

A photograph showing a man in a white shirt leaning over the side of a ship, handling a large yellow vertical instrument frame over the ocean. The frame is suspended by ropes and has several black rectangular components attached to it. The background shows the dark blue sea and a clear sky.

Actividades de la secretaría de marina en la investigación oceanográfica

7
19

DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA

PRIMERO DE JUNIO DIA DE LA MARINA

1978

GC 57
555.1

Actividades de la secretaría de marina en la investigación oceanográfica

“Por su historia y geografía, México es una Nación abierta al mar. Nuestros mares son determinantes en la capacidad nacional para alimentar a las grandes mayorías populares, en la creación de empleos y en la apertura de nuevas áreas de inversión que respondan en lo fundamental a la dotación de recursos naturales de que dispone el país.”

José López Portillo

DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA
PRIMERO DE JUNIO DIA DE LA MARINA
1978

GC 57
555.19

Actividades de la secretaría de marina en la investigación oceanográfica

DIRECCION GENERAL DE OCEANOGRAFIA
PRIMERO DE JUNIO DIA DE LA MARINA
1978



Estudios geofísicos de la márgen continental oeste de México

“El presente es la llave del pasado”, establece el primer principio de la Geología. ¿Constituyen los movimientos telúricos que continuamente suceden en las costas occidentales de México, una clave para descifrar la evolución tectónica y la estructura geológica de las márgenes continentales del oeste de la República Mexicana?

figura 3

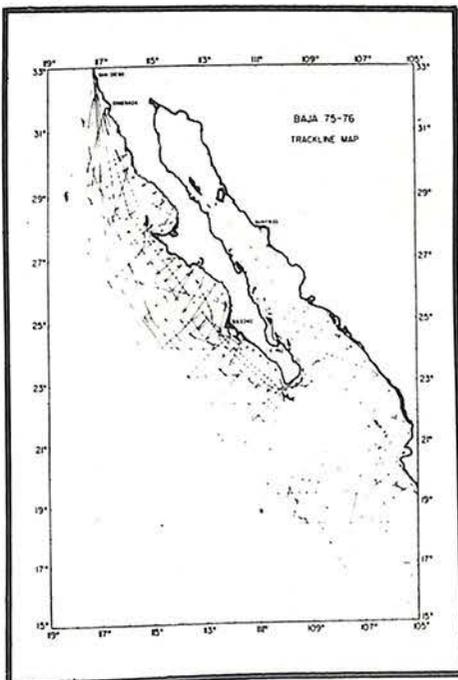


figura 1

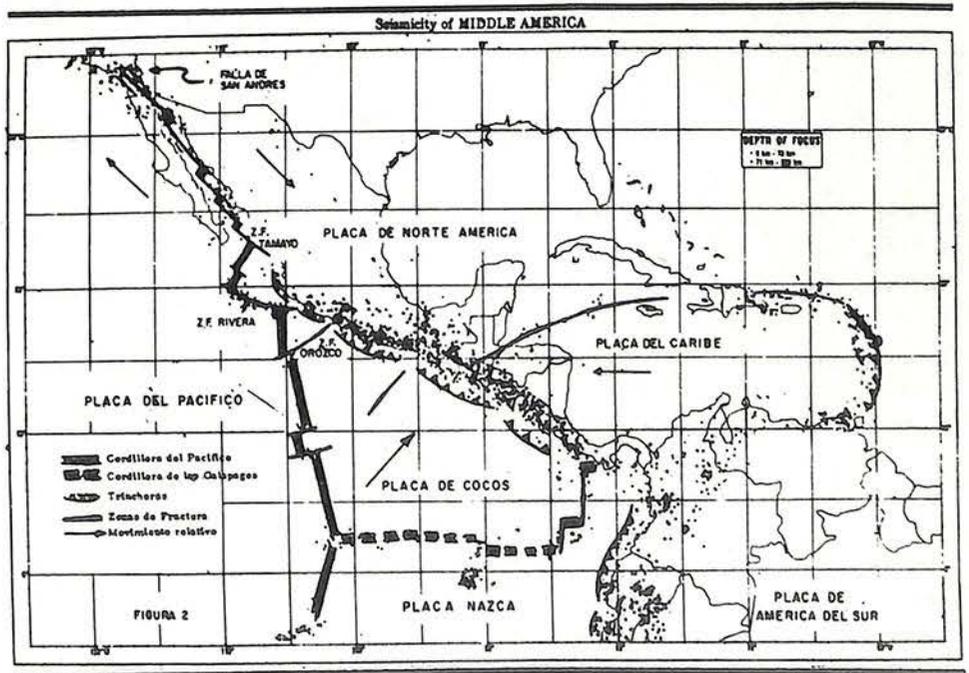


figura 2

De acuerdo con la configuración tectónica que se muestra en la figura No. 1, la margen continental oeste de México forma parte en su totalidad de la región sísmica conocida como cinturón de fuego del Pacífico. En el área que se considera márgenes mexicanas, la actividad sísmica es frecuente y se debe, según las últimas hipótesis, al movimiento relativo de tres grandes placas tectónicas cuyos límites se encuentran en esta margen o en sus inmediaciones. Las placas son a saber: la Placa del Pacífico, la Placa de Cocos y la Placa de Norteamérica. Estas placas se forman en su extremo coincidente con la cordillera submarina conocida como Dorsal del Pacífico Este, debido a la inyección de material ígneo desde las profundidades de la tierra.



figura 4

El extremo este de la Placa de Cocos se sumerge bajo el macizo continental mexicano, en la depresión submarina cercana a la costa, denominada "Fosa de Mesoa América". El extremo noroeste de la Placa del Pacífico se sumerge a su vez en la fosa de las Islas Aleutianas.

La Cordillera o Dorsal del Pacífico intercepta a la Placa de Norteamérica a la altura de la boca del Golfo de California. De acuerdo con varios autores, esta interceptación ocurrió hace varios millones de años, teniendo como consecuencia la separación de la Península de Baja California del resto del continente y por ende la formación del Golfo de California.

