MORFOESTRUCTURAS DEL FONDO OCEÁNICO MEXICANO

Por José Lugo Hubp*

RESUMEN

El relieve del fondo oceánico de la zona económica exclusiva de los Estados Unidos Mexicanos es considerablemente más complejo que el del continente. En él están presentes las morfoestructuras principales reconocidas para el océano mundial: plataforma y talud continentales, pie del continente, trincheras, cuencas de mar marginal, montañas aisladas, crestas montañosas diversas (de arco insular, de planicie abisal, borderland), dorsal y fosa rift. Las anteriores se representan en una carta de morfoestructuras que complementa a las existentes fisiográficas y geológicas de la tierra firme. En el fondo oceánico mexicano se llevan a cabo intensos movimientos que han influido e influyen en la formación del relieve submarino y continental.

SUMMARY

The topography of the oceanic bottom of the exclusive economical zone of Mexico is considerably more complex than the one of the continent. In it, the principal recognized morphostructures for the World Ocean area present: shelf, continental slope, continental rise, trenchs, marginal marine basins, seamounts, diverse ridges (island arc, of abyssal plains, borderland), mid-oceanic ridges and rift valley. The before mentioned are represented in a morphostructure chart, which complements the existing ones on the physiography and geology of continental land. In the Mexican Oceanic Bottom, intense movements take place, which have influenced and influence the formation of submarine and continental topography.

INTRODUCCION

Aproximadamente un 71% de la superficie de la Tierra está ocupado por las aguas de mares y océanos. A diferencia de la tierra firme, cuyos rasgos fisiográficos generales quedaron bien definidos en el siglo XIX, los de los fondos oceánicos se empiezan a conocer con precisión a partir de la terminación de la Segunda Guerra Mundial, y se divulgan ampliamente desde 1958 hasta la fecha.

Estas investigaciones habrían de conducir a la formulación de

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

la teoría de las placas litosféricas, hacia fines de la década de los años sesenta.

Las ciencias de la Tierra entraron en los últimos 25 años en una etapa de cambio, comparable por su importancia con la del desarrollo de la cartografía geográfica en el siglo XVI. En aquélla época se inició la elaboración de los mapas de la Tierra, indicando la posición y contorno de los continentes. Hoy día, por medio de modernas cartas batimétricas y otras como las fisiográficas y las geomorfológicas, se conoce el resto de la superficie terrestre.

El estudio de la Tierra se ha vuelto mucho más complejo. Tan sólo la toponimia geográfica se ha enriquecido notablemente: a los nombres de continentes y océanos se agregan, entre otros, los de las dorsales, trincheras, montañas submarinas, cuencas abisales, etc. Se tienen, además, datos sobre el relieve, estructura geológica, dinámica de desarrollo, que en conjunto han revolucionado los conceptos que sobre la corteza terrestre se tenían en la primera mitad del siglo.

Hoy día, la fisiografía y la geología de un gran territorio continental resultan incompletas si no se toma en cuenta la estructura de los fondos oceánicos contiguos. Esto es de una gran importancia para el territorio mexicano, ya que a su variado relieve de sistemas montañosos, altiplanos, depresiones intermontanas y costeras, se agrega otro no menos complejo en la vasta zona económica exclusiva del Océano Pacífico (incluyendo el Mar de Cortés), del Golfo de México y del Mar Caribe.

En este trabajo, a partir de la interpretación de 8 cartas batimétricas del territorio de los Estados Unidos Mexicanos -editadas recientemente por la secretaría de Programación y Presupuesto (1983)- se elaboró una carta de morfoestructuras (Fig. 1), la que se complementa con perfiles y un texto explicativo. Con esto se pretende exponer, por primera vez en México, una carta sobre su relieve submarino que complemente las existentes para la tierra firme que, entre otras, son las geomorfológicas, geológicas y tectónicas.

ANTECEDENTES

La disposición de las grandes estructuras del fondo oceánico de México ha sido expuesta en varios trabajos, principalmente de orientación tectónica. Cartas estrictamente geomorfológicas se han elaborado sólo en escalas globales de 1: 20 a 1: 40 millones, en las que se indican las morfoestructuras principales sin considerar las secundarias.

A partir de los últimos 20 años, en numerosas publicaciones científicas: geofísicas, geográficas, geológicas y oceanológicas, aparece una cantidad extraordinaria de información relacionada con los océanos. Aquí se citarán sólo algunos trabajos que han sido consultados por su estrecha asociación con el tema que tratamos.

La primera aportación sobre la geomofología de los fondos

oceánicos, en grandes territorios, corresponde a Heezen, Tharp y Ewing (1959) y a Menard (1960, 1964). Varios autores soviéticos se han ocupado de este problema: Udintsev (1972), Ilin (1976), Agapova et al (1979), y Kanaev (1970), entre los principales.

Los anteriores se han tomado como base para elaborar la carta de morfoestructuras del fondo oceánico mexicano, aplicando la metodología por ellos expuesta, y parte de la información contenida en cartas y textos. La interpretación se realizó sobre las mencionadas cartas batimétricas a escala 1: 1 000 000. Una vez obtenida la carta, se convirtió a escala 1: 5 000 000 y se redujo a 1: 15 000 000 para su publicación.

CONCEPTOS BÁSICOS

Actualmente se clasifican los fondos oceánicos en tres grandes zonas a las que corresponden tres estructuras principales a cada una. Las zonas se han definido por el tipo de corteza, con lo que se asocian una morfología y una dinámica de desarrollo. El relieve del fondo oceánico consiste en las tres zonas y nueve tipos de morfoestructuras que se mencionan a continuación.

1. Margen continental submarina.

   a) Plataforma continental.
   b) Talud continental.
   c) Pie del continente (continental rise)

2. Zona transicional.

   d) Cuenca de mar marginal
   e) Trinchera
   f) Arco insular

3. Lecho oceánico.

   g) Planicie abisal
   h) Elevaciones montañosas submarinas
   i) Dorsales.

La primera zona se presenta en una corteza de tipo continental o "granítica" y corresponde a las márgenes pasivas. La segunda, de márgenes activas, es propia de corteza continental y oceánica o "basáltica". La tercera es la de las grandes profundidades oceánicas, donde está ausente la corteza "granítica".

La plataforma continental representa la extensión al fondo marino de las estructuras continentales: cratones o sistemas montañosos, con su límite exterior a una profundidad promedio de 200 m. Es una superficie nivelada, cuya inclinación generalmente se mide en minutos.

Continúa el talud continental una ladera de inclinación de 2°

a 4°, muchas veces irregular en su perfil: escalonada, con mesetas, elevaciones, depresiones, escarpes. Los cañones submarinos son formas con amplio desarrollo en el talud continental, aunque se inician en la plataforma continental.

La estructura inferior de la margen continental submarina es una superficie acumulativa de inclinación débil, originada por los depósitos de las corrientes de turbiedad en las desembocaduras de los cañones submarinos, y por la remoción de materiales por deslizamientos submarinos. Esta estructura fue descrita originalmente por Heezen y Tharp en 1954 (Glossary of Geology and related sciences, 1962), aunque tuvo amplia difusión en un trabajo de Heezen, Tharp y Ewing (1959). El término original es continental rise, mismo que hemos traducido al español como pie del continente, utilizando el equivalente que se le ha dado en otros idiomas como el alemán y el ruso.

Un caso de margen continental submarino es el borderland, una forma original del relieve del fondo oceánico que fue ampliamente descrita por Emery en 1960 para referirse a las márgenes submarinas de California y del occidente de la península de Baja California. Consiste en un relieve montañoso que sustituye al talud continental y, en amplias zonas, incluso a la plataforma continental.

Las zonas transicionales con la trilogía de estructuras: cuenca de mar marginal, arco insular y trinchera son características del Pacífico occidental. La cuenca de mar marginal es contigua al continente, con corteza oceánica en su parte más profunda, pero cubierta por potentes capas de sedimentos; el arco insular, un auténtico sistema montañoso submarino, con algunas cimas por encima del nivel del mar, representa el límite exterior de la cuenca de mar marginal. Hacia el exterior del arco insular se dispone la trinchera, una fosa alargada, estrecha y profunda.

La zona del lecho oceánico consiste esencialmente en planicies abisales: superficies niveladas, de lomeríos o con montañas aisladas o en pequeños grupos. También se reconocen depresiones alargadas que cortan a la planicie: fosas-fractura. Otras dos estructuras del lecho oceánico son los sistemas montañosos submarinos y las dorsales, distintos por la dinámica actual en cada uno de ellos. En las dorsales está presente, en la zona axial de las mismas, el valle rift, fosa originada por el proceso de separación horizontal conocido como expansión del fondo oceánico (spreading). En los sistemas montañosos submarinos se considera que puede haber actividad volcánica, pero no de expansión.

En la tabla de la página siguiente se presenta una clasificación de las estructuras principales del fondo oceánico, indicando en forma general los parámetros principales de las mismas. La información fue compilada de Leontiev (1975, 1982) y Bogoliepov y Chikov (1976) y forma parte de una publicación del autor (Lugo, 1986).

En este trabajo se aplican los términos borderland y rift, de uso universal. A diferencia de otros como spreading o continental rise, no parece conveniente buscar a los primeros un equivalente en

ZONAS Y ESTRUCTURAS DEL FONDO OCEANICO Y SUS RASGOS MORFOLOGICOS PRINCIPALES.

