforma Campeche-Yucatán a través del Cañón Campeche. Representa la forma de deposición de los sedimentos provenientes a manera de cono de deyección, donde ocurren frecuentes movimientos de reptación superficial (Buffler, en Buffler *et al.*, 1980).

En el área de estudio no se comprende la totalidad de esta unidad, sin embargo, ocupa una superficie de casi 7,500 km² y una amplitud de 1,000 m, iniciando a 2,000 m.b.n.m., terminando a 3,000 m.b.n.m; además presenta una pendiente menor a 1°.

4.2 Llanura abisal

La llanura abisal sólo se encuentra en la porción más septentrional del área de estudio y representa una pequeña parte de las denominada Cuenca de Sigsbee, donde se encuentran las mayores profundidades del golfo.

El área ocupada por esta unidad representa una superficie de aproximadamente 12,000 km² y pendientes menores a 1°, tiene una amplitud de relieve mínima ya que inicia a los 3,000 y el punto más profundo se encuentra a 3,600 m, fuera del área de estudio.

Desde el punto de vista sedimentario está constituida por deposición de microorganismos platónicos y precipitación *in situ*.

VI. CONCLUSIONES

Después de la elaboración del presente trabajo se concluye que independientemente de haber contribuido al conocimiento de las márgenes continentales pasivas, en especial a las de carácter carbonatado consideramos que esencialmente los aportes sobresalientes se encuentran englobados en cuatro grandes rubros:

- Caracterización de algunos de los atributos y propiedades del relieve mediante la cartografía batimétrica, parte de la cual fué generada en este trabajo, complementada con información de perfiles sísmicos, ecogramas, y perfiles batimétricos del fondo marino. Se generó la morfometría y morfografía que refleja las cualidades del relieve. Proponiendo, de esta manera una leyenda acorde a la morfología presente en el área de estudio, la cual fué estudiada adaptando metodologías, generalmente utilizadas en estudios de geomorfología continental y geología marina, poniendo énfasis en el análisis cartográfico-geomorfológico. Así pudieron ser definidas las principales estructuras disyuntivas que se presentan en la Mapa 5.
- Otro de los aportes, considerados como relevantes, son aquellos que de manera directa e indirecta corroboran las teorías acerca del origen por distensión (ritftogénesis) para el Golfo de México, giro del Bloque Yucatán en sentido de las manecillas del reloj, al empezar el desplazamiento lateral izquierdo de las fallas Motagua-Polochic y Motagua-Jocotan en el Terciario Superior. Lo anterior desecha cualquier idea sobre un origen simple y no tectónico para el golfo, por ejemplo la interpretación de la presencia de una falla de transcurrencia con desplazamiento lateral izquierdo que afecta al Talud de Campeche, al de Yucatán y a la Plataforma del mismo nombre; a la existencia del Cañón Campeche debido a una gran zona de debilidad interpretada como falla de transcurrencia antigua.
- Fué posible reconstruir la historia geológica del área, en especial de los últimos 2 millones de años; integrando evidencias y razonamientos que indican que la plataforma es una unidad modelada tanto por procesos marinos como por depositación de sedimentos terrígenos y precipitación de carbonatos, además de la depositación de organismos con testas o partes rígidas de su cuerpo las cuales están constituidas por carbonato de calcio. También han influenciado a la plataforma los procesos subaéreos cuando cuando esta quedó expuesta hace 18,000 años, durante el descenso del nivel de mar en la última glaciación, la Wisconsin, acaecida durante el Cuaternario.

Durante detenciones en las fluctuaciones glacioeustáticas del nivel del mar se desarrollaron tres superficies de nivelación o terrazas que presentan restos de organismos bentónicos de aguas someras, ooides, abundantes restos de fragmentos líticos y algunos fósiles por lo que se asocian a antiguas líneas de costa; dos de estas terrazas se encuentran en la denominada Plataforma Externa Carbonatada no Roeada y una sobre la Plataforma Interna Carbonatada no Rodeada.

Al permanecer expuesta la plataforma durante aproximadamente 13,000 años a los procesos atmosféricos, desarrolló importantes rasgos kársticos tales como depresiones

cerradas, elevaciones aisladas. Sobre estas últimas se establecieron las construcciones arrecifales. La plataforma carece de valles erosivos debido a la importante infiltración y consecuente disolución-erosión de la masa rocosa constituida por gruesos depósitos de Carbonato de Calcio (CaCO_3), Carbonato doble de Calcio y Magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), que constituyen a la roca caliza y dolomita respectivamente, así como evaporíticos como anhidritas (CaSO_4), yesos ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y halita (NaCl). Todos ellos, principalmente la caliza, son fácilmente solubles al agua con gas carbónico disuelto (ácido carbónico).

El desarrollo arrecifal en la plataforma se explica por el conjunto de relaciones entre 2 grandes grupos de factores, los físicos y biológicos que engloban en clima, ambiente tectónico y organismos existentes (ver Fig. 5).

Entre los factores físicos de la Plataforma de Campeche-Yucatán, podemos mencionar la que la temperatura del agua oscila entre 26°C y 30°C a una profundidad no mayor de 100 m, ya que esta es la profundidad máxima en la cual se desarrollan los arrecifes.

El aporte de nutrientes necesarios para las construcciones arrecifales, puede provenir a través de una surgencia de aguas profundas frías y ricas en carbono, nitrógeno, fósforo y sílice, con los cuales se incrementa la producción primaria y consecuentemente el crecimiento de los pólipos de coral y las construcciones arrecifales. En el caso de la Plataforma Campeche-Yucatán existe al Oriente la surgencia de Yucatán, la cual aflora cerca de Cabo Catoche y atraviesa a la somera plataforma de Este a Oeste como corriente de fondo hasta hundirse en un cañón submarino al Norte de Arrecife Alacrán.

Otra fuente de aporte de nutrientes puede ser el mecanismo propuesto por Rougerie y Wauthy (1990) de una surgencia interna (*endo-upwelling*), es decir de un ascenso de aguas profundas pero a través de las capas de roca calcárea porosa, explicándose así la intensa dolomitización que presentan las rocas de la plataforma, porque el agua asciende subsaturada de carbonato-aragonito y saturada de carbonato de magnesio que favorece el intercambio iónico del calcio por magnesio transformando la matriz calcárea en dolomita.

La presencia de estos arrecifes en el borde de la plataforma puede ser explicada porque ésta es la porción de la plataforma que mayor tiempo ha permanecido inundada por el agua del mar, excluyendo la terraza localizada a 91 m, aproximadamente.