La Península de Baja California se desliza actualmente hacia el noroeste (NW) a razón de 6 cm. por año. El deslizamiento ocurre a través del sistema de afallamientos de San Andrés, que se extiende desde el norte de California hasta la boca del Golfo de California. Se estima que el desplazamiento total de la península ha sido de 300 kilómetros en 5 millones de años.



figura 8

Lo anterior establece algunas de las razones por las cuales la margen continental oeste de México se con-

sidera como una margen activa. El mejor entendimiento de los procesos tectónicos que actualmente

se desarrollan en ella es fundamental para la determinación de su evolución y estructura, así como

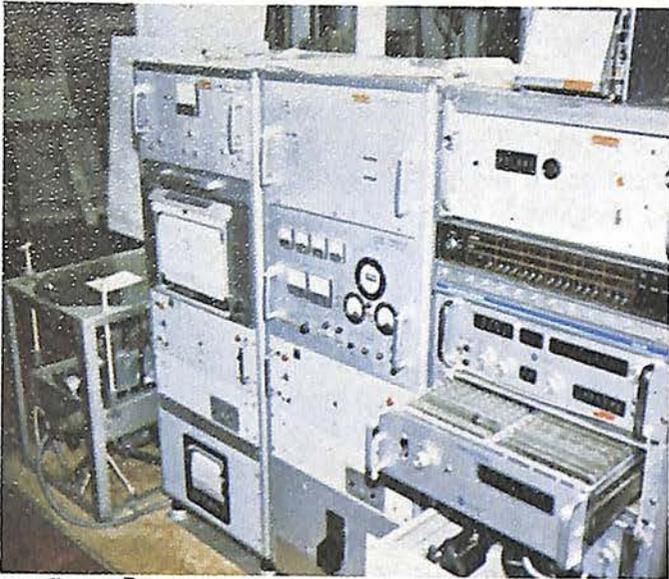


figura 5

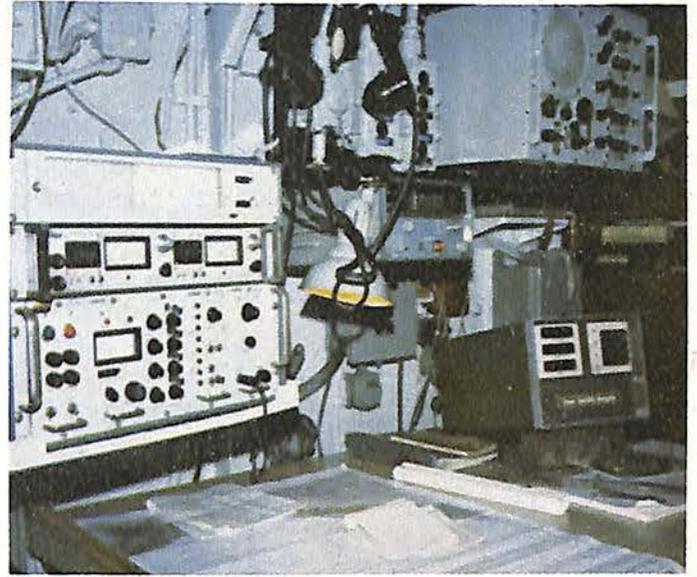


figura 7

Figura 6

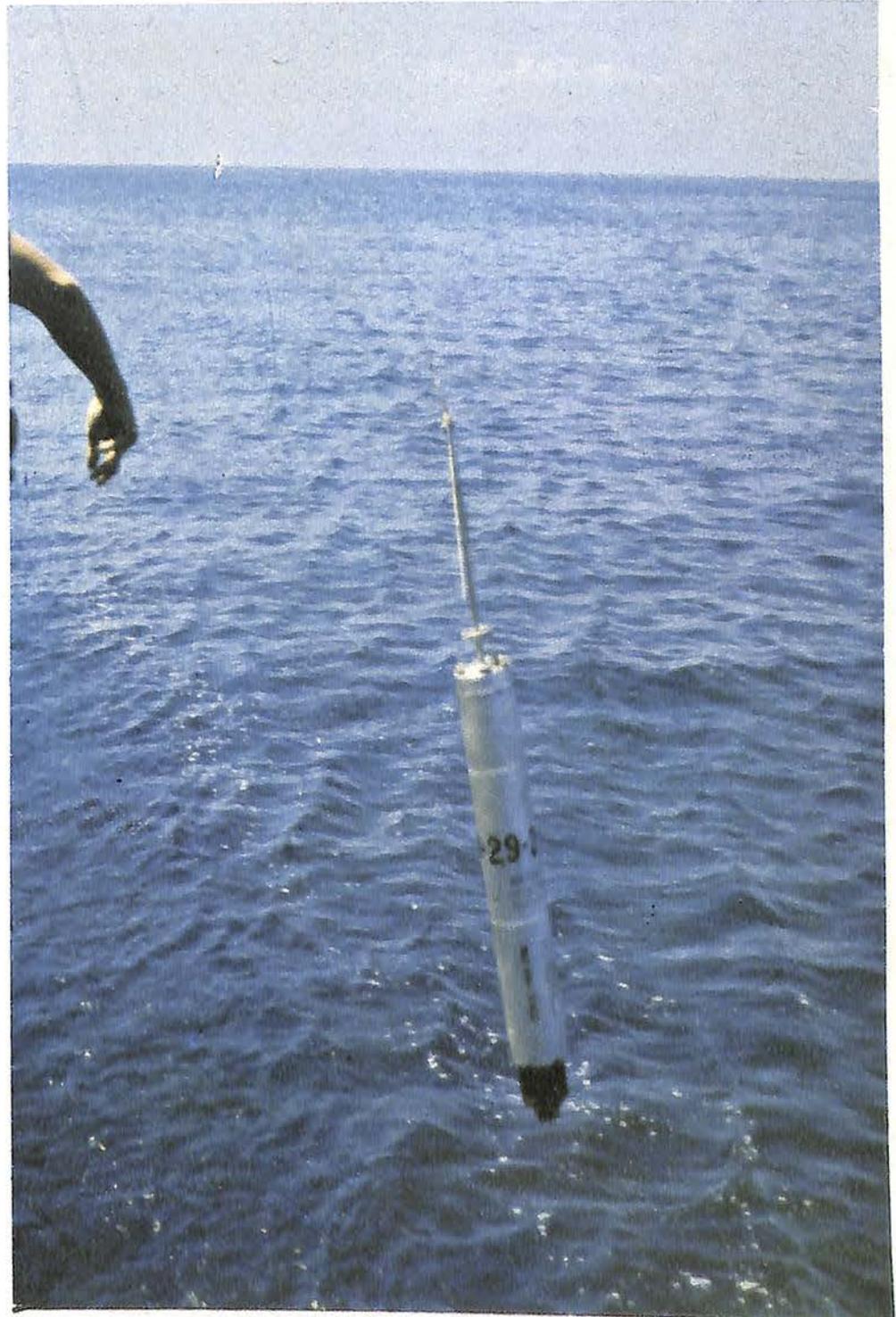
para el estudio de otras márgenes en el mundo con características similares.