ZONA	ESTRUCTURA	CATEGORÍA	POSICIÓN	PENDIENTE	DIMENSIONES	PROFUNDIDAD	R E L I E V E	%
CONTINENTAL SUBMARINA	PLATAFORMA CONTINENTAL	I PLANETARIA	ENTRE LA LÍNEA DE COSTA Y EL BORDE EXTERIOR DEL TC.	7' EXTERIOR 30'-1° INT.	15-20 A 1200 Km. DE AMPLITUD	60-400 m 200m PROM	SUPERFICIE NIVELADA ACUMULATIVA, EN PARTES ABRASIVA PRESENTA FORMAS ORIGINADAS EN TIERRA FIRME.	7.5
	TALUD CONTINENTAL	I PLANETARIA	ENTRE PC Y CIMA DEL PdC, O TRINCHERA, O CMM	3-7° LOCALMENTE 25-50°	8-270 Km DE AMPLITUD	1000 A 4500 m	LADERA DE ORIGEN TECTÓNICO, ESCALONADA DEBIDO A FALLAS NORMALES. LA CORTAN CAÑONES SUBMARINOS.	14.2
	PIE DEL CONTINENTE	II MEGAFORMA	ENTRE EL BORDE INFERIOR DEL TC Y LA PA	2-5° EN LA CIMA A 1° BASE	HASTA 1000 Km DE AMPLITUD	3 500 A 4 500m	PLANICIE ACUMULATIVA INCLINADA, PLANA O DE LOMERÍOS DE 20 A 300 METROS DE ALTURA.	
TRANSICIONAL	CUENCA DE MAR MARGINAL	II MEGAFORMA	ENTRE CONTINENTE Y AI, ENTRE ARCOS INSULARES	EL FONDO SEMEJANTE A PA	VARIABLES	2000 - 3500 m Y HASTA 5000m	DEPRESIONES ACUMULATIVAS DE FONDO PLANO Y ONDULADO, DESMEMBRADO POR MONTAÑAS	9.7
	ARCO INSULAR	II Y III MEGA Y MACRO FORMA	ENTRE CMM Y TRINCHERA	DÉBIL HACIA LA CMM y FUERTE A LA T.	HASTA 4000 Km DE LONGIT.	> 6 000 m	SISTEMA MONTAÑOSO VOLCÁNICO, EN PLANTA EN FORMA DE ARCO, EN OCASIONES RECTILÍNEO.	
	TRINCHERA	IGUAL	ENTRE AI y PA o TC y PA	ASIMÉTRICA 10-25° Y 3-8° IGUAL A AI	100-200 Km BOCA HASTA 4000 Km LONGITUD. 5-6Km. FONDO	5000 - 11000 m.	DEPRESIONES ALARGADAS Y ESTRECHAS PROFUNDAS, ORIGINADAS POR UN TECTONISMO JOVEN.	
LECHO OCEÁNICO	PLANICIES ABISALES	I PLANETARIA	LIMITAN CON PdC, T Y D.	2-5' (MÍNIMOS)		6000 - 4000 m	SUPERFICIES PLANAS, ONDULADAS Y DE LOMERÍOS, ACUMULATIVAS Y VOLCÁNICAS, CON PRESENCIA DE MONTAÑAS SUBMARINAS	51.4
	ELEVACIONES MONTAÑOSAS SUBMARINAS	II Y III MEGA Y MACRO FORMAS	SE LEVANTAN SOBRE LOS FONDOS DE CMM Y PA	3-40°	≈ 15 x 22 Km EN SU BASE MONTAÑAS AISLADAS	4000-6000 m. (BASE) ALTURAS HASTA 9000 m	MONTAÑAS VOLCÁNICAS, VOLCANO-TECTÓNICAS Y TECTÓNICAS, CONTROLADAS POR FRACTURAS PROFUNDAS	
	DORSALES	I PLANETARIA	SE LEVANTAN SOBRE LAS PA	10-40°	> 60 000 Km DE LONGITUD TOTAL	3000 - 6000 m	EJE MONTAÑOSO CON LADERAS ESCALONADAS Y CRESTA CON VALLE RIFT	17.2

español, sino utilizarlos como tales, ya que tienen un significado preciso y se evita, así, usar términos que pueden crear confusión, lo que es frecuente por las diversas traducciones de vocablos científicos que se hacen en distintos países de habla hispana.

La geomorfología, entre otras ciencias de la Tierra, se ha enriquecido con términos provenientes de los más diversos idiomas, por ejemplo: barján, barranco, caliche, cañón, cuesta, dolina, drumlin, fiordo, kame, esker, lahar, nunatak,volcán y muchos más; a éstos, de uso universal, se han agregado rift y borderland. No debemos olvidar que los idiomas también son dinámicos y se enriquecen constantemente.

MORFOESTRUCTURAS DEL FONDO OCEÁNICO MEXICANO

El término morfoestructura fue propuesto por Gerasimov en 1946, para referirse a las grandes formas del relieve de la Tierra originadas esencialmente por factores endógenos. Las morfoestructuras son parte integrante de las "geotecturas" (op. cit.) y estas últimas son dos principales: los continentes y la cuenca del océano mundial. Posteriormente,el término morfoestructura ha adquirido diversas acepciones, y la clasificación de Gerasimov ha sido modificada por diversos autores, incluso por él mismo.

A las formas mayores, los continentes y océanos se les conoce también como formas de primer orden o planetarias; a las subordinadas a éstas se les aplican los nombres de megaforma o formas de segundo orden. Siguen en la secuencia las de tercer orden o macroforma.

Las clasificaciones diversas sobre las formas del relieve en función de sus dimensiones no son rígidas, porque resulta prácticamente imposible establecer en la teoría límites dimensionales para tipos de formas, sin considerar las excepciones a la regla que siempre son muchas. En realidad, las clasificaciones son convencionales y tienen por objeto facilitar el estudio del relieve terrestre a partir de un ordenamiento del mismo.

El concepto de morfoestructura se refiere a determinados rasgos morfológicos de una porción de la superficie terrestre, condicionada por una estructura geológica definida.

La República Mexicana es un territorio excepcional en el mundo por las diversas morfoestructuras que confluyen frente a sus litorales de más de 9 000 km de longitud, en dos océanos, y se asocian a las grandes formas del continente. Este último ha sido clasificado en provincias fisiográficas por Ordóñez (1946) y posteriormente por Raisz (1959) y Alvarez Jr. (1961). Hoy día es indispensable considerar simultáneamente la fisiografía de continentes y océanos contiguos, de tal manera que las moforestructuras continentales presentan mayor lógica en lo que se refiere a su origen y evolución, como si cada una de ellas fuera una pieza de un rompecabezas que muestra una imagen comprensible sólo cuando están unidos todos sus fragmentos.

Para la descripción del relieve del fondo oceánico mexicano

consideramos conveniente hacerlo dividiéndolo en una serie de regiones (provincias) definidas por un conjunto de morfoestructuras, que son las siguientes:

I. Golfo de California.

1. Plataforma continental
2. Talud continental
3. Fosa rift.

II. Margen occidental de la península de Baja California.

1. Plataforma continental
2. Borderland

III. Planicie abisal de la cuenca nororiental del Pacífico

1. Planicie abisal y montañas y fosas-fractura asociadas.

IV. Dorsal del Pacífico oriental.

1. Laderas y mesetas
2. Fosa rift

V. Margen submarina del sur de México.

1. Plataforma continental
2. Talud continental
3. Trinchera

VI. Cuenca de Guatemala.

1. Planicie abisal, y montañas y fosa asociadas.
2. Cresta montañosa

VII. Golfo de México.

1. Plataforma continental
2. Talud continental
3. Pie del continente
4. Planicie de cuenca abisal

VIII. Cuenca del Caribe.

1. Plataforma continental
2. Talud continental
3. Planicie de cuenca abisal
4. Crestas montañosas
5. Trincheras

(Las pronvincias corresponden a los números romanos y las morfoestructuras a los arábigos).

A partir de esta clasificación del relieve submarino de México en provincias morfoestructurales, se presenta a continuación la descripción del mismo.

EL GOLFO DE CALIFORNIA

Esta estructura, que separa la península de Baja California del resto del territorio mexicano, de gran interés en el marco de la geología del globo terráqueo, es semejante por su dinámica evolutiva al Mar Rojo y el Golfo de Adén. En la segunda mitad de nuestro siglo ha sido objeto de numerosas investigaciones. Algunos de los trabajos más importantes relacionados con la geomorfología y tectónica regional del Golfo son los de Hamilton (1961), Rusnak y Fisher (1964), Larson, Menard y Smith (1968), Normark y Curray (1968).

El Golfo de California es una fosa profunda, resultado de la separación horizontal respecto al continente, que se lleva a cabo con velocidades promedio de 4-6 cm/año, de acuerdo con las estimaciones de diversos autores. Se calcula que su formación se inició hace sólo 4-5 millones de años, y pertenece a la categoría de las estructuras rift de tipo intercontinental, de acuerdo con la clasificación de Milanovsky (1976) que los considera continentales, oceánicos e intercontinentales.

En la carta batimétrica 1: 1 000 000 se pueden distinguir los rasgos geomorfológicos siguientes:

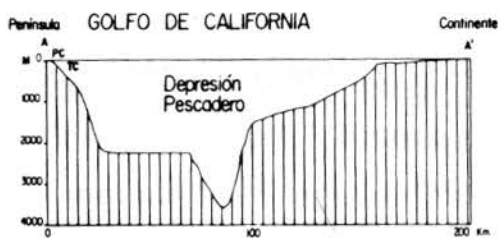

Fig. 2

Desde la desembocadura del Río Colorado, hasta la montaña submarina de Alarcón (Fig. 2), el Golfo tiene una longitud de unos 1 090 km, mientras que la amplitud, medida de costa a costa, varía de 100 a 200 km, excepto en su extremo norte donde se reduce hasta 25 km en la desembocadura del Río Colorado.

La plataforma continental se reconoce en ambas márgenes con notables variaciones en su amplitud. En el extremo norte tiene gran desarrollo, de tal manera que frente a la desembocadura del Colorado, el borde de la plataforma continental está a 170 km de distancia, siguiendo la zona axial del Golfo; es amplia hacia el oriente, del orden de 40 km, mientras que al occidente es muy reducida, variando de 3 a 8 km.