- Apoyándose en la evolución geomorfológica, en las características del relieve y en el análisis de los sedimentos colectados para el Proyecto, del cual se desprende la presente investigación y de trabajos previos, se definió la leyenda más apropiada para el tipo de relieve, información disponible y escala de trabajo, reconociéndose cinco unidades principales y siete secundarias en el área de investigación, las cuales están plasmadas en la Carta Morfogénica de la Porción Sureste del Golfo de México y se enlistan a continuación:

1 TECTÓNICO-TABULAR MODELADO

1.1 Talud Continental

- 1.1.1 Talud de Diapiros Salinos
- 1.1.2 Escarpe de Campeche
- 1.1.3 Escarpe de Yucatán
 - 1.1.3.a Talud Superior
 - 1.1.3.a Talud Inferior
- 1.1.4 Escarpe de Transición Campeche Yucatán
- 1.1.5 Talud-Cabecera de Cañón Submarino

1.2 Plataforma Continental

- 1.2.1 Plataforma Continental no Rodeada Interna
 - 1.2.1.a Plataforma Continental Carbonatada Interna No Rodeada
 - 1.2.1.b Plataforma Continental Terrigena Interna
- 1.2.2 Plataforma Continental Externa No Rodeada
 - 1.2.2.a Plataforma Continental Carbonatada no Rodeada Externa
 - 1.2.2.b Plataforma Continental Terrigena Externa

2 MARINO BIOGÉNICO

2.1 Construcciones de coral-alga en margen continental

- 2.1.1 Arrecife Emergido
- 2.1.2 Complejo Arrecifal
- 2.1.3 Banco Arrecifal
- 2.1.4 Banco Duro

3 MARINO DENUDATIVO

- 3.1 Cañones-Corredores Submarinos
- 3.2 Cañón Submarino

4 MARINO ACUMULATIVO

4.1 Pie de Continente

4.2 Llanura Abisal

5 KÁRSTICO

5.1 Dólinas

LITERATURA CITADA

- A. A. P. G., 1972. *Continental Shelves Origin and Significance*. Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.:
- AGUAYO-CAMARGO, J. E. y S. MARIN-CÓRDOVA, 1987. Origen y evolución de los rasgos postcretácicos de México. *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo XLVIII (2): 16 - 39.
- AGUAYO-CAMARGO, J. E. y E. CARRANZA-EDWARDS, 1990. Regiones Marinas de México. *II Reunión Nacional de Geomorfología*. Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México: 23 - 24.
- AGUAYO-CAMARGO, J. E., A. Z. MÁRQUEZ GARCÍA, R. SALAS-COLUNGA, M. E. MENDOZA-CANTÚ, A. CARRILLO-BAÑUELOS y A. PÉREZ-ROJAS, 1991. Geología. In: Solís Weiss, V. 1991. *Dinámica Océánica y su Relación con el Deterioro Ambiental en la Porción Sur del Golfo de México*. Proyecto DINAMO, DGAPA/UNAM IN209789. Primer Informe Técnico: 29 - 49.
- AVDEEV, A. I. e I. M. BELOUSSEV, 1968. On geomorphology of the Sea Caribe and Gulf of Mexico. *Coloquios de Investigaciones del Mar Caribe y Regiones Adyacentes*. UNESCO, FAO, ICCRA: 215 - 224.
- ANTOINE, J. W., R. G. MARTIN, T. G. PYLE y R. W. BRYANT, 1974. Continental Margins of the Gulf of Mexico. In: BURK, C. A. y C. L. DRAKE (Eds.) 1974. *Geology of the Continental Margins*. Spriger-Verlag, New York: 673 - 693.
- BERGANTINO, R.N., 1971. Submarine Regional Geomorphology of the Gulf of México. *Geological Society of American Bulletin*, 82: 741 - 752.
- BLOOM, A. L., 1974. Geomorphology of reef complexes. In: LAPORTE, L. F. (Ed.), 1974. *Reefs in the Time and Space. Selected Examples from the Recent and Ancient*. Society of Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication No. 3. Oklahoma, U.S.A.: 1 - 8.
- BLOOM, A. L., 1978. *Geomorphology: a Sistematic Analysis of Late Cenozoic Landforms*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, U.S.A.: 510 pp.
- BOILLOT, G., 1984. *Geología de los Márgenes Continentales*. Masson, S.A. Barcelona, España: 141 pp.
- BONET, F., 1967. Biogeología superficial del Arrecife Alacrán. *Boletín Instituto de Geología, Univ. Nal Autón México*, 80: 191 p.p.
- BOUMA, A. H., 1968. Distribution of minor structures in the Gulf of Mexico sediments. *Gulf of Coast Assoc. Geol. Soc. Trans.*, 18: 26 - 33.

BOUMA, A. H. 1972. Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico. *In: REZAK, R. y V. J. HENRY (Eds.), 1972. Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico.* Texas A y M. University. Oceanography Studies, Vol. 3, 35 - 65.

BOUMA, A. H., 1979. Continental Slopes. *In: DOYLE, L. J. y O. H. PILKEY (Eds.), 1979. Geology of the Continental Slopes.* Society of Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication No. 27. Oklahoma, U.S.A.: 1 - 15.

BOUMA, A. H. y W. R. BRYANT, 1968. Review of geology and geophysics of the Gulf of Mexico as it relates to the G.E.P. Programme. *Coloquios de Investigaciones del Mar Caribe y Regiones Adyacentes.* UNESCO, FAO, ICCRA: 225 -230.

BRUNNER, C. A. y J. F. COOLEY, 1976. Circulation in the Gulf of México during the last glacial maximum 18, 000 years ago. *Geological Society of American Bulletin.* 87: 681 - 686.

DRAKE, C. L. y C. A. BURK, 1974. Geological significanse of the continental margins. *In: BURK C. A y C. L. DRAKE (Ed.), 1974. Geology of the Continental Margins.* Springer-Verlag, New York: 1009.

CONEY, P. J. 1983. Un modelo Tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y Caribe. *Revista del Instituto Mexicano del Petróleo,* 15: (1) 6 - 15.

DEL CASTILLO G., L. y V. A. VIVAZ. 1973. Esquema tectónico del borde de la Placa del Caribe al Este de Yucatán. *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros,* 25: (4-6) 158 -197.

DERRAU, M., 1978. *Geomorfología.* Ariel, Barcelona: 528 p.p.

DIETZ, R. S., 1952. Geomorphic evolution of continental terrace (continental shelf and slope), *In: A. A. P. G., 1972. Continental Shelves Origin and Significance.* Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 96 - 113.

DIETZ, R. S., 1964. Wave base, marine profileof equilibrium and wave build terrace: reply. *Geological Society of American Bulletin* 75: 1275 - 1282.

DIETZ, R. S. y H. W. MENARD, 1951. Origin of the abrupt change in slope at continental shelf margin. *In: A. A. P. G., 1972. Continental Shelves Origin and Significance.* Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 73 - 95.

EMERY, K. O., 1965. Characteristics of continental shelves and slopes. *In: A. A. P. G., 1972. Continental Shelves Origin and Significance.* Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 114 - 119.

EMERY, K. O., 1970. Continental margins of the world. In: Denlay, F.M. (Ed.) *The Geology of the east Atlantic Continental Margin*. Inst. Geol. Sci. Report 70/131. General and economics papers. London: H.M.S.O.

EMILSON, I. 1976. La oceanografía regional con respecto a los problemas actuales y futuros de la contaminación y los recursos vivos del Golfo de México. *Reunión Internacional de Trabajo COL/PNUMA, sobre contaminación marina en el Caribe y regiones adyacentes*: 13 - 18.

FRANKLIN, S. E., 1987. Geomorphometric processing of digital elevation models. *Computers and Geosciences*, 13 (6): 603 - 609.

FOLK, R. L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's Publ. Co., Austin, Texas: 182 p.p.

GARRISON, L. E. y R.G. MARTIN, 1973. Geologic structures in the Gulf of Mexico basin. *Geological Society of American Bulletin*, 66: 203 - 228.

GUILCHER, A., 1988. *Coral Reef Geomorphology*. John Wiley and Sons. LTD. New York, U.S.A.: 228 pp.