Proyecto BAJA 75—76

En 1975 la Dirección General de Oceanografía de la Secretaría de Marina, en cooperación con el grupo de Geofísica Marina de la Universidad del Estado de Oregon E.E.U.U., inició el estudio de la margen continental oeste de la República Mexicana. El programa de este estudio fue diseñado para cumplir propósitos prácticos y científicos.

Uno de los objetivos principales del programa es la integración de un Atlas Geofísico de la margen continental oeste del país, el cual servirá como base para estudios futuros, principalmente en la evaluación del potencial de los recursos naturales del fondo y sub-fondo marino.

Los objetivos científicos del programa que se identifican como prioritarios son: a) Obtener un conocimiento actualizado de la geología estructural de las márgenes continentales mexicanas, y b) Obtener un conocimiento de la evolución tectónica de las mismas dentro del marco de la teoría de la deriva de los continentes y placas tectónicas.



La primera etapa en el estudio de las márgenes continentales del oeste de México, consistió en el establecimiento de cruceros geofísicos al norte de los 20° de Latitud Norte. El área estudiada comprende las márgenes continentales de la Península y el Golfo de California. Los cruceros se desarrollaron durante los meses de julio y parte de agosto de 1975 y 1976 a bordo del buque de investigación oceanográfica D-20 de la Armada de México (Fig. No. 2).

La figura 3 muestra las líneas de crucero establecidas durante la investigación, en la cual se colectaron 12,500 millas náuticas de datos continuos de batimetría, magnetismo y gravedad, así como datos de reflexión y refracción sísmica en sitios determinados.

Para la obtención de los datos geofísicos se utilizaron: ecosondas para gran profundidad, magnetómetro marino (Fig. 4), gravímetro

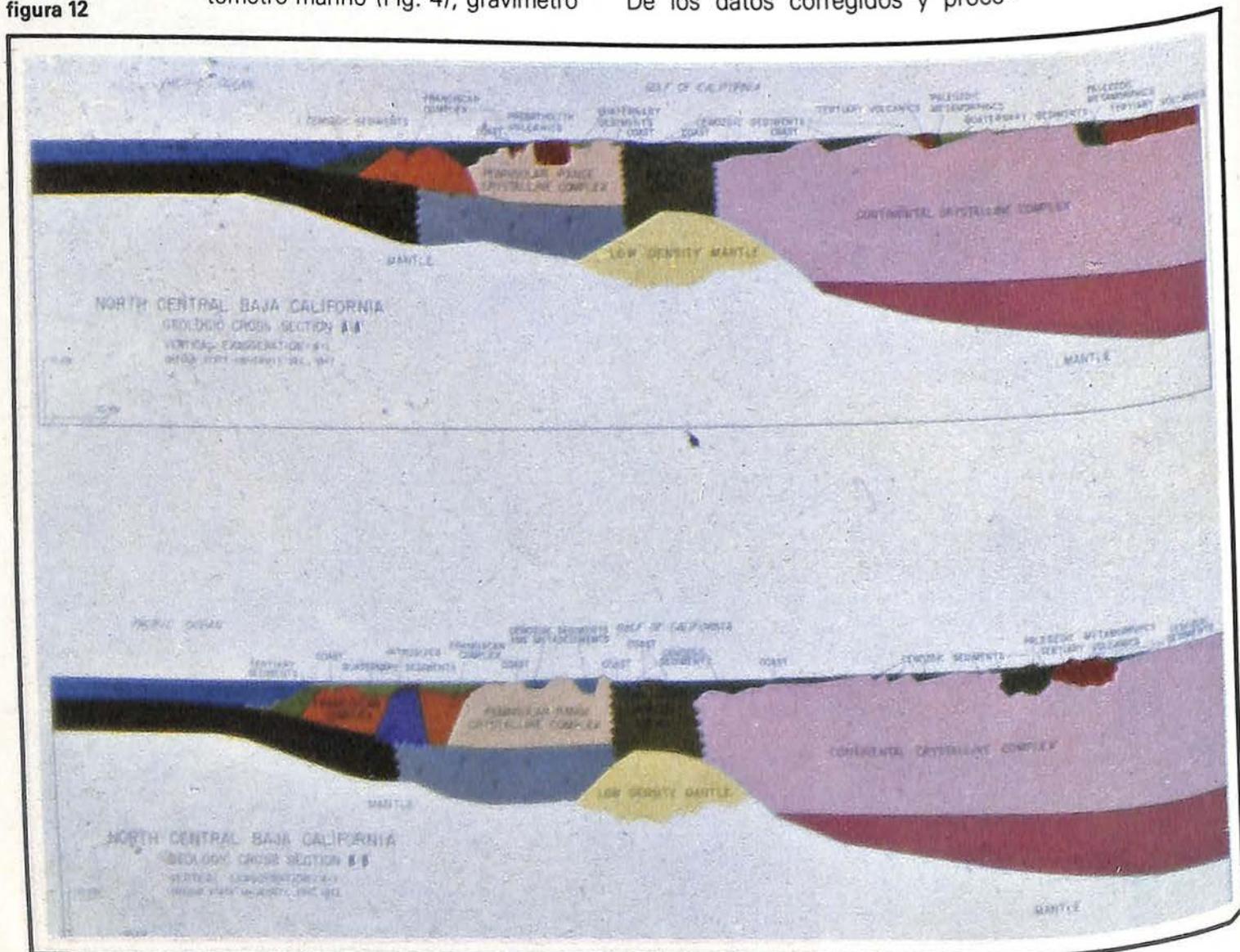
marino (Fig. 5), cañón de aire y sonoboyas (Fig. 6).