La isla Angel de la Guarda, al norte del paralelo 30°, queda separada de la península por las depresiones Delfín, hacia el norte, y Salsipuedes, al sur, de más de 700 y 1 000 m de profundidad, respectivamente. Ambas definen la zona axial del rift.

La plataforma continental frente a la isla Angel de la Guarda es amplia al oriente, de hasta 10 km, extendiéndose hacia el sur con porciones elevadas sobre el nivel del mar, formando una serie de islas menores: Partida, Rasa, Salsipuedes y San Lorenzo.

El paralelo 29° "corta" en dos a la isla mayor de México: Tiburón, situada en la plataforma continental del estado de Sonora. Hacia el sur ésta se estrecha hasta el puerto de Guaymas, donde alcanza unos 3 km de anchura.

Entre las islas Tiburón y San Lorenzo se reconoce la isla San Esteban, a manera de un bloque separado del continente. Al sur de esta isla se inicia inmediatamente la depresión de San Pedro Mártir, con aspecto de cañón amplio o fosa, con escarpes a ambos lados, paralelos al mismo; su extensión lineal es de 127 km entre las cotas de 500 a 1 500 m, donde se amplía la depresión considerablemente, y en profundidad alcanza 1 898 m en el punto más profundo conocido. El fondo presenta en su eje norte-sur una longitud de 68 km (medida entre la curva batimétrica de 1 800), mientras que su eje central este-oeste es de unos 35 km.

A partir de la depresión de San Pedro Mártir hacia el sur, es posible reconocer el talud continental como una ladera de pendiente fuerte entre la plataforma continental y la fosa del Golfo, constituida por depresiones de fondo plano limitadas por escarpes.

El talud continental se infiere entre los 200 y los 1 300 mbnm. La Isla Tortuga se presenta como un bloque elevado del talud continental, o una montaña submarina con su base a 1 400 m de profundidad, con laderas escarpadas hacia todos lados. Las pendientes del talud continental varían de 1.5° a 4°, aunque no son constantes, ya que se alternan con escarpes.

Hacia el sur de la depresión de Guaymas el relieve va siendo gradualmente más profundo. La plataforma continental continúa con amplitud considerable en la margen oriental del Golfo, de hasta 50 km, estrechándose únicamente frente a Los Mochis, donde tiene sólo 20 km.

En la margen opuesta, la plataforma continental es irregular en su amplitud, normalmente no rebasa los 5 km y sólo se amplía en la bahía de La Paz, hasta alcanzar 20 km. En la zona comprendida entre los paralelos 26° y 24° se encuentran las islas siguientes, relacionadas con la plataforma continental: Colorada, El Carmen, Danzante, Monserrat, San José, San Francisco, La Partida, Espíritu Santo y Cerralvo. Además, se presentan las islas Santa Catalina y Santa Cruz, que se sitúan en la fosa rift del Golfo.

La porción austral del Golfo de California, al sur de la depresión de Guaymas y hasta la boca del Golfo presenta en esta unidad el relieve más complejo del fondo: depresiones profundas, escarpes, cañones submarinos y elevaciones.

La depresión del Carmen continúa sobre el eje del Golfo. Alcanza una profundidad de más de 2 800 m, orientada paralelamente a la estructura regional (NW), con 27 por 8 km medidos entre la isobata 2 500 m; sus bordes son escarpes de 300 m de altura.

Al sur del paralelo 26° se presenta una cuenca amplia con ejes de 100 por 60 km, orientados al noroeste y noreste respectivamente, medidos con respecto a la isobata 2 000 m. En su porción norte se presenta una depresión de 2 200 m de profundidad, orientada al noroeste, con un eje mayor de 24 km. En la porción central se localiza la depresión Farallón, de 3 000 m de profundidad, con ejes de 5 por 25 km, con la particularidad de que se orienta al noreste, transversalmente al Golfo, con escarpes paralelos y uno transversal de más de 1 000 m de altura.

Una elevación de 700 m (cima a -1 265 m) delimita la depresión Farallón de otra menor pero más profunda (3 200 m). En esta porción el talud continental es amplio, extendiéndose hasta los 1 500-2 000 m, donde termina en un escarpe que alcanza más de 1 000 m de altura.

La isla Cerralvo está asociada a varias estructuras: al noroeste la depresión de La Paz, de 700 m de profundidad; al este, un escarpe de falla de más de 1 000 m, e inmediatamente después el banco Cerralvo, elevación submarina con su cima a -261 m.

La depresión más profunda del Golfo se sitúa hacia su boca, en el paralelo 24°. Se trata de una pequeña superficie ovalada, definida por la isobata 3 500 m. Es estrecha y alargada, paralela al Golfo, de unos 60 km de longitud, limitada en sus flancos por escarpes de hasta 1 500 m de altura. Al sur se levanta la montaña submarina de Alarcón, con su cima a -1 400 m, en el extremo sur del Golfo de California (Fig. 2).

El extremo sur de la península de Baja California está influido por el bloque montañoso granitoide que se levanta aislado. La plataforma continental es muy estrecha, no rebasa los 4 km, excepto frente a San José del Cabo, donde llega hasta 11 km. El talud continental es una ladera de pendientes fuertes, de 4° a 8°, hasta los 2 200 m de profundidad, pero con desarrollo local de escarpes.

En el Golfo de California, de norte a sur es notable la diferencia de profundidades. En su cabecera es somero, con una amplia plataforma continental, a pesar de que las fallas del rift continúan a profundidad y penetran al continente al estado de California. Esto se puede interpretar por una velocidad de acumulación de sedimentos, provenientes esencialmente del Río Colorado, mayor que la velocidad de hundimiento debida a la actividad del rift. En el extremo sur sucede lo contrario: la velocidad de hundimiento supera la de acumulación.

Sobre la estructura profunda del Golfo de California, Estavillo (1982) considera, con base en datos geofísicos, que en la zona deltaica del Colorado se han acumulado sedimentos del neógeno-cuaternario, con un espesor de 8 000 m, y hasta 4 800 m de profundidad

reconoce seis procesos de acumulación determinados por perforación y sismología.

Mendoza et al (1984) consideran que el Golfo de California en su estructura profunda consiste en alternancias de capas de basalto con sedimentos. Roldán y Vasallo (1984) describen la corteza del Golfo de California como de tipo continental, de 25 km de espesor en el norte y 10 km en la porción central. Hacia el extremo sur es esencialmente oceánica. Como todas las zonas rift, ésta también presenta sismicidad considerable, pero de menor intensidad que la que se registra en la trinchera Mesoamericana.

LA MARGEN OCCIDENTAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA

La margen submarina frente a las costas de California, Estados Unidos, y de la península de Baja California presenta un relieve semejante a una amplia cadena montañosa (Fig. 3), con alternancia de elevaciones y depresiones. Esta es la estructura conocida como borderland, limitada al oriente por la plataforma continental: estrecha frente a las costas de California, menor de 10 km y relativamente amplia frente a la península.

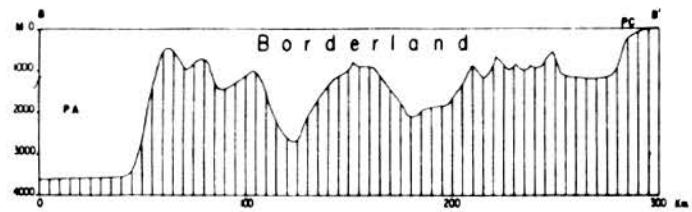

Fig. 3

La plataforma continental es de una amplitud muy irregular. En el extremo norte de la península alcanza unos 20 km (al norte se va reduciendo hasta 8 km de ancho). Al sur del paralelo 33 casi desaparece, con una amplitud de 3 km, y vuelve a ensancharse frente al puerto de Ensenada hasta 13 km.

Continúa hacia el sur con una amplitud regular de 15 a 30 km, reconociéndose los incrementos en las bahías. Hacia el sur se reconocen valores máximos, de hasta 140-150 km de ancho, en la Bahía de Sebastián Vizcaíno; es la zona donde se levantan las islas Cedros y Natividad.

Entre las bahías de Ballenas y San Juanico, la plataforma continental es considerablemente amplia, de 70-80 km; incluso se observan bancos separados de ésta, a profundidades de 18, 70, 128 m. Hacia el sur se estrecha, alcanzando unos 4 km frente a Bahía Todos Santos. Frente a Cabo San Lucas y hasta Bahía San José del Cabo, extremo sur de la península, la plataforma continental prácticamente desaparece.

En la margen occidental de la península es notable que la plataforma continental sea considerablemente amplia, en comparación con la del Golfo de California y del resto del Pacífico de México y Norteamérica. Es bien conocido que se atribuye este desarrollo a un aumento del nivel del océano a fines del pleistoceno, debido al retroceso de los hielos de la última glaciación. En la carta de morfoestructuras (Fig. 1) se puede apreciar que el contorno de la plataforma continental es mucho más regular que el de la línea de costa.

El borderland es una estructura compleja que se inicia frente a las costas de los Estados Unidos, en el estado de California, y termina frente a Cabo San Lucas, con más de 2 000 km de longitud, aunque en territorio mexicano es de unos 1 300-1 350 km. Su relieve montañoso de fuerte contraste se reconoce en especial al norte del paralelo 31°. Hacia el paralelo 33° alcanza una amplitud de 320 km. En esta porción está limitado por dos grandes escarpes: el primero, de 800 m de altura, lo separa de la plataforma continental, y el segundo se extiende hasta la planicie abisal, de los 1 000 hasta los 3 500 m de profundidad, con una pendiente general promedio de 12°-15°

En esta gran extensión territorial, comprendida entre el borde de la plataforma continental y el escarpe exterior, se presentan zonas de relieve nivelado, a manera de mesas, montañosas submarinas, depresiones, escarpes menores, etc. (Fig. 3).