HINE, A. C. y H. T. MULLINS, 1983. Modern carbonate shelf-slope breaks. In: STANLEY, D. J. y G. T. MOORE (Eds.), 1983. *The Shelfbreak: Critical Intefase on Continental Margins*. Society of Paleontogists and Mineralogists Economics. Special Publition . Oklahoma, U.S.A.: 169 - 188.

HOPLEY, D., 1982. *Geomorphology of the Great Coral Barrier*, John Wiley and Sons., New York, U.S.A.: 953 p.p.

ILWIS, Integrated Land and Watershed Managment Information System, 1990. User's Manual, *International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC)*, Enschede, the Netherlands.

KING, C. A. M., 1975. *Introduction to Marine Geology and Geomorphology*. Edward Arnold Crane Russak. London, England: 309 pp.

KORNIKER L. S. y D. W. BOYD, 1962 Shalow water geology and enviroments of Alacran reef complex, Campeche Bank, Mexico, *American Asociatios of Petroleum Geologist Bulletin*, 46: 64 - 673.

LAMADRID-MARON J. y R. HORTA-CARBALLAL, 1984. *Geomorfologia*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba: 166 pp.

LEES, G. M., 1951. Nature of continental shelves In: A. A. P. G., 1972. *Continental Shelves Origin and Significance*. Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 70 - 72.

- LOGAN, B. W., 1969. Coral reefs and banks, Yucatan Shelf, Mexico (Yucatan Reef Unit). *In: Mexico Carbonate sediments and reefs, Yucatan shelf, Mexico A.A.P.G., 1969. Memoir 11. Oklahoma, U.S.A.: 129 - 198.*
- LOGAN, B. W., J. L. HARDING, W. M. AHR, J. D. WILLIAMS y SNEAD, R. G. 1969. Late Quaternary carbonate sediments of Yucatan Shelf. *In: Mexico Carbonate sediments and reefs, Yucatan shelf, Mexico A.A.P.G., 1969. Memoir 11. Oklahoma, U.S.A.: 1 - 128.*
- LOGAN, M. W. 1981. A Process Approach to Recognizing Facies of Reef Complexes. *In: DONALD, F. T. (Ed.), 1981. European Fossils Reefs Models. Society of Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication No. 30. Oklahoma, U.S.A.: 9 - 40.*
- LÓPEZ-RAMOS, E. 1973. Estudio geológico de la Península de Yucatán. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros, 25: 23 - 75.*
- LUGO-HUBP, J. I., 1985. Morfoestructuras del fondo oceánico. *Boletín del Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México. 15: 9 - 39.*
- LUGO-HUBP, J. I., 1988. *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*, Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México: 128 pp.
- LUGO-HUBP, J. I., 1988. *La Superficie de la Tierra. Un Vistazo a un Mundo Cambiante.* Fondo de Cultura Económica, México (Col. La ciencia desde México No. 54) 1988: 130 p.p.
- LUGO-HUBP, J. I., 1989a. La Geomorfología en México. *Ciencia y Desarrollo, CONACYT. 15, (87): 69 - 79.*
- LUGO-HUBP, J. I., 1989b. *Diccionario Geomorfológico*, Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México, 337 p.p.
- LUGO-HUBP, J. I., 1990. El relieve de la República Mexicana. *Instituto de Geología, Univ. Nal. Autón. México, 9 (1): 82 - 111.*
- LUGO-HUBP, J. I., J. F. ACEVES-QUEZADA y R. ESPINAZA-PEREÑA, 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán. *Instituto de Geología, Univ. Nal. Autón. México, 10 (2): 143 - 150.*
- MACINTIRE, I. G., R.B., BURKE y R. STUCKENRATH, 1977. Thickest recorded Holocene reef section, Isla Pérez core hole, Alacran Reef, Mexico. *Geology 5: 749 - 754.*
- MADRIGARL-UGALDE, L. 1980. Exploración petrolera en las plataformas continentales de México. *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 32 (2): 3 - 17.*

MARTIN, G. y A. H. BOUMA, 1976. Physiography of the Gulf of Mexico. *In*: A. H. BOUMA *et al.* (eds), 1976. *Beyond the Shelf Break*. A.A.P.G. Marine Geology Comm. Short Course. 2: 3 - 19.

MAXWELL, W. G. H., 1968. *Atlas of the Great Barrier Reef*. New York. Elsevier: 58.

MENARD, H. W. 1967. Transitional types of under small oceans basins. *Jour. Geophys. Research*, 74: 3061 -3073.

MILIMAN, J. D., 1974. *Marine Carbonates*. Springer-Verlag. New York: 375 p.p.

MINA-UHINK, F., A. GARCIA-ROJAS y S. FIGUEROA-HUERTA, 1956. Plataforma continental, conocimientos geológicos modernos y métodos usados para obtener esta información. *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 8, (3-4): 175 - 182.

MONREAL-GÓMEZ, M. A. y D. A. SALAS DE LEÓN, 1990. Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional, Univ. Nal. Autón. México*, 29 (2): 101 - 111.

MOORE, G. W. y G. L. DEL CASTILLO, 1974. Tectonic evolution of the southern Gulf of Mexico. *Geological Society of American Bulletin*, 85: 607 -618.

ORLOVA, V. N., (1981). *El Mosaico Móvil de la Tierra*. Ed. Nedra, Moscú: 118 pp., (en ruso).

ORTIZ-PÉREZ, M. A., 1990. *Perfiles Geomorfológicos Complejos*. (Serie Varia T 1 No. 12). Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México: 46 pp.

ORTIZ-PÉREZ, M. A. Y L. M. ESPINOSA-RODRÍGUEZ, 1991. Una clasificación geomorfológica de los tipos de costa de México. *Geografía y Desarrollo. Revista del Colegio de Geógrafos Postgraduados A. C.*, 2: (6): 2 - 9.

PALACIO-PRIETO J. L., J. LÓPEZ-BLANCO y M. A. ORTIZ-PÉREZ, 1991. Evaluación geomorfológica estructural a través de modelos sombreados y pares estereocópicos generados a partir de Modelos Digitales de Terreno. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía. Univ. Nal. Autón. México*, 23: 89 - 101.

PELTON C., 1987. A computer program for hill-shading digital topographic data sets. *Computer and Geosciences*, 13 (15): 545 -548.

PETERSON, J. A., 1982 . *Petroleum Geology Resources of Southeastern Mexico, Norten Guatemala, and Belice*. Geological Survey Circular, 760: 44 p.p.

PITMAN III W. C. y X. GOLOVCHENKO, 1983. The effect of sea level change of the shelfedge and slope of passive margins. *In*: STANLEY, D. J. y G. T. MOORE (Eds.), 1983. *The Shelfbreak: Critical Intefase on Continental Margins*. Society of

Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication . Oklahoma, U.S.A.: 41 - 58.

PRATT, W., E. 1950. Variations in history of continental shelves, discussion. In: A. A. P. G., 1972. *Continental Shelves Origin and Significance*. Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 66 - 69.

PURDY, E. G. 1974. Reefs configuration: cause and effect. In: (Ed.) LAPORTE, L. F., 1974. *Reefs in the Time and Space. Selected Examples from the Recent and Ancient*. Society of Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication No. 3. Oklahoma, U.S.A.: 9 - 76.

REZAK R. G. y SERPELL EDWARDS, G. 1972. Carbonate sediments of the Gulf of Mexico. In: REZAK, R. y V. J. HENRY (Eds.), 1972. *Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A y M. University. Oceanography Studies, Vol. 3, 263 - 280.