La navegación en un crucero geofísico es de vital importancia, principalmente en la obtención de datos de gravedad. Por tal motivo, el buque D-20 cuenta con navegación electrónica de 1er. orden; radar, omega y navegador por satélite (Fig. 7), sistemas mismos que fueron utilizados durante los cruceros BAJA-75-76.

Resultados

Los datos colectados durante los cruceros antes mencionados, fueron procesados y reducidos en trabajo conjunto de intercambio por científicos mexicanos y norteamericanos, en el laboratorio de geofísica de la Universidad del Estado de Oregon, utilizando técnicas actualizadas de computación digital. De los datos corregidos y proce-

figura 12



sados se compilaron 9 mapas geofísicos de 3° de latitud; 5 mapas de gravedad a la intemperie y 4 mapas de anomalías magnéticas totales de las márgenes continentales de la Península y Golfo de California. Las figuras 8 y 9 muestran dichos mapas.

El mapa de gravedad a la intemperie (Fig. 8) de la margen continental oeste de la Península de Baja California, presenta las anomalías o diferencias gravimétricas en el área, debidas a cuerpos geológicos con densidades diferentes. El valor de la gravedad normal a lo largo de la margen de la península, se calculó mediante la Fórmula Internacional de Gravedad de 1968.

Las características principales de este mapa son las siguientes: un valor anómalo bajo de la gravedad -azul oscuro- de 100 miligales que ocurre a lo largo de la base del talud continental situado al oeste de las Bahías de Vizcaíno y Magdalena, se atribuye a la transición abrupta de estructuras oceanicas a continentales y a la existencia de una fosa parcialmente llena de sedimentos. Esta fosa conocida como la "Fosa de Cedros", marca la zona en donde probablemente la extensión hacia el norte de la actual Placa de Cocos se sumergía bajo la masa continental mexicana, antes de la separación de la Península de Baja California y formación del Golfo.

Las franjas amarillas constituyen anomalías positivas con valores hasta de 100 miligales. Estas anomalías sugieren la existencia, bajo el talud y plataforma continentales al oeste de la península, de rocas y estratos del Mesozoico, similares a los afloramientos del tipo Franciscano en la Isla Margarita, Cedros y Benitos, así como en Punta Eugenia. La existencia de este cinturón de rocas metamórficas del tipo Franciscan a lo largo de la margen continental oeste de la Península de Baja California, constituye una evidencia más de que durante el Mesozoico la actividad tectónica en estas latitudes se concentró al oeste de la península.