En el paralelo 29° se sitúa la Isla Guadalupe, aparentemente sobre una cresta submarina, extensión del borderland hacia el occidente. Se trata de una montaña submarina con su base a -3 500 m, que se eleva sobre el nivel del mar un poco más de 1 000 m.

Al sur del paralelo 29°el borderland se reduce en amplitud a 130 km, y unos 20 km más al sur se convierte en un talud de pendiente fuerte (10°), frente a la isla de Cedros. En esta región el borderland limita en su base con una fosa profunda: Cèdros, con una profundidad máxima de 4 492 m. En esta zona el relieve se complica por la presencia de la fractura Shirley.

Del paralelo 26° a Cabo San Lucas, el borderland se caracteriza por la ausencia del escarpe en el borde de la plataforma continental, por un escarpe menor en su base y por un relieve semejante a una mesa, de hasta 75 km de amplitud, sobre la que se asientan numerosas montañas submarinas.

PLANICIE ABISAL DE LA CUENCA NORORIENTAL DEL PACIFICO

En la zona que cubre este trabajo, la planicie abisal de la cuenca nororiental del Pacífico, la mayor de todas las cuencas de este océano, es una superficie reducida que limita con la dorsal del Pacífico oriental y con el borderland de Baja California.

En el extremo noroccidental del mapa se muestra una superficie a 3 500-4 000 m de profundidad, afectada por numerosas montañas y

fosas; las primeras con elevaciones superiores a los 1 000 m, las segundas con profundidades de 4 000-4 500 m. Esta zona fue definida por Menard (1964) como "Provincia de montañas submarinas de Baja California" y su límite al sur es la zona de fractura Molokai, en el paralelo 27°.

Las grandes fracturas que cortan las planicies abisales a lo largo de cientos o algunos miles de kilómetros, son características del Pacífico oriental. En el relieve se reconocen como depresiones alargadas con su fondo a 500-1 000 m más profundo que la planicie abisal que disecan. En las márgenes de la fractura se presentan montañas submarinas.

Desde las Islas Hawai a la Isla de Cedros, en Baja California, se extiende la fractura Molokai. Su extremo oriental se reconoce en la carta batimétrica, entre los meridianos 117° y 120°, como una serie de fosas alargadas y estrechas. En sección transversal presentan en su fondo 1 a 4 km, y en su porción superior 10 a 18 km. Están orientadas al este, con una leve desviación al norte; su profundidad máxima es de 4 567 m, mientras que la planicie abisal tiene una profundidad general de 4 000 m. Paralelamente a la fosa-fractura se levantan crestas montañosas de más de 1 000 m de altura. En este extremo, la fractura Molokai recibe el nombre de fractura Shirley (Fig. 4), la que se puede reconocer hasta la depresión de Cedros, en la base del borderland.

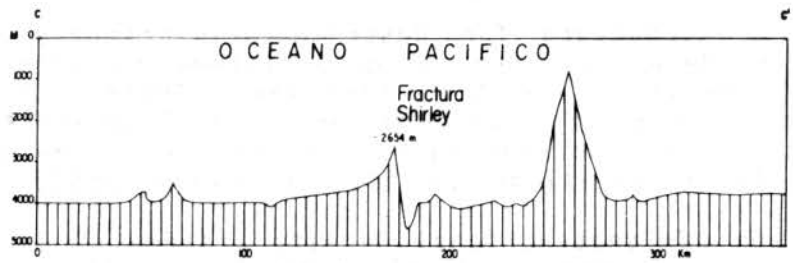

Fig. 4

Al sur de la fosa-fractura de Shirley se localizan tres de las montañas más altas en esta porción de la planicie abisal: Henderson, con su cima a 388 mbnm, Cresta a 695 mbnm, Islas Alijos a 100-110 msnm.

En una carta de la disección del fondo oceánico del Pacífico, de Agapova et al (en: Udintsev, 1972), se clasifica la zona en descripción, como de grandes lomeríos, misma que hacia el trópico de Capricornio cambia a pequeños lomeríos. El relieve pasa bruscamente a una planicie abisal de 4 000 m de profundidad, sobre la que se levantan varias elevaciones montañosas. Estas se incrementan en cantidad hacia el oriente, en los límites con la dorsal, y al sur, donde se extiende la fractura Clarión.

La fractura Clarión es una de las numerosas del Pacífico que se disponen más o menos en forma paralela sobre la planicie abisal y

dorsal. Las otras son: Markis, Galápagos, Clipperton, Molokai, Murray, Pionero y Mendocino. La Clarión se localiza entre los paralelos 18° y 19° y se manifiesta en el relieve por conjuntos de montañas alineadas con fosas en las márgenes de éstas. En la porción occidental de la fractura, en territorio mexicano, destaca la montaña submarina Banco Alphecca con su cima a 156 m de profundidad. Al oriente, hacia la dorsal, se encuentran las islas Clarión y el grupo de las Revillagigedo: Roca Partida, Socorro y San Benedicto, en sí, grandes volcanes submarinos.

Al sur, entre los paralelos 16° y 17° se extienden también crestas montañosas orientadas al este, en las que sobresalen dos grandes montañas submarinas: el Banco Shimada, con su cima a -27 m de profundidad, y el Monte Sotavento, a -485 m. Al oriente el relieve corresponde a la dorsal, donde se levantan las montañas de Los Matemáticos.

La estructura de la planicie abisal en cuestión se ha interpretado (Nieprochnov et al,1979) en tres capas: la superior de sedimentos de hasta 500 m de espesor; la intermedia o "volcánica" de 2 000 m y la inferior o "basáltica" de 3 000 a 6 000 m. El flujo térmico es considerablemente alto, con un valor de 2.15 a 2.4 mcal/cm^2 seg.

LA DORSAL DEL PACIFICO ORIENTAL

Esta gran estructura fue descrita originalmente por Menard (1960). Se trata de una porción del gran sistema montañoso submarino del Pacífico, subdividido en tres sistemas principales: Central, Oriental y Albatros; además, se considera también el Golfo de California y su extensión como sistema rift en territorio de los Estados Unidos, además de las ramificaciones de Carnegie y Cocos.

La porción más septentrional de este sistema es de laderas de suave inclinación y diferencias de altitud de 100 a 400 m. Su aspecto es el de grandes mesas (Fig. 5). La dorsal ocupa una extensión considerable del relieve del Pacífico en territorio mexicano.

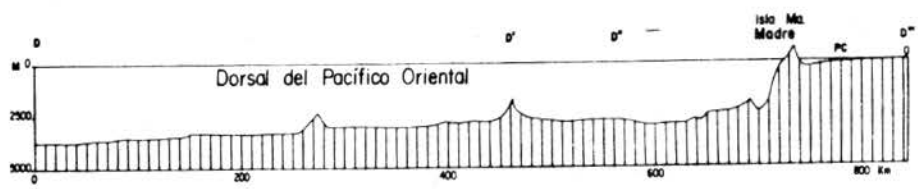

Fig. 5

El límite occidental de la dorsal se localiza aproximadamente en el meridiano 113°. La base de la estructura en esta zona se reconoce hacia la isobata -3 500 m, aunque tiene ramificaciones o zonas de transición a la planicie abisal, consistentes en montañas submarinas.

Uno de los grupos de montañas más importantes en las márgenes de la dorsal es el de Los Matemáticos, definidas originalmente por Menard y Fisher en 1958. Se trata de un relieve complejo, de formas generalmente ovaladas, en sección transversal, dispuestas en una franja de unos 350 km. En general presentan alturas de 1 000-2 000 m. Hacia el oriente se asocian con fosas alargadas, profundas, varias de ellas de más de 4 000 m; la máxima profundidad reconocida es de 4 615 m.

En el meridiano 107° la dorsal se encuentra afectada por una amplia depresión de 3 500-3 700 m de profundidad correspondiente a su fosa rift y continúa al oriente, a manera de una ladera de inclinación débil, escalonada, que culmina en una superficie extensa a profundidades de 3 000-3 100 mbnm. La amplitud de la dorsal, medida en el paralelo 15°, es de 1 100 km.

Otra ramificación de la dorsal es el grupo de montañas submarinas conocidas como Montes Suitcase que se localizan entre los paralelos 19°30' y los 21°, al norte de la fractura Clarión.

El extremo norte de la dorsal, en dirección al Golfo de California, consiste en superficies amplias, a manera de mesas, a 2 900 mbnm, en las que se asientan algunas montañas submarinas cortadas hacia el sur por una fosa-fractura, equivalente al rift, a la que Larson le dio el nombre de Rivera (Le Pichon, 1973). Tiene una dirección este-sureste y en el relieve se reconoce por una serie de fosas paralelas de profundidad de hasta 4 820 m, limitadas por elevaciones submarinas de hasta 2 500 mbnm.

Las elevaciones tipo mesa de la dorsal, orientadas al noroeste, la fractura Rivera y la trinchera (sureste) que se inicia frente a las costas de Bahía de Banderas, forman un triángulo que ha sido interpretado como una antigua placa o microplaca que lleva también el nombre de Rivera.

Algunos datos complementarios para la dorsal del Pacífico son el flujo térmico de 1.9 a 2.4 mcal./cm^2.seg. (Popova y Savostin, 1975). La velocidad de expansión (spreading) la consideran Menard y Mammerix (Udintsev, 1974) en 6-7 cm/año.

Esta estructura, que es la dorsal del Pacífico oriental, ha jugado un papel muy importante en el desarrollo de grandes formas del relieve mexicano, sobre todo del Golfo de California, por lo que habrá que esperar en el futuro que las investigaciones que se llevan a cabo en forma continua vayan aportando más datos para la reconstrucción de la historia geológica de esta parte del continente, así como la dinámica actual de desarrollo.