ROSS, M. I. y C. .R. SCOTESE 1988. A hierachical tectonic model of Gulf of Mexico and Cariebbeas region. *Tectonophisics 155*: 139 - 168

ROUGERIE, F. y B. WAUTHY, 1990. Los arrecifes de coral: unos ecosistemas increíblemente productivos. *Mundo Científico (versión en español de Rechertee)*, 10 (106): 965 - 974.

SHEPARD, F. P. 1948. *Submarine Geology*. Harper and Row Publishers. New York, U.S.A.: 348 p.p.

SHEPARD, F. P. 1969. *The Earth Beneath the Sea*. Atheneum. New York, U.S.A.: 242 P.P.

SHEPARD, F. P. 1973. *Submarine Geology*. Harper and Row Publishers. New York, U.S.A.: 517 pp.

STEPHAN J . F. *et al.*, 1990. Paleogeodynamics maps of the Caribbean. *Bulletin Soc. Geol. France, Paris* (6).

UCHUPI. E. 1975. Physiography of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. In: NAIRN, A. E. M. y F. G. STEHLI (Eds.) *The Ocean Basins and Margins, the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea*. Wood Hole Oceanographic Institution. Massachsetts, U.S.A.: 64 pp.

UMBGROVE, J. H. F., 1946. Origin of continental shelves. In: A. A. P. G., 1972. *Continental Shelves Origin and Significance*. Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 3 - 7.

VALENZUELA, C., 1988. ILWIS Overview, *ITC Journal 1*: 3 - 14.

VANNEY, J. R., y J. D. STANLEY, 1983. Physiography of the Shelfbreak: Overview. In: STANLEY D. J. y G. T. MOORE (Eds.) 1983. *The Shelfbreak: Critical Interfase on Continental Margins*. Society of Paleontologists and Mineralogists Economics. Special Publication. Oklahoma, U.S.A.: 1-24.

VINIEGRA, O. F., 1971. Age and evolution of salt basins of southeastern Mexico. *Amerina Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 17 (7-12): 474-498..

VINIEGRA, O. F., 1981. El Gran Banco Calcáreo Yucateco. *Ingeniería, Revista de la Facultad de Ingeniería, Univ. Nal. Autón. México*, 51 (1): 20-44.

WALSH, S. J., 1985. Geographical Information System for Natural Resource Management. *Journal of Soil and Water Conservation*: (40): 202-205.

WEAVER, P., 1950. Variation in history of continental shelves. In: A. A. P. G., 1972. *Continental Shelves Origin and Significance*. Selected Papers from the A. A. P. G. Serie 3. Oklahoma, U.S.A.: 351-360.

WILHEM, O. y M. EWING, 1972. Geology and history of the Gulf of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 83: 575-600.

WILSON, J. L., 1974. Characteristics of carbonate platforms margins. *Amerina Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 58: 810-824.

WILSON, J. L., 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer-Verlag. New York: 471 pp.

WINKER, C. y R. T. BUFFLER, 1988. Paleogeographic Evolution of Early Deep Water Gulf of Mexico and margins, Jurassic to Middle Cretaceous (Comancheano) *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 72 (3) 318-346.

3000 00 2001 1721
2001 00 17 20 0112

CARTOGRAFÍA CITADA

AGUAYO-CAMARGO, J. E. y E. CARRANZA-EDWARDS, 1991. *Tectónica Marina* (mapa República Mexicana): Univ. Nal. Autón. México, Instituto de Geografía Atlas Nacional de México, hoja Geología Marina, núm. IV.9.5.A. Escala 1:4,000,000.

BROWDER, W. C., 1974. *Batimetría Campeche, Camp. No. 1*. Gerencia de Exploración, Operaciones Marinas, Petroleos Mexicanos. Escala 1:200,000.

BROWDER, W. C., 1974. *Batimetría Campeche, Camp. No. 2*. Gerencia de Exploración, Operaciones Marinas, Petroleos Mexicanos. Escala 1:200,000.

BUFFLER, R. T., S. D. LOCKER, W. R. BRYANT, S. T. HALL, Y R. H. PILGER Jr., 1980. *Atlas No. 6 Gulf of Mexico*. Ocean Margin Drilling Program. Marine Science International Woods Hole. 36 hojas.

CARRANZA-EDWARDS, E. y J. E. AGUAYO-CAMARGO, 1991. *Sedimentología Marina* (mapa República Mexicana): Univ. Nal. Autón. México, Instituto de Geografía Atlas Nacional de México, hoja Geología Marina, núm. IV.9.5.B. Escala 1:8,000,000.

DE CSERNA Z., 1992. *Tectónica*, (mapa República Mexicana): Univ. Nal. Autón. México, Instituto de Geografía Atlas Nacional de México, hoja Tectónica, núm. IV.2.1. Escala. 1:4,000,000

GEOSURCE, 1974. *Batimetría Mar Afuera de Progreso No. 6*. Gerencia de Exploración, Operaciones Marinas, Petroleos Mexicanos. Escala 1:200,000.

LUGO-HUBP, J. I. y C. CÓRDOVA-FERNÁNDEZ DE ARTEAGA, 1991. *Morfogénesis*, (mapa República Mexicana): Univ. Nal. Autón. México, Instituto de Geografía Atlas Nacional de México, hoja Geomorfología 1, núm. IV3.3. Escala. 1:4,000,000.