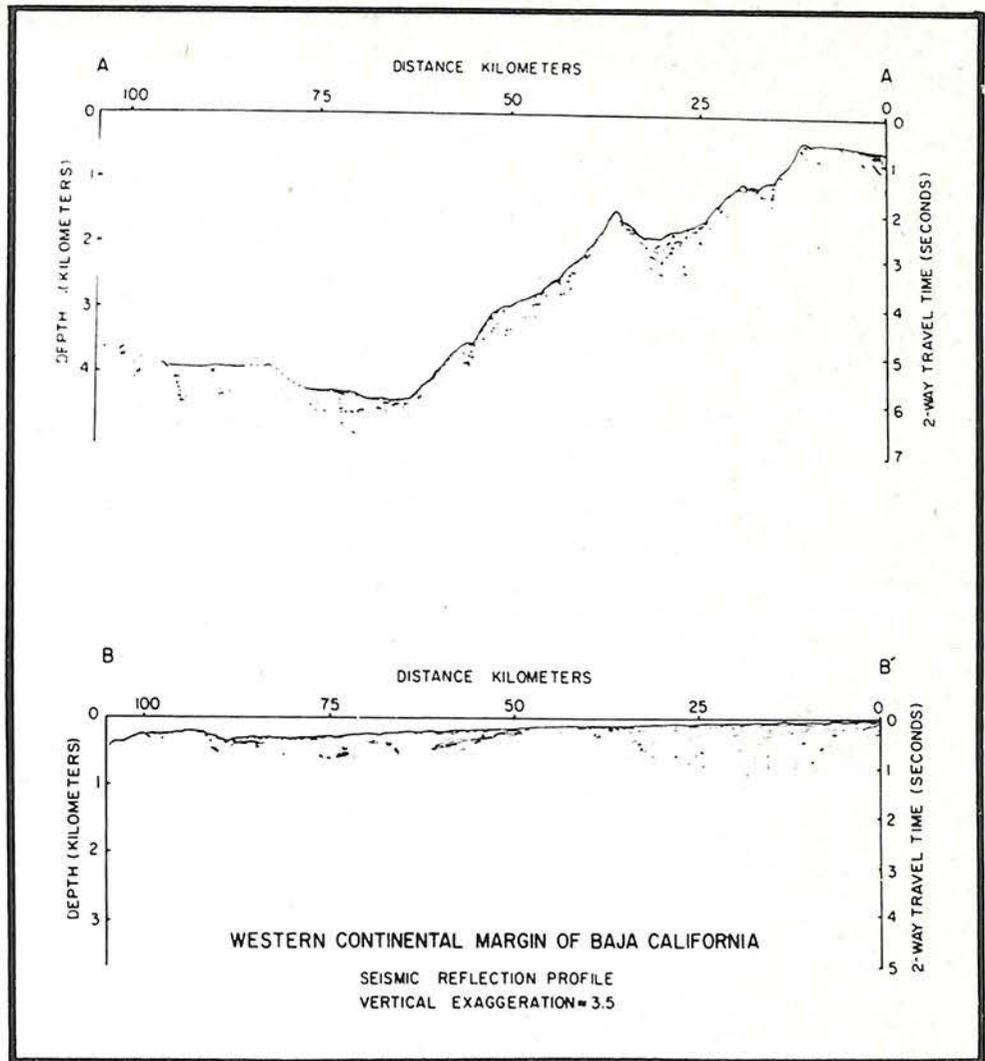
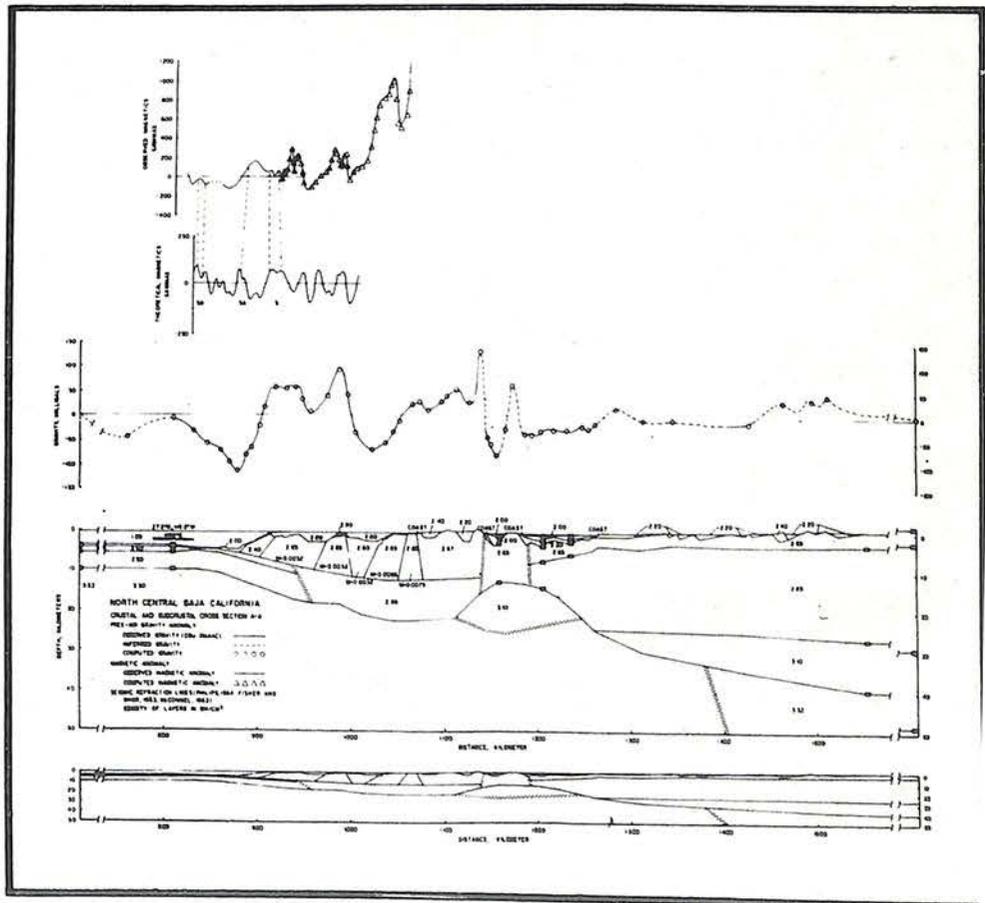


figura 10

figura 11



En la actualidad, la actividad tectónica se desarrolla principalmente en el Golfo de California.

El mapa de anomalías magnéticas totales (Fig. 9) presenta las anomalías o variaciones del campo magnético de la tierra debidas a la presencia de materiales de diferente susceptibilidad magnética.

Los valores normales del campo magnético total para el área en estudio se calcularon mediante la Formula Geomagnética Internacional de Referencia de 1975.

Las anomalías magnéticas al oeste del talud continental a lo largo de toda la península, se relacionan directamente con el magnetismo remanente adquirido por la corteza terrestre al solidificarse - debido al campo magnético de la tierra - durante su creación en el Dorsal del Pacífico. Las franjas magnéticas de esta zona con valores altos y bajos de magnetismo, representan cambios en la intensidad y reversimientos en la dirección del campo magnético terrestre en diferentes épocas geológicas. Al acercarse a la península, las anomalías se deben en mayor proporción al magnetismo inducido en las rocas según el tipo de

estas y a las características estructurales del área.

El alineamiento magnético que parte de Punta Eugenia hacia el noroeste hasta 29°30.0' N según el mapa de magnetismo, se debe principalmente al afallamiento de San Benito.

La anomalía magnética positiva del orden de las 1000 gamas (rojo obscuro) que existe en Bahía Vizcaíno, se debe a la transición abrupta de material de alta susceptibilidad magnética, en este caso, el cinturón peninsular se gabro.

Las anomalías positivas que se extienden al norte de Cabo San Lázaro, se relacionan directamente con la continuación submarina del material que forma Isla Margarita y cabo San Lázaro.

Interpretación Estructural de los Datos

Utilizando toda la información adquirida durante los cruceros BAJA 75-76: gravedad, magnetismo, batimetría, reflexión y refracción sísmica (Fig. 10) y referencias geológicas y geofísicas de estudios anteriores, se calcularon 6 modelos de secciones transversales estruc-