LA MARGEN SUBMARINA DEL SUR DE MEXICO

Dos grandes estructuras definen la fisiografía y tectónica del sur de México: la Sierra Madre del Sur y la trinchera Mesoamericana. La primera se extiende desde Bahía de Banderas hasta el Istmo de

Tehuantepec, continúa con la Sierra de Chiapas y el sistema montañoso de Centroamérica; la segunda, paralela a la margen continental, es continua desde Cabo Corrientes hasta Panamá.

A diferencia de la margen pacífica de la península y el Golfo de California, activa por procesos de separación horizontal de la península respecto al continente, en esta margen del sur de México la actividad se manifiesta por una subducción. La trinchera es la morfoestructura principal en esta región de México, siendo secundarios plataforma y talud continentales.

La plataforma continental, considerada en este trabajo como la superficie que se extiende desde la línea de costa hasta la isobata de 200 m, es amplia al sur del Golfo de California, hasta Bahía de Banderas. Tiene una anchura general de 40 km, pero al sur del paralelo 22° alcanza hasta 70 km.

La Bahía es en sí una depresión, con profundidad máxima de 1 486 m. Está delimitada por laderas de fuerte pendiente al norte y al sur, siguiendo una dirección occidente-oriente, a manera de una fosa tectónica. La carta batimétrica muestra que el flanco meridional de la bahía es un talud de fuerte inclinación, de más de 1 000 m de altura, rectilíneo en plano; la plataforma continental prácticamente no existe. Son rasgos que sugieren la presencia de una falla.

Hacia el sur, la plataforma continental tiene una amplitud de 10-15 km, con una pendiente menor de 1°30'. Estos rasgos son más o menos constantes a lo largo de toda la margen continental, aunque se producen ampliaciones de algunos kilómetros en bahías como las de Manzanillo y Petacalco, y como una excepción, frente a Punta Maldonado, en Oaxaca, donde la plataforma continental alcanza 21 km.

La menor amplitud de la plataforma continental se observa frente a las costas de Oaxaca, al oriente de Punta Galera, reduciéndose de menos de 10 km a unos 4-6, amplitud que continúa hasta el meridiano 90°, donde se inicia bruscamente una ampliación que alcanza hasta 50 km en el Golfo de Tehuantepec.

Frente a las costas de Chiapas y Guatemala, la plataforma continental es considerablemente amplia y uniforme, de 50 a 80 km. Precisamente frente a esta zona es donde la trinchera Mesoamericana alcanza su máxima profundidad.

El talud continental entre la boca del Golfo de California y las Islas Marías está asociado a la dorsal del Pacífico oriental y consiste en una ladera inclinada que se extiende aproximadamente hasta los 2 500 m de profundidad, con un perfil escalonado donde se alternan superficies de suave inclinación (1.5° a 2°) con otras de pendientes fuertes, de más de 8°. En esta zona, la amplitud del talud continental es variable, de 60 a 75 km, y frente a las Islas Marías de sólo 15 km.

Al sureste de Bahía de Banderas, el talud continental es más o menos uniforme en amplitud (25-50 km) y profundidad (2 500-3 000 m),

presenta laderas escarpadas, en especial frente a las costas de Michoacán y Oaxaca. Algunas depresiones en el talud continental, del tipo de cañones submarinos, se observan frente a Manzanillo, Bahía de Petacalco, Bahía Papanoa y Laguna de Coyuca. Estas son las formas mayores que tienen mejor expresión en la batimetría; otras, menos precisas, se reconocen frente a las costas de Chiapas y Guatemala.

La trinchera Mesoamericana fue descrita originalmente por Fisher (1961). Se trata de una fosa paralela al continente, desde Cabo Corrientes (al sur de las Islas Marías) hasta Panamá. Su amplitud, medida con respecto a la isobata 3 500 m, es de aproximadamente 25-30 km, mientras que en el fondo es de 2-4 km, medidos en la última isobata, de 4 500 m. Presenta un perfil transversal asimétrico, con mayor pendiente hacia el continente, más de 5°, y menor hacia el océano, 2° a 3°. En su perfil longitudinal en territorio mexicano muestra una alternancia de elevaciones y depresiones (fosas).

Esta trinchera es una de las menos profundas del planeta. En una compilación de V. Leontiev (1981), de 35 trincheras reconocidas en los océanos, de más de 5 000 m de profundidad, la Mesoamericana ocupa el lugar 33 con sus 6 489 m frente a las costas de Guatemala. Como referencia, hay 10 trincheras con profundidad superior a los 9 km (op. cit.) y de éstas sólo una supera los 11 km, Las Marianas, de 11 022 m de profundidad.

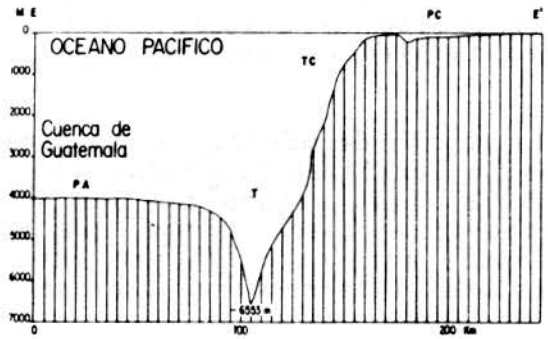

Fig. 6

Es importante señalar que la carta batimétrica en que se basa este trabajo señala una profundidad de 6 553 m frente a las costas del sur de Chiapas (Fig. 6), modificando en 64 metros el valor que ha sido considerado como máximo.

La morfología general de la trinchera Mesoamericana se describe a continuación.

Al sur de las Islas Marías se reconoce la primera fosa que marca el inicio de la trinchera. Es estrecha, alargada de norte a sur, unos 27 km, con profundidad máxima de 4 392 m. Una elevación de la fosa, a 3 700 mbnm, la separa de la siguiente depresión, localizada frente a la Punta Rivas, de la costa de Jalisco, con su sima a -4 493 m. Sobre la zona axial se aprecia una elevación a 4 100 mbnm, a la que continúa en el paralelo 19° una depresión de 4 850 mbnm a la que siguen una elevación (4 100 mbnm) y otra depresión (5 014 mbnm).

Cerca del paralelo 18° el relieve del fondo pasa de 4 000 a 4 821 mbnm. Sigue una elevación de 4 200 mbnm a la que continúa una amplia depresión de la trinchera, conocida como fosa de Petacalco: 142 km de longitud medidos con respecto a la isobata 4 500 m, y amplitud de 10-22 km. Esta depresión posee tres porciones de máxima profundidad: en el oeste, 4 850 m; en el centro, 4 721, y hacia el centro-oriente, 4 758.

Hacia el sureste de la fosa de Petacalco, el relieve se eleva a 4 200 mbnm. En la misma dirección continúa una fosa profunda de la trinchera, conocida como de Acapulco, donde se incrementa la profundidad a 5 298 m. Con respecto a la isobata de 5 000 m, se obtiene una longitud de 210 km y una amplitud de 3 a 10 km.

Hacia el sureste, la trinchera va adquiriendo mayor profundiad y pendiente en sus laderas (8° en general, más de 30° en algunas localidades). Frente a las costas de Oaxaca tiene una profundidad uniforme del orden de 5 000 m, la que se incrementa a 5 362 m al sureste de Puerto Angel.

Frente al Golfo de Tehuantepec, la trinchera cambia de dirección hacia el sureste; la profundidad se incrementa alcanzando sus valores máximos conocidos frente a las costas de Chiapas y Guatemala: 6 497, 6 259 y 6 066 m.

El espesor de sedimentos en la trinchera se calcula en 100 a 700 m (Udintsev, 1972). El flujo térmico se ha evaluado hasta en 2.15 mcal/cm^2.seg., aunque se reconocen también valores bajos de 1.4 a 1.7 mcal/cm^2.seg. (op. cit.).

La trinchera Mesoamericana es la región de máximas profundidades del territorio mexicano, en la que se localizan los focos sísmicos principales. La actividad sísmica se lleva a cabo con una gran intensidad, afectando un extenso territorio de tierra firme, que incluye las costas, los sistemas montañosos marginales (Sierra Madre del Sur, Sierra de Chiapas), las depresiones intermontanas (Balsas) y el Sistema Volcánico Transversal.

LA CUENCA DE GUATEMALA

Al oriente de la dorsal del Pacífico, frente a las costas mexicanas, se forma la cuenca abisal de Guatemala. Es de forma triangular,delimitada por la dorsal del Pacífico, la trinchera Mesoamericana y por ramificaciones de la dorsal hacia Costa Rica-Panamá: la cresta de Cocos. Desde el punto de vista tectónico la cuenca de Guatemala representa el relieve de la placa de Cocos. A esta última se le considera un bloque en proceso de subducción con respecto al continente, ambos delimitados por la trinchera Mesoamericana.

El relieve de esta cuenca abisal, al occidente del meridiano 98°, es una superficie de lomeríos a profundidad de 3 600 m, con numerosas montañas submarinas, aisladas entre sí, en general de alturas menores de 1 000 m.

Próxima al meridiano 98° y al paralelo 12° existe una cresta montañosa, alargada en dirección noreste, estrecha, de unos 12 km en sección transversal. Está delimitada por depresiones paralelas a ambos lados, mejor definidas al noroccidente por una fosa-fractura extensión de la Clipperton (Fig. 7).