INEGI, 1982. Carta Topográfica Campeche, Clave E15-3. Escala 1:250,000

INEGI, 1982. Carta Topográfica Calkini, Clave F15-9-12. Escala 1:250,000

INEGI, 1982. Carta Topográfica Tzucun, Clave F16-7. Escala 1:250,000

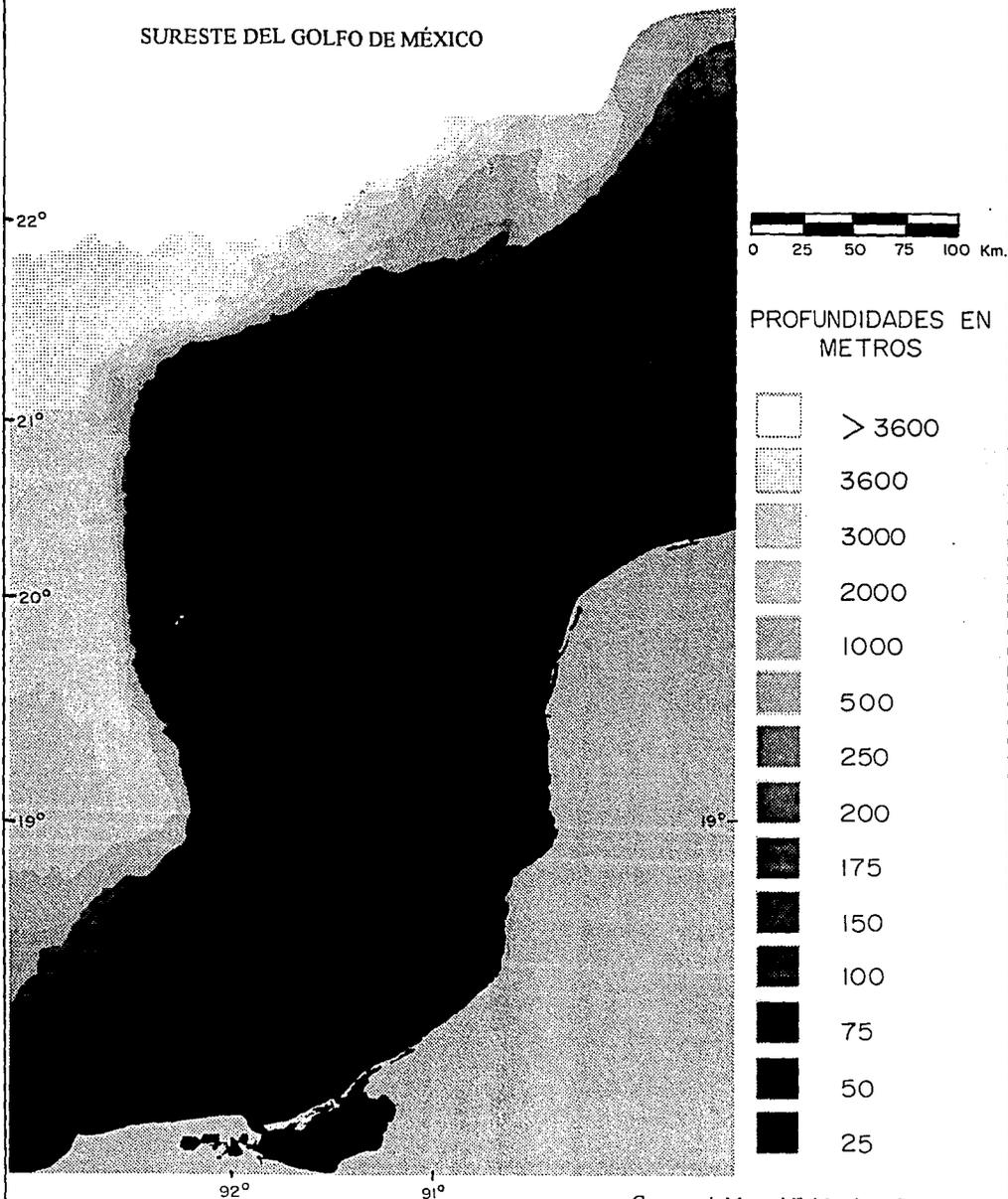


ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

MAPA HIPSOMÉTRICO

SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO



93

92°

91



22°

22°

21°

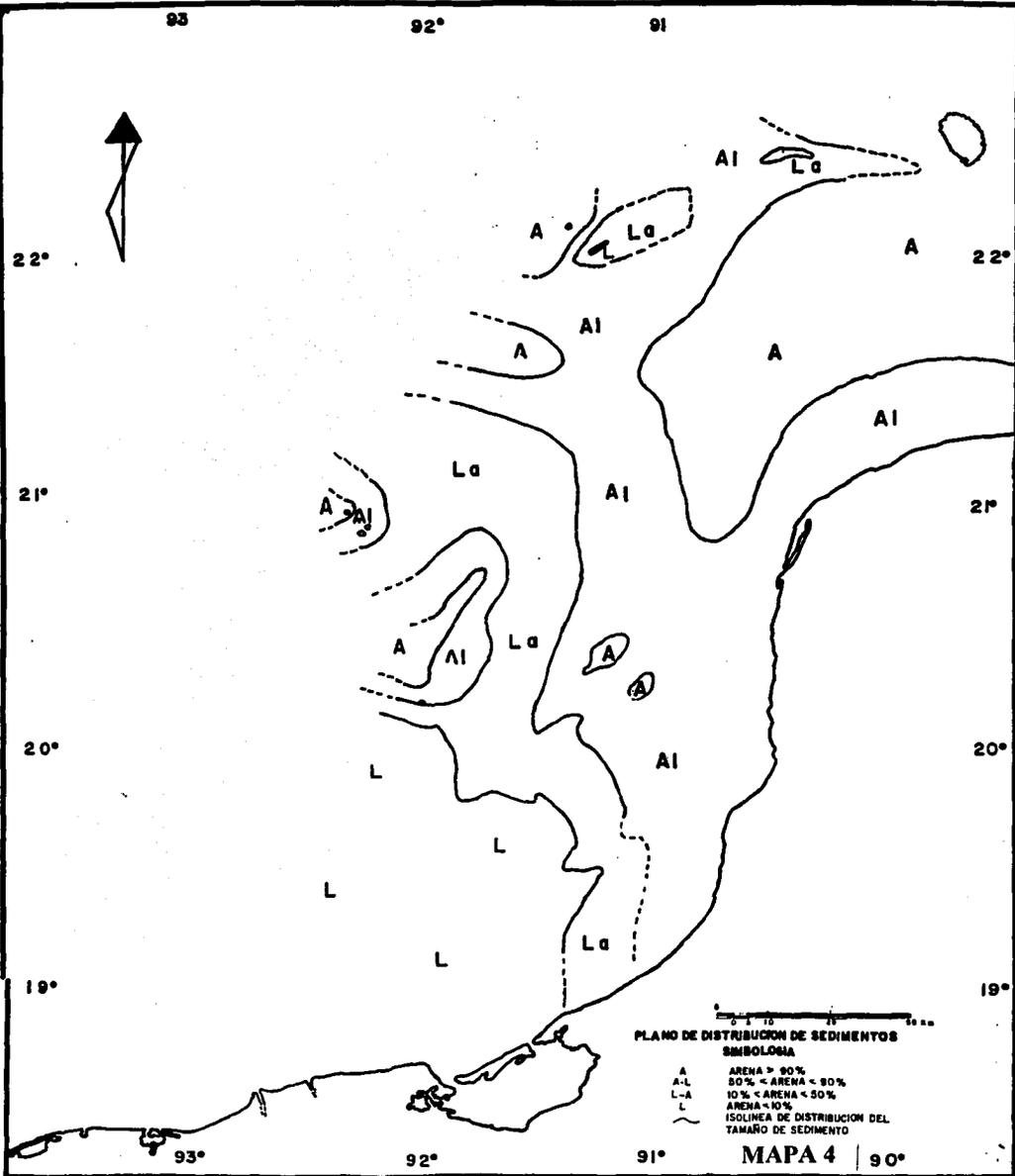
21°

20°

20°

19°

19°



93°

92°

91°

MAPA GEOMORFOLÓGICO SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

LEYENDA

1 TECTÓNICO-TABULAR MODELADO

1.1 Talud Continental

-  1.1.1 Talud de Diapiros Salinos
-  1.1.2 Escarpe de Campeche
-  1.1.3 Escarpe de Yucatán
-  1.1.3.a Talud Superior
-  1.1.3.a Talud Inferior
-  1.1.4 Escarpe de Transición Campeche Yucatán
-  1.1.5 Talud-Cabecera de Cañón Submarino

1.2 Plataforma Continental

- 1.2.1 Plataforma Continental no Rodeada Intérna
 -  1.2.1.a Plataforma Continental Carbonatada Interna No Rodeada
 -  1.2.1.b Plataforma Continental Terrigena Interna
- 1.2.2 Plataforma Continental Externa No Rodeada
 -  1.2.2.a Plataforma Continental Carbonatada no Rodeada Externa
 -  1.2.2.b Plataforma Continental Terrigena Externa

2 MARINO BIOGÉNICO

2.1 Construcciones de coral-alga en margen continental

-  2.1.1 Arrecife Emergido
-  2.1.2 Complejo Arrecifal
-  2.1.3 Banco Arrecifal
-  2.1.4 Banco Duro