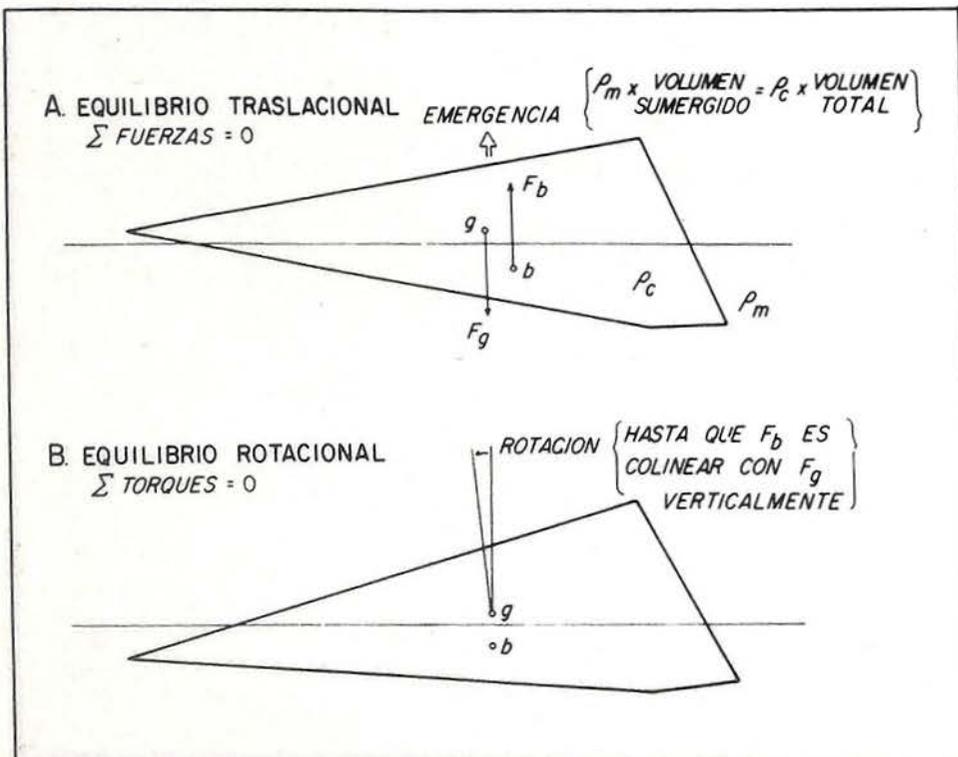
turales de la corteza y subcorteza terrestre de las márgenes continentales de la Península y Golfo de California.

La figura 11 muestra una sección transversal en dos escalas de la Bahía de Vizcaíno, el macizo peninsular, el Golfo de California y la margen continental de Sonora. Como se ve en la parte superior de las secciones, los perfiles calculados de gravedad y magnetismo (círculos y triángulos) concuerdan con los valores observados (líneas continuas e interrumpidas): La sección superior tiene una exageración vertical de 4:1 y la inferior es una sección de 1:1. Las barras negras indican la profundidad a los diferentes estratos de acuerdo con los datos de refracción sísmica. Los números indican las densidades de las diferentes capas o unidades geológicas en g/cm³.

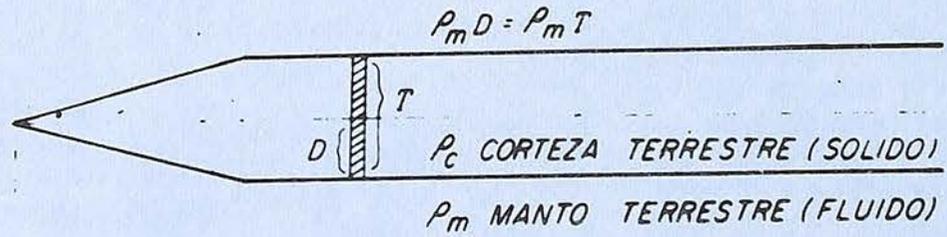
El modelo indica un máximo espesor de la corteza terrestre peninsular de 19 Kms. En el Golfo de California el modelo muestra un manto terrestre de baja densidad, hecho que tiende a confirmar la existencia de centros de dispersión (zona donde se crea nueva corteza terrestre) en el Golfo de California. En Bahía Vizcaíno el modelo muestra un bloque de material de alta densidad (¿gabro?) intruyendo la sección sedimentaria de dicha bahía.

La correlación del perfil magnético observado (perfil superior) con la escala geomagnética de tiempo actualizada (perfil inmediato inferior) indica que la corteza oceánica de las márgenes continentales oeste de la Península de Baja California dentro del área de estudio, fue creada desde hace 8 a 20 millones de años.

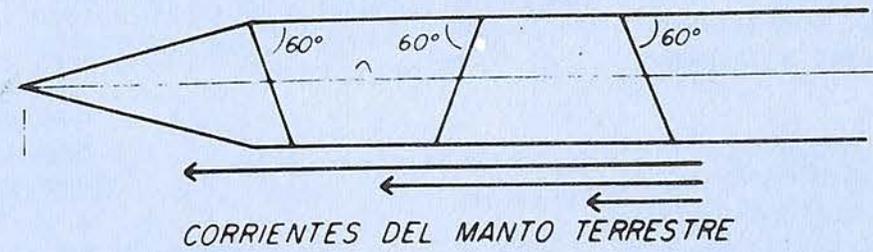
La figura 12 es una interpretación geológica de la sección transversal, de acuerdo con los datos y evidencias obtenidas en este estudio. En la sección geológica destacan las siguientes unidades:



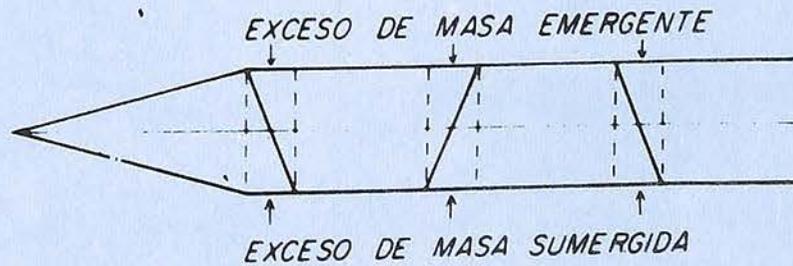
A. CONDICION INICIAL



B. AFALLAMIENTOS TIPICOS DEBIDOS A ESFUERZOS TENSIONALES :



C. BLOQUES EN DESIQUILIBRIO TRASLACIONAL



D. AJUSTES PARA ALCANZAR EL EQUILIBRIO TRASLACIONAL

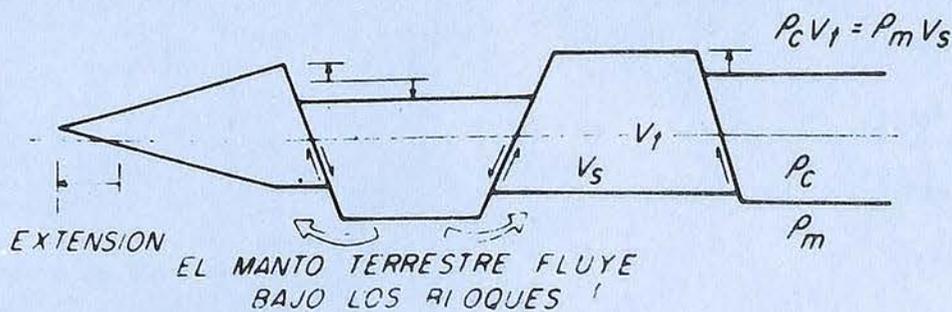


figura 13

a) Corteza oceánica del Mioceno (8 a 20 my) al oeste de la Península de Baja California, documentada por los datos de refracción sísmica y las anomalías de magnetismo remanente.

b) Sedimentos del Cuaternario y Terciario en la Bahía de Vizcaíno sobre material metamórfico del tipo Franciscano, según correlaciones geológicas con unidades de Isla de Cedros, Islas Benitos y la Península de Vizcaíno.

c) Material ígneo intrusivo de edad desconocida en Bahía Vizcaíno - probablemente gabro - documentado por los estudios de reflexión sísmica en el área y el valor alto de la anomalía de gravedad a la interperie.

d) Complejo continental cristalino o batolito de Baja California, cuya edad varía del Jurásico superior (150 my) en la parte oeste de la península, al Terciario inferior (55 my) en la par-

te este, según fechamientos por varios autores.

e) Corteza terrestre de edad reciente en el Canal de Ballenas del Golfo de California, asociada con el centro de dispersión postulado para la zona.

f) Sedimentos del Cuaternario y Terciario para el resto del Golfo de California, sobre corteza terrestre del tipo continental.

g) Corteza terrestre inferior del macizo peninsular, de material desconocido. La densidad calculada para este material puede indicar material oceánico, continental o transicional. La identificación de este bloque requiere de trabajo de refracción sísmica profunda.

madamente hace 5 millones de años, la Península de Baja California ha estado sujeta a movimientos horizontales y verticales. En general, los movimientos horizontales de la península con respecto al continente han sido hacia el noroeste. Sin embargo, los detalles y mecanismos de estos movimientos no han sido estudiados completamente. Los datos geofísicos adquiridos recientemente en la boca del golfo, sugieren que el área de la península ha estado sujeta a esfuerzo tensional desde hace 10 millones de años, es decir, desde 5 millones de años antes del inicio de su separación del continente. La dirección inicial de su apertura fue probablemente hacia el oeste.

Mediante la utilización de técnicas de ingeniería naval para determinar la estabilidad de cuerpos flotantes, los científicos participantes en el proyecto BAJA 75-76 desarrollan actualmente un modelo teórico para explicar las características estruc-