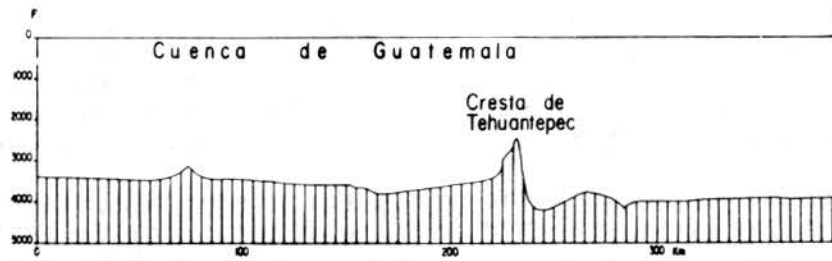

Fig. 7

Al oriente, la cuenca de Guatemala presenta un relieve de planicie abisal de lomeríos, con algunas fosas de hasta 4 600-4 900 m de profundidad.

La cresta de Tehuantepec fue descrita originalmente por Menard y Fisher (1958). Udintsev (1974) la clasifica como una cadena o cresta montañosa submarina diferente de la dorsal por su estructura y dinámica de desarrollo.

Fisher (1961) calculó la sedimentación en esta cuenca de Guatemala en 1 a 1.5 mm/100 años. La estructura de la corteza ha sido interpretada por el mismo autor, constituida en las tres capas características: sedimentaria, de 200 a 500 m de espesor; "volcánica" de unos 1 000 m, y "basáltica" de 4 000-5 000 m. El flujo térmico es de 1.4 a 1.7 mcal/mcm^2.seg., un valor considerablemente bajo.

EL GOLFO DE MEXICO

Seguramente esta gran estructura es la que ha sido objeto de mayor número de estudios, sobre todo por su relación con ricos yacimientos de petróleo y gas, y por representar una porción considerable del territorio de los Estados Unidos. Numerosos artículos referentes al Golfo de México se han publicado en varias revistas científicas, sobre todo de la Sociedad Geológica de América y de la Asociación Americana de Geólogos Petroleros. Para apoyar este estudio sobre el relieve del fondo oceánico mexicano, consideramos principalmente aquellos artículos que tratan problemas regionales del Golfo y tienen mayor relación con su morfología. Entre éstos hay que mencionar los de Antoine y Pyle (1970), Ewing y Antoine (1966), Bryant et al (1968), Bergantino (1971), Moore y del Castillo (1974), De Cserna (1984).

Aproximadamente la mitad del territorio del Golfo de México pertenece a la zona económica exclusiva mexicana, con su límite septentrional hacia el paralelo 26°. Sólo esta porción se ha interpretado y aparece definida en la carta de morfoestructuras. En el resto del Golfo se presentan configuraciones muy generales trazadas a partir de los trabajos consultados de Ewing y Antoine (1966) e Ilin (1976).

La plataforma continental tiene gran desarrollo frente a las costas de los Estados Unidos, muy en especial frente a Florida. En el territorio mexicano es considerablemente más estrecha, a excepción de la de la península de Yucatán. Como límite convencional de la plataforma continental se toma también la curva batimétrica de 200 m.

En la desembocadura del Río Bravo (paralelo 26°), la plataforma continental tiene una amplitud de 72 a 80 km. Gradualmente se va estrechando hacia el sur, y en el paralelo 23° se reduce a 33-37 km; frente al puerto de Tampico alcanza 45 km. En esta primera porción, el borde de la plataforma continental sigue una dirección suroeste, y a partir del paralelo 22°30' cambia a dirección sur-sureste con la que se extiende hasta la zona volcánica de San Andrés Tuxtla, Ver. En esta porción, su amplitud es de 6 a 16 km, lo que equivale a la mayor reducción en todo el Golfo.

A partir de San Andrés Tuxtla, la plataforma continental se va ampliando gradualmente en dirección a la península de Yucatán, alcanzando 110 km y unos 130 frente a la Isla del Carmen; 160 y 170 km frente a Campeche y 220 y 260 en el extremo norte de la península de Yucatán, donde se localiza Punta Holchit (meridiano 88°).

Se pueden apreciar las débiles pendientes de la plataforma continental, que varían aproximadamente de 1° a 5' para los primeros 100 metros de profundidad, y de 1°30' a 8' para los siguientes 100 m.

La plataforma continental de Campeche ha sido considerada como una terraza acumulativa constituida por sedimentos carbonatados, de acuerdo con Ewing y Antoine (1966). Estas acumulaciones se inician en el cretácico temprano y continúan en tiempos actuales.

Ya que la plataforma continental es una extensión de la tierra firme bajo el nivel del mar, es normal que su amplitud esté en relación con el tipo de estructuras geológico-geomorfológicas de aquélla. Así, por ejemplo, la plataforma continental adquiere su mayor amplitud frente a las planicies continentales del Golfo y de la península de Yucatán, ambas de diferente estructura geológica. Su menor amplitud se presenta frente al relieve volcánico de San Andrés Tuxtla. Estas relaciones son claras en el Golfo de México, lo que no sucede al oriente de la península de Yucatán, en el Caribe.

El talud continental del Golfo de México tienen un desarrollo considerable (en amplitud), con una morfología que contrasta de una región a otra. Por la batimetría se pueden reconocer las cuatro zonas siguientes.

a) Del límite noroccidental de la zona en estudio, al sur, hacia el paralelo 23°, el talud continental es una ladera orientada al suroeste, con poca disección y amplitudes de 60-80 km entre los 200 y 2 000 m (pendiente media 1° a 2°). Sólo en su extremo norte el talud continental presenta un relieve consistente en elevaciones equivalentes a domos salinos, entre los 500 y 3 000 m de profundidad, mismas que se alternan con depresiones limitadas por escarpes. En la porción restante se reconocen casos aislados de elevaciones a manera de bancos y mesetas, además un valle submarino. Los límites superiores del talud continental se pueden indicar tentativamente en la carta batimétrica a escala 1: 1 000 000, por los cambios de pendiente, lo que permite definir su base a profundidades variables, pero, en apariencia, próximas a los 3 000 mbnm.

b) Del paralelo 23° hacia el sur, aproximadamente hasta el paralelo 20°, el talud continental está fuertemente disecado por valles submarinos, la pendiente se hace también mayor (2° en grandes extensiones) entre los 200 y 2 000 m, y localmente con pendientes fuertes de más de 15°. La amplitud varía de 35 a 80 km.

El extremo sur del talud continental es una ladera con menor disección, con un perfil irregular escalonado que se suaviza hacia los 2 200 m de profundidad, para presentarse como una depresión orientada hacia el norte.

La zona que comprende el talud continental entre la desembocadura del Río Bravo y el puerto de Veracruz, ha sido considerada por diversos autores como un cinturón plegado, orientado de norte a sur. A esta estructura, llamada Mexican Ridges Foldbelt por los especialistas norteamericanos, De Cserna (1984) propone se le denomine Cordillera Ordóñez.

La expresión en el relieve de esta estructura no es directa, o sea, no se manifiesta como un conjunto de elevaciones topográficas semejante al borderland de la península de Baja California. Su relieve es distinto del resto de los taludes continentales de la República Mexicana, y se aprecia en las cartas batimétricas una fuerte disección por valles submarinos. Es probable que éstos sean algo más que la expresión de corrientes de turbiedad, y se deban principalmente a factores sobre todo estructurales, tales como fracturas, fallas o pliegues.

c) Una porción del talud continental que se reconoce en el extremo sudoriental del Golfo de México, con orientación al norte, consiste en un relieve complejo de elevaciones y depresiones, con montañas submarinas de más de 1 000 m, aunque predominan las elevaciones menores de 500 m y diámetros del orden de 1 km (Fig. 8). Se aprecian depresiones de más de 600 m de profundidad relativa que disecan al talud continental. Toda esta zona a manera de un conjunto montañoso submarino, está delimitada al oriente por el cañón de Campeche, y al sur por la curva batimétrica de 1 000 m. Su extensión es de unos 25 km de norte a sur y hasta 20 km de este a oeste. Sus límites inferiores alcanzan, al norte, la profundidad de 3 400 m.

Este relieve ha sido determinado por diversos autores, como Ewing y Antoine (1966), como correspondiente a domos salinos (Fig. 8).

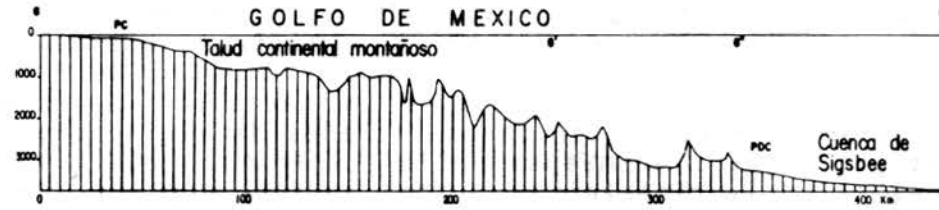

Fig. 8

d) La última porción considerada es un escarpe que se inicia en la zona de flexión de la plataforma continental, donde ésta cambia bruscamente de orientación de NE a N, en el paralelo 20°. Este escarpe se extiende hasta profundidades que varían entre 2 400 y 2 600 mbnm, bordeando por el occidente y norte la plataforma continental de la península de Yucatán.

Inicialmente,el escarpe se inicia en el borde de la plataforma continental y termina en el fondo del cañón de Campeche, a una profundidad de 2 400 mbnm. En el paralelo 22° se extiende de los 200 a los 3 000 m de profundidad, con una pendiente mayor de 45°. A partir de este paralelo cambia al noreste la orientación de la plataforma continental y el talud continental, y el escarpe se va separando gradualmente de la plataforma continental quedando entre estos dos una zona intermedia, la que Ilin (1976) define como "planicie de lomeríos marginal a la plataforma continental".

En la porción noroccidental de la plataforma continental de la península de Yucatán, el escarpe se reconoce de los 1 200 mbnm (entre los meridianos 91° y 90°); hacia el meridiano 89°, de los 300 a los 3 400 mbnm, y hacia el noroeste de la plataforma continental el escarpe se inicia a 2 500 m y termina en los 3 000 mbnm.