3 MARINO DENUDATIVO

-  3.1 Cañones-Corredores Submarinos
-  3.2 Cañón Submarino

4 MARINO ACUMULATIVO

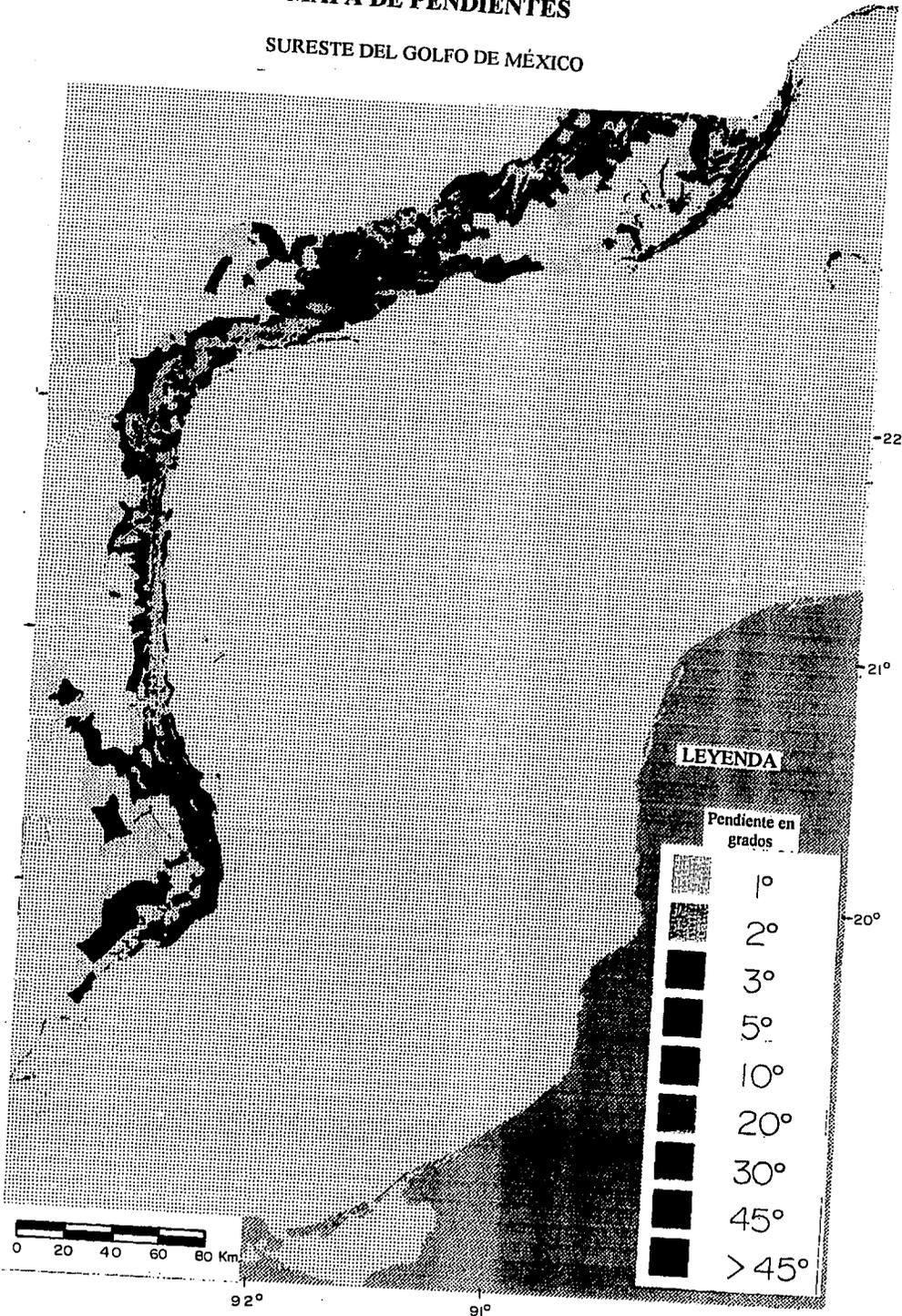
-  4.1 Pic de Continente
-  4.2 Llanura Abisal

5 KÁRSTICO

-  5.1 Dólmias

MAPA DE PENDIENTES

SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO



MAPA 2

Construyó: Manuel E. Mendoza Cantú



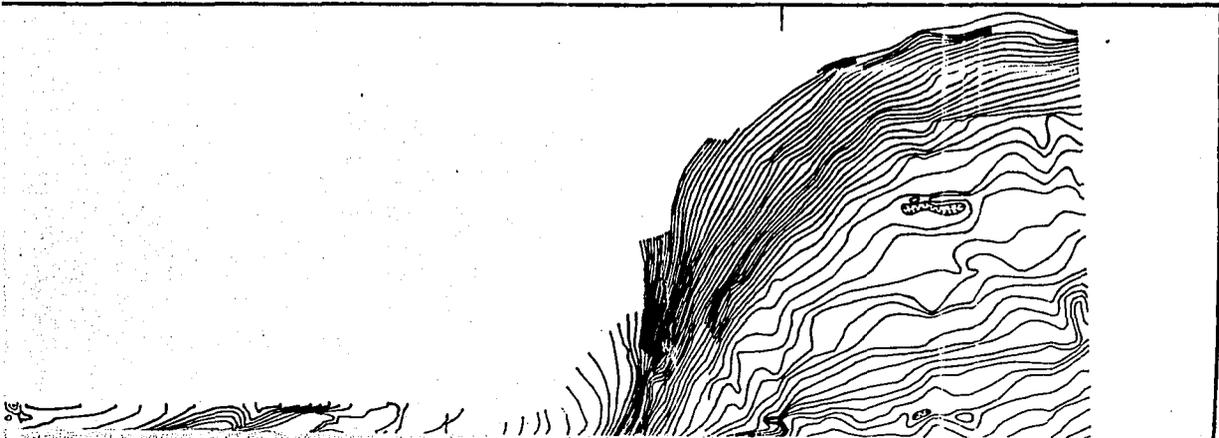
[Redacted content]

92°00'

91°00'

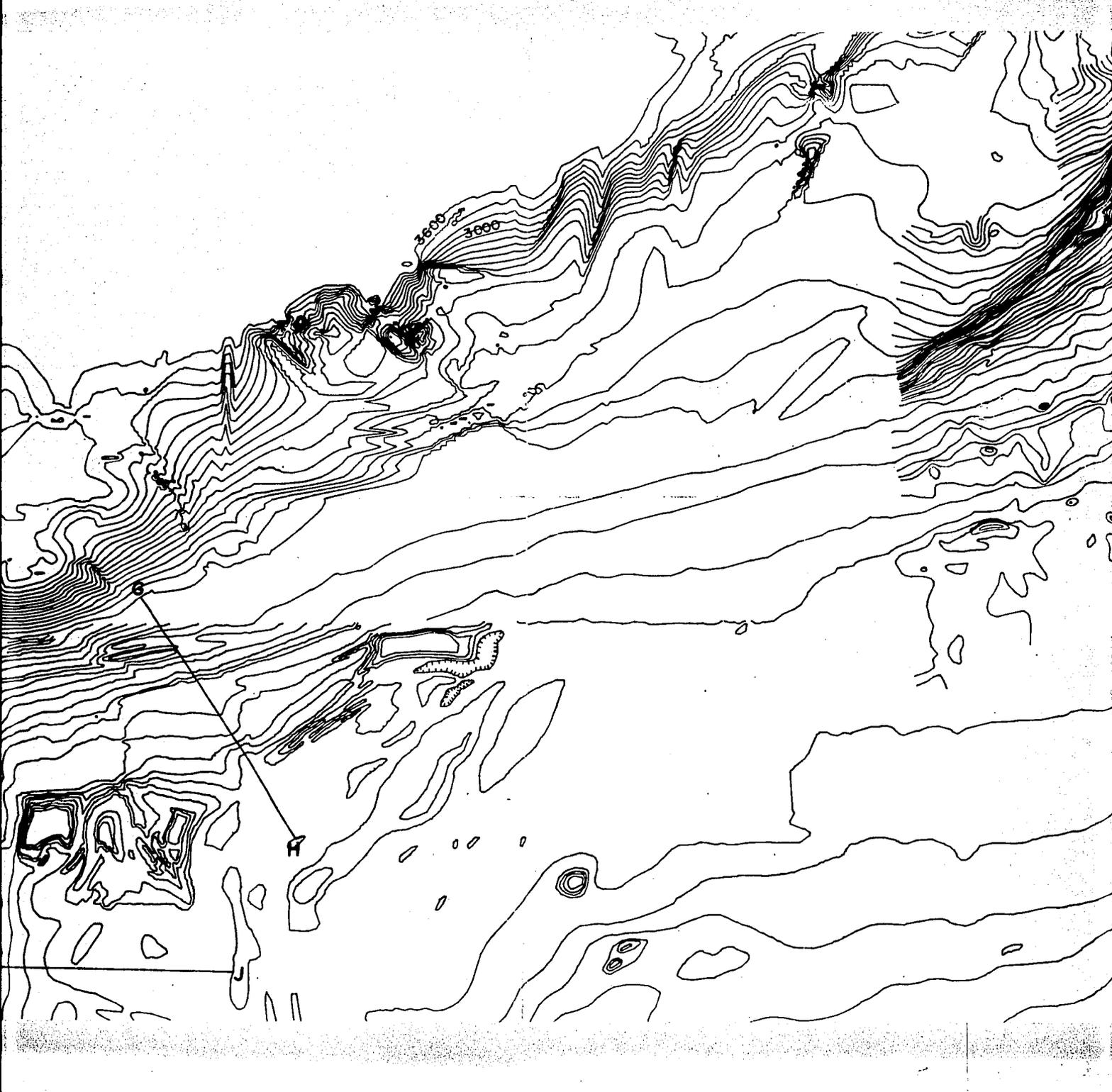
0.05

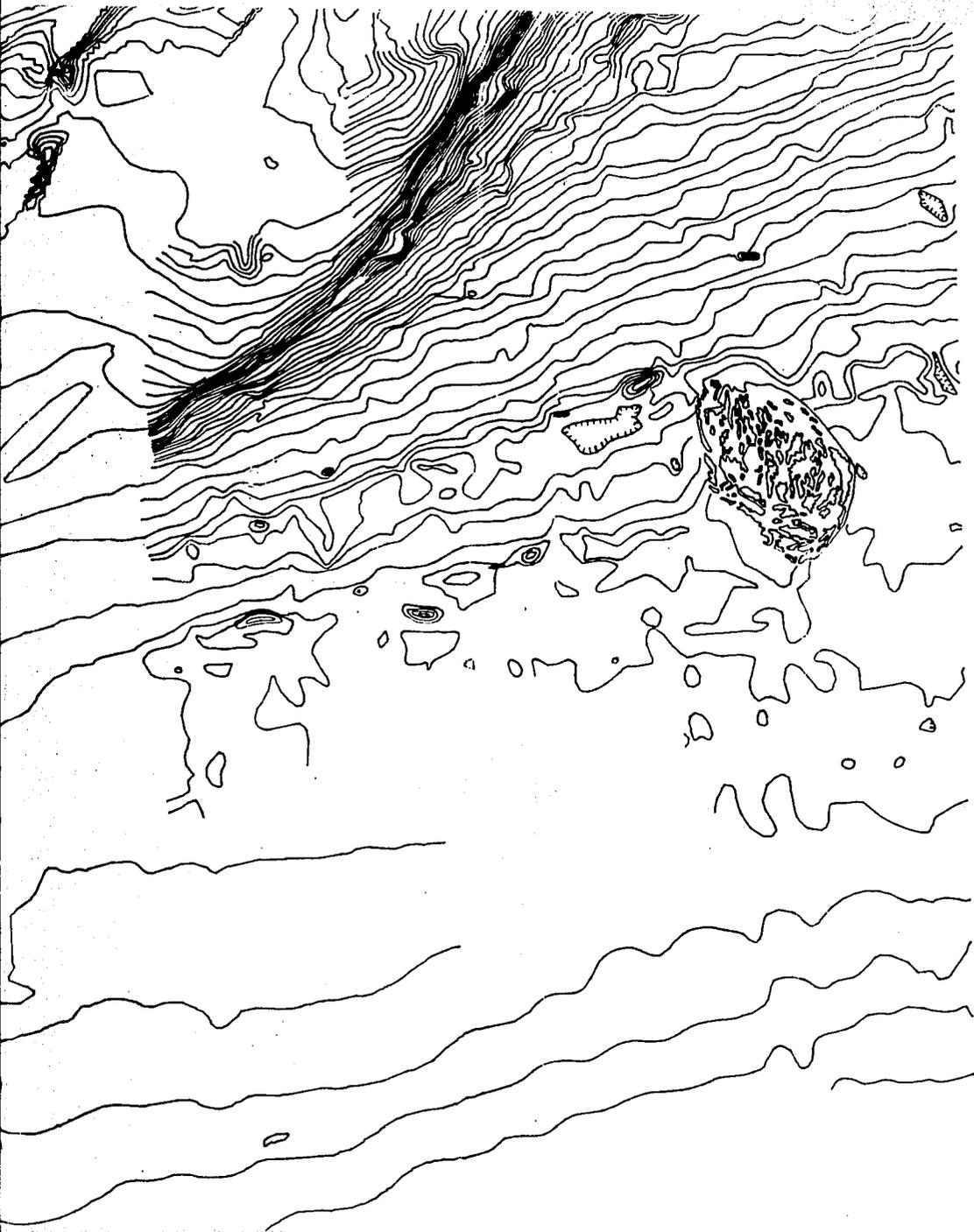
90°00'



22°00'