La zona intermedia, localizada entre el borde de la plataforma continental y el escarpe del talud continental, es muy variable en su amplitud y pendiente. En general, se trata de una superficie de débil inclinación, de 1.5° a 2.5°.

Hay otros dos tipos de talud continental: uno, de inclinación muy débil, menor de 30', dispuesto entre las curvas batimétricas de 200 y 400 m; generalmente no ocupa grandes extensiones territoriales, por lo que sólo se representa en la carta de morfoestructuras al norte de la plataforma continental de la península de Yucatán. El otro de mesas amplias, a una profundidad aproximada de 1 000 m, de las que las mayores se reconocen al noreste de la península de Yucatán.

El pie del continente (continental rise) se puede inferir, en las cartas batimétricas, a partir de las pendientes menores de 1.5° hacia la base del talud continental. Ewing y Antoine (1966) presentan un esquema de las grandes estructuras del Golfo de México, mismo que junto con otros materiales se ha utilizado para trazar los límites de ellas en las carta de morfoestructuras (Fig. 1).

El pie del continente tiene una amplia extensión en el norte de la zona en estudio, o sea, hacia el sur del paralelo 26°, con inclinaciones mínimas de 10' a 25'. En la porción occidental el pie del continente es irregular en su configuración, aunque con una orientación general de norte a sur.

El extremo sur del piso oceánico del Golfo de México es una depresión orientada hacia el nor-noreste, desde la cota de 2 000 mbnm a la de 3 500 mbnm, con una distancia horizontal de 260 km, limitada al oriente por un frente escarpado del talud continental. Esta depresión puede considerarse como una parte importante del pie del continente que se reduce hacia el noroeste hasta hacer imposible su reconocimiento al norte, en la escala 1: 1 000 000.

La última estructura del relieve del Golfo de México es la cuenca abisal de Sigsbee, a la que se puede considerar como límite aproximado la isobata 3 600 m. Presenta dos zonas deprimidas, con profundidades máximas de 3 741 m y 3 735 mbnm, entre las cuales se disponen algunas colinas de hasta 200-300 m de altura.

La cuenca abisal de Sigsbee presenta en sección longitudinal unos 49 km (paralelo 24°) y en sección transversal 35 km, como valor máximo en el occidente, y 20 km en el oriente.

En la porción profunda del Golfo de México (pie del continente y planicie abisal) el espesor de la corteza alcanza hasta 20 km de los cuales 6 a 12 son de sedimentos, 2 de la capa "volcánica" y 6 de la capa "basáltica" (Khain, 1975).

CUENCA DEL CARIBE

Una pequeña porción de lo que es la cuenca del Mar Caribe pertenece a la zona económica exclusiva de México. Esta cuenca, situada entre Norte y Sudamérica es una de las más complejas de la Tierra, por su arquitectura y dinámica. Consiste en depresiones abisales, trincheras, crestas montañosas y canales submarinos, entre las principales.

Frente a las costas orientales de la península de Yucatán el relieve submarino (Fig. 9) es notablemente distinto al del lado

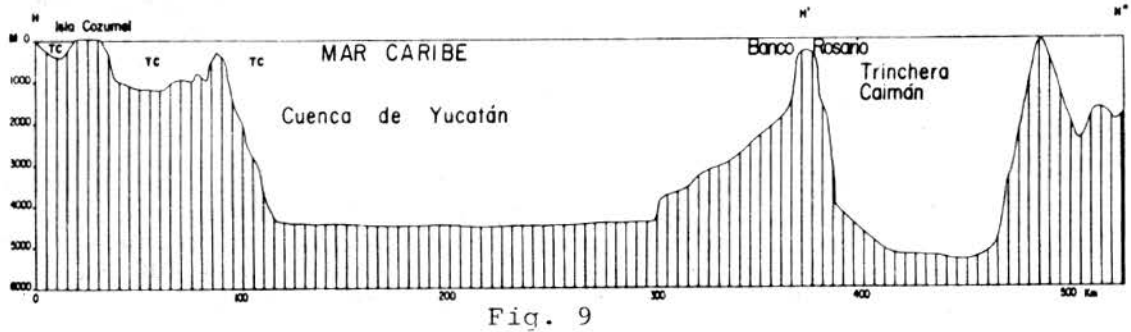

Fig. 9

opuesto, occidental; este último es de margen pasiva, mientras que aquél lo es de margen activa.

Contrasta el gran desarrollo de la plataforma continental al occidente y norte de la península de Yucatán, con la amplitud de sólo 20 km frente a Cancún, en el oriente. Gradualmente va disminuyendo la amplitud hacia el sur, de tal manera que frente a Puerto Morelos, 35 km al suroeste de Cancún, la plataforma continental prácticamente desaparece, confundiéndose con la ladera del talud continental, mayor de 4°.

A 4 000 m de profundidad el talud continental se ve interrumpido por dos grandes elevaciones alargadas y paralelas a la península: la isla Cozumel, una de las mayores de la República Mexicana, y el Banco Flecha Smith, de 17 m de profundidad.

Hasta el extremo sur del territorio mexicano la plataforma continental es muy estrecha, de 1 a 9 km; sólo en territorio de Belice se amplía considerablemente, hasta 25 km.

Otros grandes bancos se levantan sobre el talud continental: el Chinchorro, bordeado por pequeñas islas, en territorio mexicano, y los que se reconocen sobre el nivel del mar, por las islas Turnefe y Cayo Media Luna, ambos en territorio guatemalteco.

El talud continental es en extremo complejo. Al norte de la península, hacia el flanco oriental de la plataforma continental es una ladera de poca inclinación, entre 200 y 2 000 m de profundidad, rematando en un escarpe que se extiende hasta los 3 000 m.

En la intersección del paralelo 24° con el meridiano 86° se localiza una depresión ovalada, de 3 500 m de profundidad, y otra elipsoidal de 3 219 m, delimitadas por escarpes del talud continental por una montaña submarina de 2 200 m de altura.

Al sur de esta zona, el talud continental forma una extensa mesa de 125 por 25 km, a una profundidad de 1 000 m, delimitada por un escarpe que se extiende hacia la planicie abisal.

Al oriente de la isla Cozumel y el Banco Flecha Smith se presenta un talud continental de pendiente fuerte hasta los 1 000 m de profundidad, donde se inicia una disminución de la pendiente: un escalón regional sobre el que se levantan, en su borde oriental, montañas alargadas y estrechas, a 405 y 262 m de profundidad, con escarpes que se extienden hasta la planicie abisal correspondiente a la cuenca de Yucatán.

La porción restante del talud continental, hasta el paralelo 17° es la más estrecha, de 60 a 90 km, y la más desmembrada por elevaciones y depresiones, generalmente delimitadas por grandes escarpes. La base del talud continental se encuentra a 4 400 m, en el paralelo 19°, y a 3 700 m en el 18° (la base del escarpe).

Las grandes estructuras de la cuenca del Caribe, que aparecen parcialmente en la carta, son las siguientes:

a) El extremo occidental de la isla de Cuba, con una amplia plataforma continental al noroccidente, y prácticamente inexistente en el resto de su litoral suroccidental; muestra un talud continental escarpado al noroccidente y occidente, cortado por cinco grandes cañones submarinos. La base del talud continental se reconoce con precisión a los 4 400 m de profundidad.

b) La porción más profunda de la cuenca de Yucatán, delimitada por la isobata 4 500 m (máxima profundidad 4 528 m). Esta porción de forma elipsoidal irregular tiene diámetros de 255 por 135 km.

c) Los taludes continentales de la península de Yucatán, y Cuba, se aprecian como unidades distintas que se aproximan en una depresión estrecha conocida como Canal de Yucatán, con su punto más alto de 1 900 mbnm, a manera de una divisoria entre las cuencas de Yucatán y del Golfo de México.

d) Al sur de la cuenca de Yucatán, con dirección noreste, la cadena montañosa submarina, Caimán, con bancos de menos de 200 m de profundidad, o sea, con una altitud total de más de 4 000 m.

e) Al sur de la anterior, dispuesta paralelamente, la trinchera Caimán, cuya profundidad máxima es de 7 491 m (Leontiev, 1981). En la carta aparece sólo un pequeño fragmento de ésta, con una profundidad máxima de 5 300 m. Otra cresta montañosa delimita a la trinchera por el sur.

En la cuenca de Yucatán la discontinuidad de Mohorovicic se encuentra a unos 13 km de profundidad, de los cuales 6 son de capa "basáltica" y 3 km de sedimentos, posiblemente terciarios (Khain, 1975).

En la porción central de la trinchera Caimán, la corteza tiene un espesor de 6 km, de los cuales de 1.5 a 2 son de sedimentos. Hacia la ladera sur y en la cresta Caimán disminuye el espesor de sedimentos, pero el de la corteza crece a 20-25 km (Khain, 1975).

Los valores de flujo térmico para la cuenca del Caribe, en general, son de 1.4 a 1.7 mcal/cm^2.seg. (Popova y Savostin, 1979).

CONCLUSIONES

El conocimiento del fondo oceánico mexicano es, hoy día, un tema indispensable de la geografía y geología de nuestro país. Pero es también fundamental en los estudios sobre la tectónica y la geomorfología global, por representar una de las porciones más complejas e interesantes de la superficie y corteza terrestre. El mapa de morfoestructuras (Fig. 1) pretende exponer, por primera vez en México, la configuración general de su relieve submarino.

Aun cuando los límites de la carta elaborada son políticos, en ésta aparece una diversidad de morfoestructuras que exponen un relieve mucho más complejo de elevaciones y depresiones que las de la tierra firme. Todo esto adquiere importancia por cuanto las grandes unidades geomorfológicas continentales (sistemas montañosos, altiplanos, planicies) no son ajenas a las contiguas submarinas, ni a los procesos creadores del relieve oceánico.

Los océanos tienen importancia no sólo por sus recursos biógenos, sino por el enorme potencial de recursos minerales, aunque actualmente en el mundo sólo se explotan los de la plataforma continental, como es el caso del petróleo del Golfo de México.

La amplitud de la plataforma continental en México está en relación estrecha con la actividad tectónica moderna. Puede apreciarse que las regiones más reducidas de ésta corresponden a las provincias morfoestructurales más activas tectónicamente: el Golfo de California, la margen del sur de México y la cuenca del Caribe.

Es notable la dinámica endógena y exógena que tiene lugar frente a las costas mexicanas: expansión en el Golfo de California, subducción en el sur de México acompañada de alta sismicidad, subsidencia y desarrollo de domos salinos en el Golfo de México. Un extremo de la cuenca del Caribe es contiguo a las costas orientales de la península de Yucatán, la que no es precisamente la porción más activa de la misma.

Las grandes estructuras de la tierra firme no son ajenas en su origen a las de los fondos oceánicos. La península de Baja California y su relieve, la provincia Sierras y Valles del norte de México, y la Sierra Madre Occidental evolucionaron en estrecha relación con la dorsal del Pacífico oriental. La Sierra Madre del Sur y el sistema montañoso de Chiapas debe su origen a la subducción de una placa oceánica bajo otra continental, límite de las cuales representa la trinchera Mesoamericana. Incluso el Sistema Volcánico Transversal se explica por el proceso de subducción.

El Golfo de México no es una región del todo pasiva desde el punto de vista tectónico. De Cserna (1984) propone una hipótesis revolucionaria sobre la margen atlántica de México frente al estado de Veracruz, donde considera que existe una placa litosférica en colisión con el continente. Esto explicaría un proceso orogénico actual en esta región de México. Esta hipótesis, de encontrar reafirmación en estudios futuros sobre el Golfo de México, provocaría un cambio radical de los conceptos actuales sobre esta región.

El "descubrimiento de los océanos", que se inicia hace un cuarto de siglo, influyó en forma decisiva en la transformación radical de los conceptos básicos de las ciencias de la Tierra. La información geográfica y geológica sobre México se ha enriquecido y transformado sustancialmente en esta época, proceso que continúa hoy día en forma acelerada.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la ayuda de sus compañeros de trabajo: Carlos Jaso Vega en la corrección y revisión de planas, Virginia Barrón Aranda en la preparación del texto para impresión y José Juan Zamorano Orozco en el dibujo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agapova, G.V., V.M. i Litvin, N.A. Marova. 1979. Gueomorfologuicheskaya karta dna Mirovovo Okeana. (Carta geomorfológica del fondo del Océano) En: Okeanologuia. Gueofizika Okeana, Moskva: Nauk.

Alvarez, M. 1961. Provincias fisiográficas de la República Mexicana. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 24 (2): 2-20.

Antoine, J.W. and T.E. Pyle. 1970. Crustal studies in the Gulf of Mexico. Tectonophysics, 10 (5-6): 477-494.

Bergantino, R.N. 1971. Submarine regional geomorphology of the Gulf of Mexico. Bulletin of the Geological Society of America, 82: 741-752.

Bogoliepov, K.V. i B.M. Chikov. 1976. Gueologuia dna okeanov. Moskowa (Geología del fondo oceánico). Moskva: Nauk.

Bryant, W.R., J. Antoine and M. Ewing. Structure of Mexican Continental Shelf and Slope, Gulf of Mexico. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 52: 1204-1228.

Cserna, Z. de. 1984. Margen continental de colisión activo en la parte suroccidental del Golfo de México. Revista del Instituto de Geología, 5 (2): 255-261.

Emery, K.O. 1960. The sea of Southern of California. New York: J. Wiley.

Estavillo, G.C. 1982. Evolución tectónica-sedimentaria del complejo deltaico del Río Colorado, NW de México. En Convención Geológica Nacional (6a.: 1982: México) Programa y Resúmenes. México: Sociedad Geológica Mexicana. p. 110.

Ewing, M. y J. Antoine. 1966. New seismic data concerning sediments and diapiric structures in Sigsbee deep and upper continental slope Gulf of Mexico. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 50: 479-504,

Fisher, R.. 1961. Middle American Trench: topography and structure. Bulletin of the Geological Society of America, 72 (5): 703-720.

Gerasimov, I. P. 1946. Opit gueomorfologuicheskoy interpretatsii obschey sjemi gueologuicheskovo stroeniya SSSR. (Resultados de la interpretación geomorfológica del esquema geológico general de la estructura de la URSS). Problemi Fizicheskoy Gueografi, No. 12. Moskva: Akademia Nauk SSSR.

Hamilton, W.. 1961. Origin of the Gulf of California. Bulletin of Geological Society of America, 72: 1307-1318.

Heezen, B.C., M. Tharp and M. Ewing. The floor of the oceans. I. The North Atlantic. Special Paper of the Geological Society of America, (65).

Ilin, A.V. 1976. Atlanticheskii okean. Gueomorfologuia. Esc. 1:20 000 000. (Carta geomorfológica del Océano Atlántico). Moskva: Glavnoe Upravlenie gueodezii i kartografii pri Soviete Ministrov SSSR.

-------. 1976. Gueomorfologuia dna Atlanticheskovo Okeana (Geomorfología del fondo del Océano Atlántico) Moskva: Nauk.

Kanaev, V.F. 1979. Relief dna Indiiskovo Okeana. (El relieve del fondo del Océano Indico). Moskva: Nauk.

Khain, V.E.. 1975. Problemi tektoniki Mexikano-Karibskovo reguiona. (Problemas tectónicos de la región mexicano-caribeña). Gueodinamicheskie Issliedovania (1): 20-64.

Larson, R.L., H.W. Menard and S.M. Smith. 1968. Gulf of California: a result of ocean-floor spreading and transform faulting. Science, (161): 781-783.

Le Pichon, X., J. Franchetau and J. Bonnin. 1973. Plate tectonics. London: Elsevier Scientific.

Leontiev, O.K.. 1982. Morskaya gueologuia. (Geología Marina). Moskva: Visshaya Shkola.

-------. 1981. O kompleksnom podjode kresheniu nekotorij okeanologuicheskij problem. (Sobre el enfoque para la solución de algunos problemas oceanológicos complejos) En: Problemi Mirovovo Okeana. Moskva: Znania. p. 95-104.

-------. 1975. Gueodinamika planetarnij morfostrucktur dna okeanov na noveishem etape razvitis zemnoy kori. (Geodinámica de las morfoestructuras planetarias de los fondos oceánicos en la etapa moderna de desarrollo de la corteza terrestre) En Kolebania urovnia Mirovovo Okeana i voprosi morskoy gueomorfologuiii. Moskva: Nauk. p. 72-77.

Lugo, H.J.. 1986. Las estructuras mayores del relieve terrestre. México: Dirección General de Publicaciones, UNAM.

Menard, H.W. 1964. Marine geology of the Pacific. New York: McGraw Hill.

-------. 1960. The East Pacific Rise. Science (132): 1737-1746.

------- and R. Fisher. 1958. Clipperton fracture zone in the Northeastern Equatorial Pacific. Journal of Geology, 66 (3): 239-253.

Mendoza, G.L., Z.A. Reyes and M. Reichle. 1984. La geofísica del Golfo. Una Revisión. En Neotectonics and sea level variations in the Gulf of California area, a symposium, Hermosillo, Son. México: Instituto de Geología, UNAM, p. 203-224.

Milanovsky, E.E. 1976. Riftovie zoni kontinentov. (Las zonas rift de los continentes). Moskva: Niedra.

1962. Glossary of geology and related sciences. Coard. by J.V. Hawell. Washington: American Geological Institute.

Moore, G.W. and G.L. del Castillo. 1974. Tectonic evolution of the southern Gulf of Mexico. Bulletin of the Geological Society of America, 85: 607-618.

Nieprochnov, Y.P., A.F. Nieprochnova i G.A. Semenov. 1979. Stroenie zemnoy kori i vierjov mantii po danim glubinovo seysmicheskovo zondirovania. (Estructura de la corteza terrestre y del manto superior por datos de sondeo sísmico profundo) En Okeanologuia. Geofizika okeana. Moskva: Nauk. V.1, p. 243-291.

Normark, W. and J. Curray. 1968. Geology and structure of the deep of Baja California, Mexico. Bulletin of the Geological Society of America, 79: 1589-1600.

Ordóñez, E. 1946. Principales provincias geográficas y geológicas de la República Mexicana. En su Guía del explorador minero. México: [s.e.] p. 103-142.

Popova, A.K. i L.A. Savostin. 1979. Teploroy potok. (Flujo térmico). En Okanologuia. Geofizika okeana. Moskva: Nauk. V. 1, p. 379-387.

Raisz, E. 1959. Land forms of Mexico. Esc. 1: 3 000 000. Cambridge: [s.e.] mapa y texto.

Roldán, Q.J. and L.F. Vasallo. 1984. Abertura continental neógena en el noroeste de México y depósitos minerales asociados. En Neotectonics and sea level variations in the Gulf of California area, a symposium. Hermosillo, Son. México: Instituto de Geología. UNAM. p. 295-308.

Rusnak, G.A. and R.L. Fisher. 1964. Structural history and evolution of Gulf of California. Memoirs of the American Association of Petroleum Geologists (3): 144-156.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1984. Carta batimétrica de la República Mexicana: Esc. 1: 1 000 000. México: el Instituto.

Udintsev, G.B.. 1972. Gueomorfologuia tektonika dna Tijovo okeana. (Geomorfología y tectónica del fondo del Océano Pacífico). Moskva: Nauk.