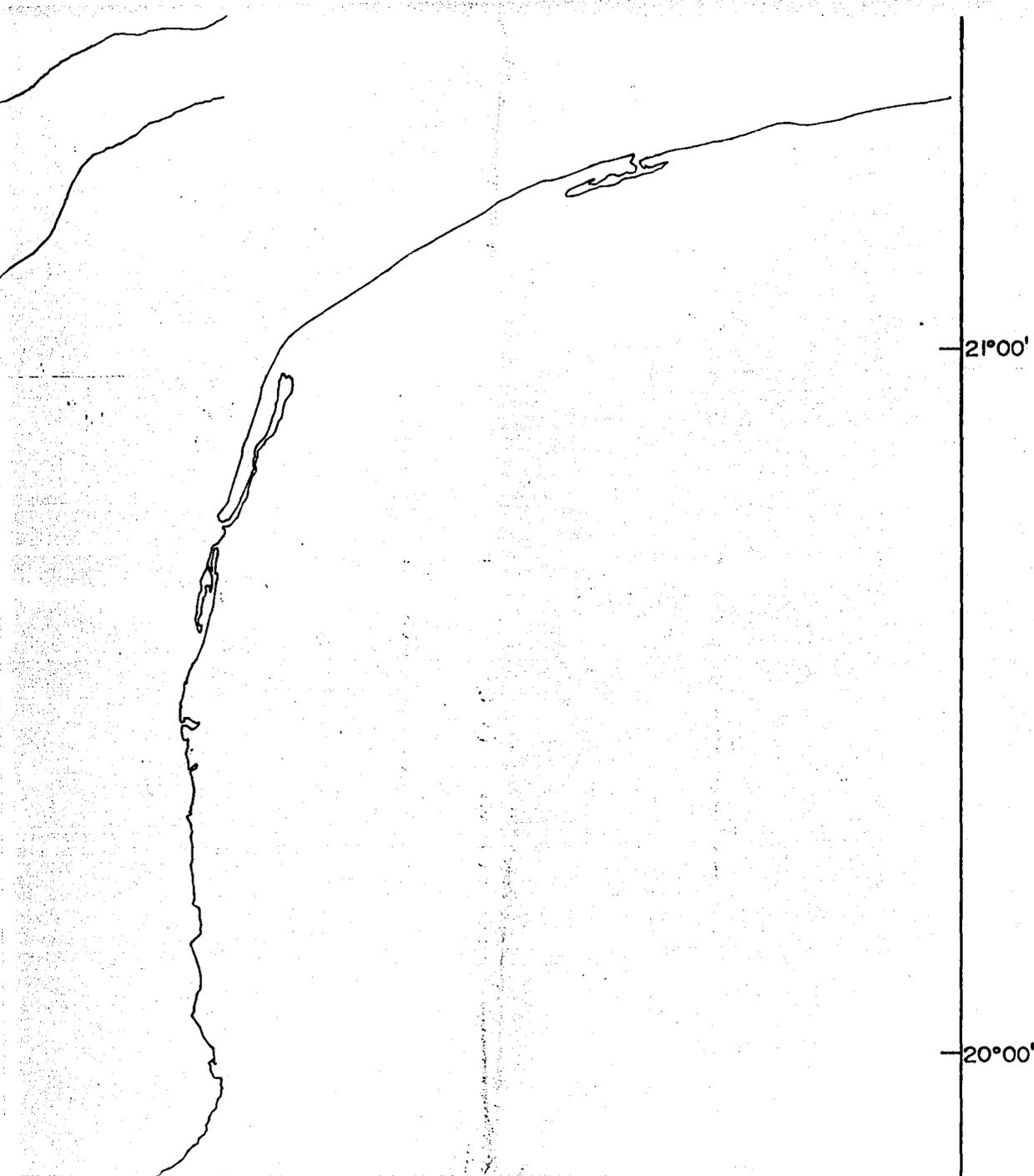
22°00'

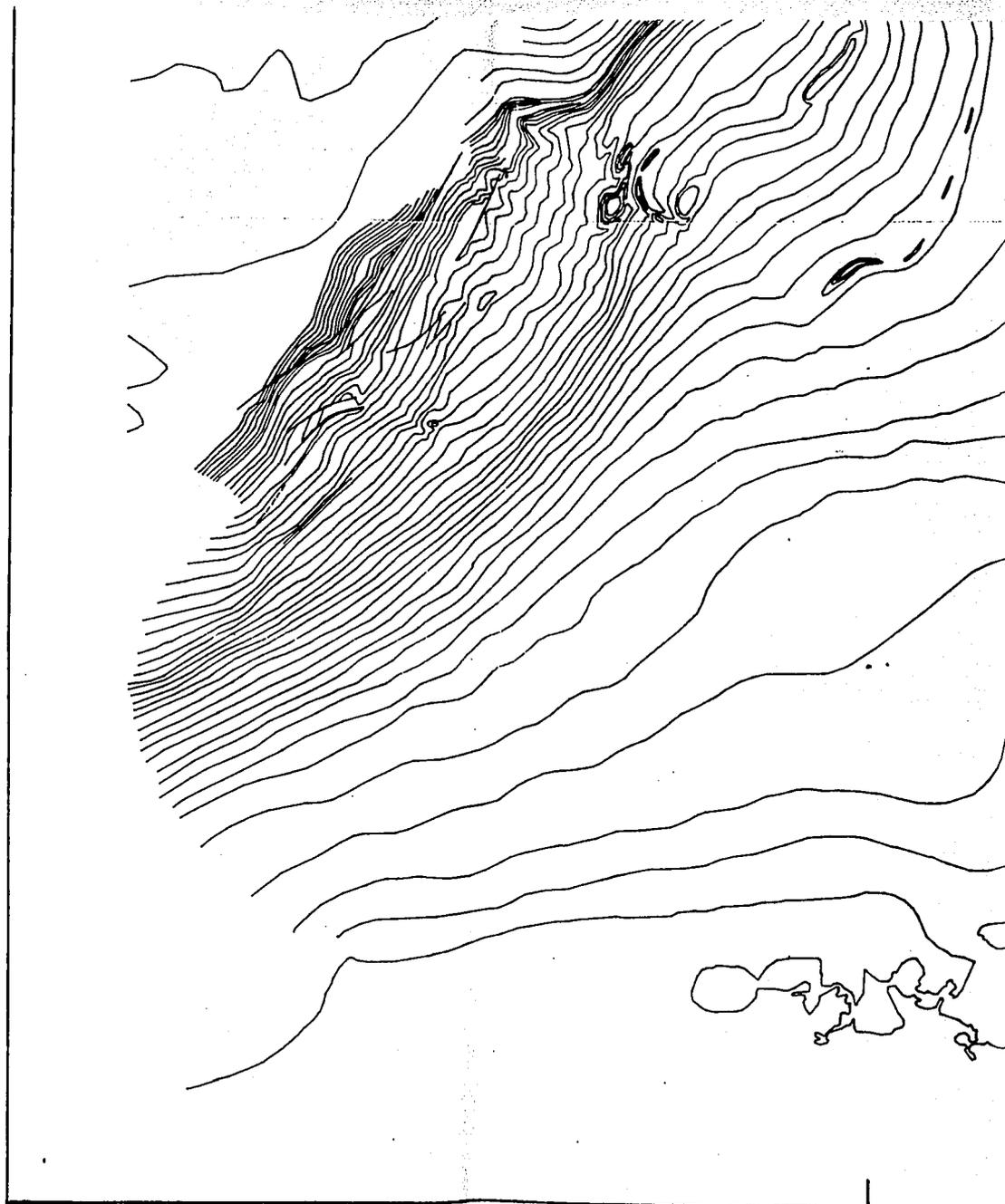
21°00'

20°00'









92°00'



MAPA
DE LA
DEL G

ISOBA
VARIA



FUENTE:
INFORMA
POR INE

MAPA 1

92°00'

91°00'

MAPA BATIMETRICO DE LA PORCION SURESTE DEL GOLFO DE MEXICO

ISOBATAS A EQUIDISTANCIAS
VARIABLES: 5, 10, 100, 200 mts.

ESCALA APROX. 1: 700,000



FUENTE: GEOSURGE, 1979.
INFORMACION BATIMETRICA PROPORCIONADA
POR INEGI.

MAPA 1

Construyó: Manuel E. Mendoza Cantú

90°00'