Evolución Tectónica de la Península

Desde su separación del macizo continental de México, aproxi-

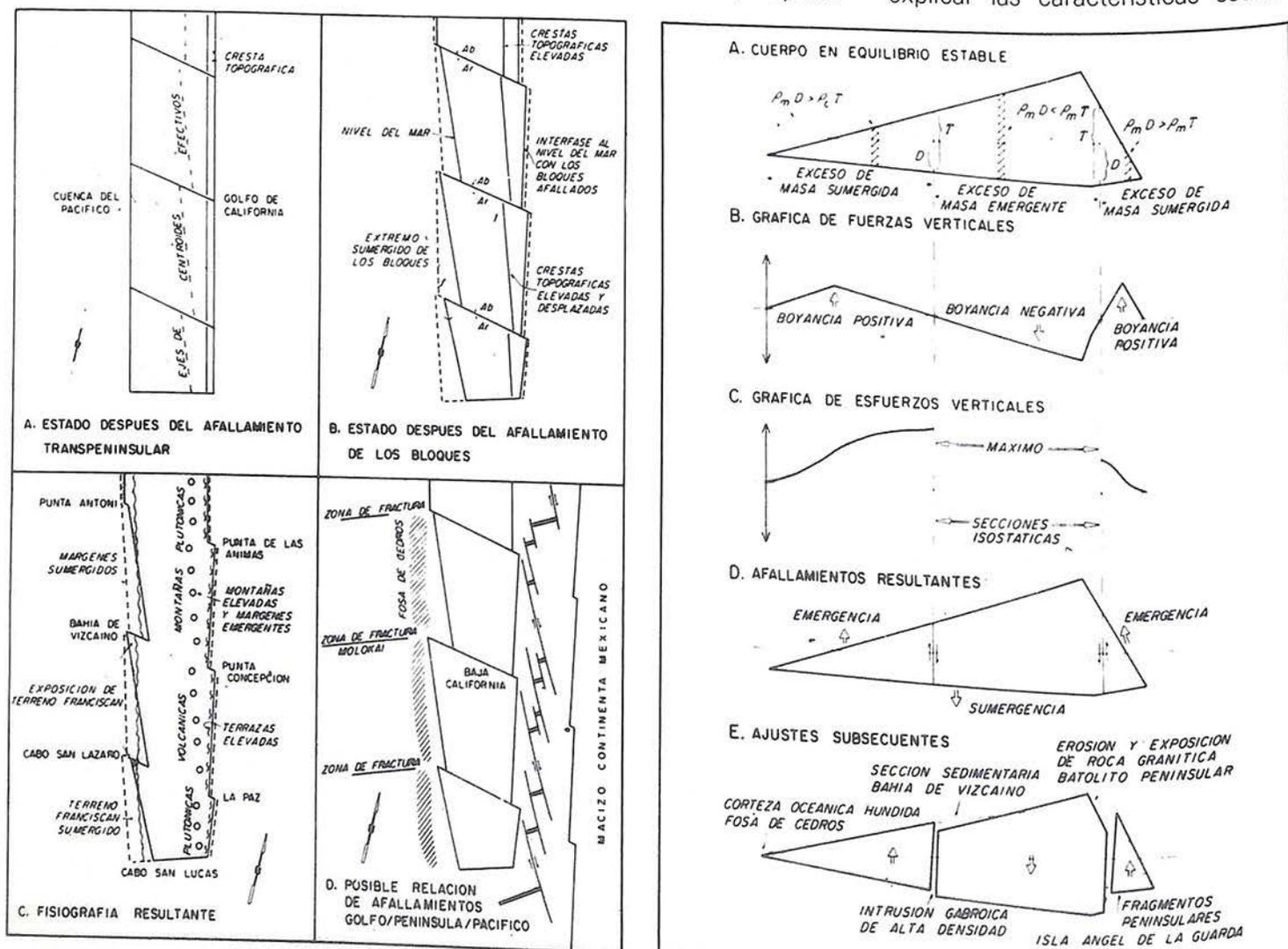


Figura 14

turales de la península. La estabilidad vertical de un cuerpo flotante en un fluido - ya sea un trozo de madera flotando en agua o un bloque de corteza continental flotando en el manto terrestre- se obtiene cuando se satisfacen dos condiciones. En primer lugar, la suma de todas las fuerzas boyantes y gravitacionales debe ser cero; de lo contrario el cuerpo sufrirá un desplazamiento vertical. Estos movimientos son denominados comúnmente por geólogos y geofísicos como "movimientos isostáticos". En segundo lugar la suma de todos los momentos debidos a las fuerzas boyantes y gravitacionales debe ser cero, o el cuerpo girará alrededor de su centro de masa.

La figura 13 ilustra la fragmen-

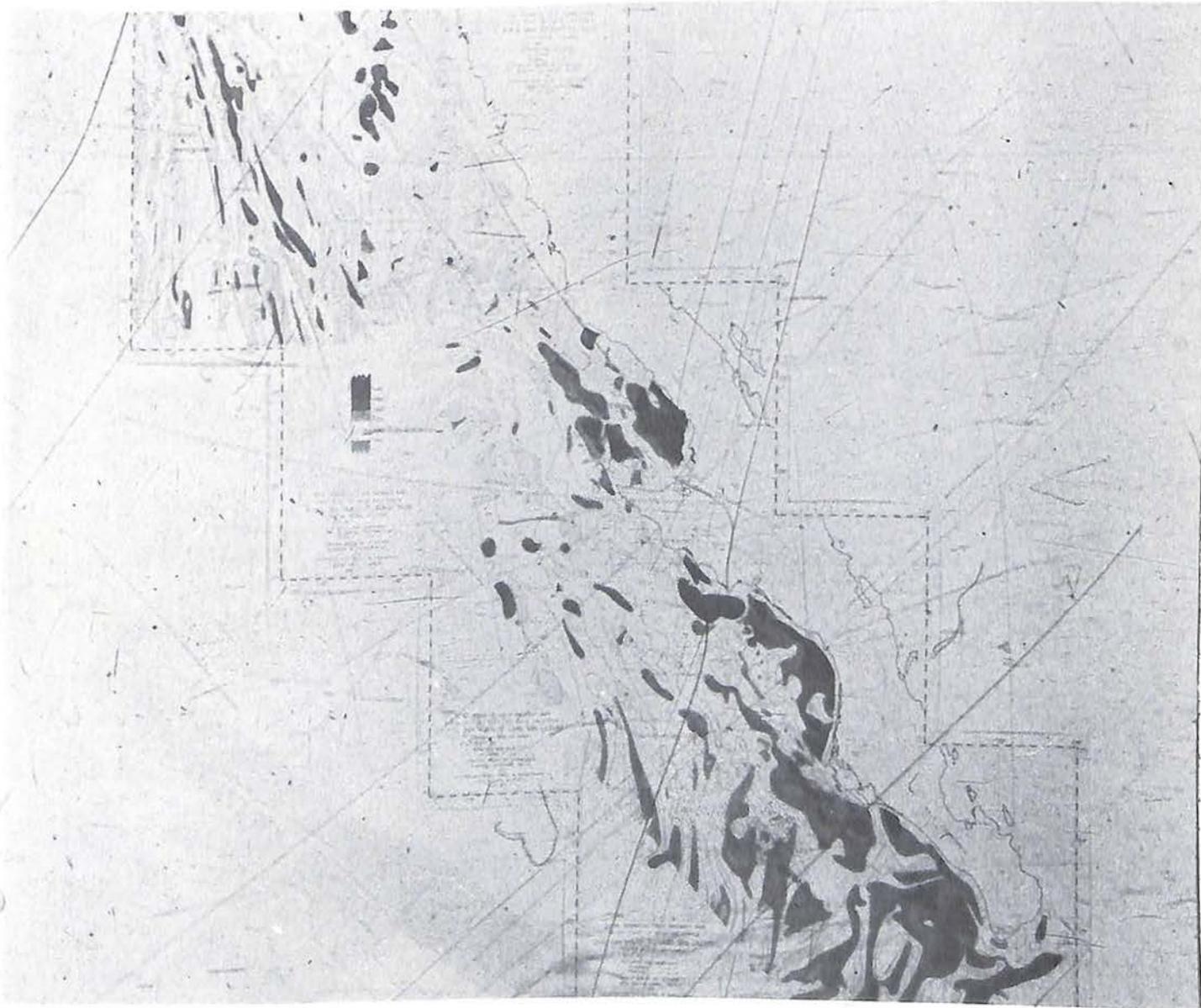
tación hipotética de la corteza continental originada por afallamientos iniciados por los esfuerzos tensionales desarrollados por las corrientes convectivas divergentes del manto terrestre superior.

La corteza terrestre, completamente balanceada y en equilibrio, al principio, debe ajustarse verticalmente después de sufrir los afallamientos, hasta que cada uno de los bloques formados alcance un estado de equilibrio. Los bloques subirán o se hundirán en el manto terrestre, causando por lo tanto una extensión de la corteza; los bloques simétricos sufrirán simplemente una traslación; los bloques asimétricos, tales como los prismas que forman las márgenes continentales, sufrirán

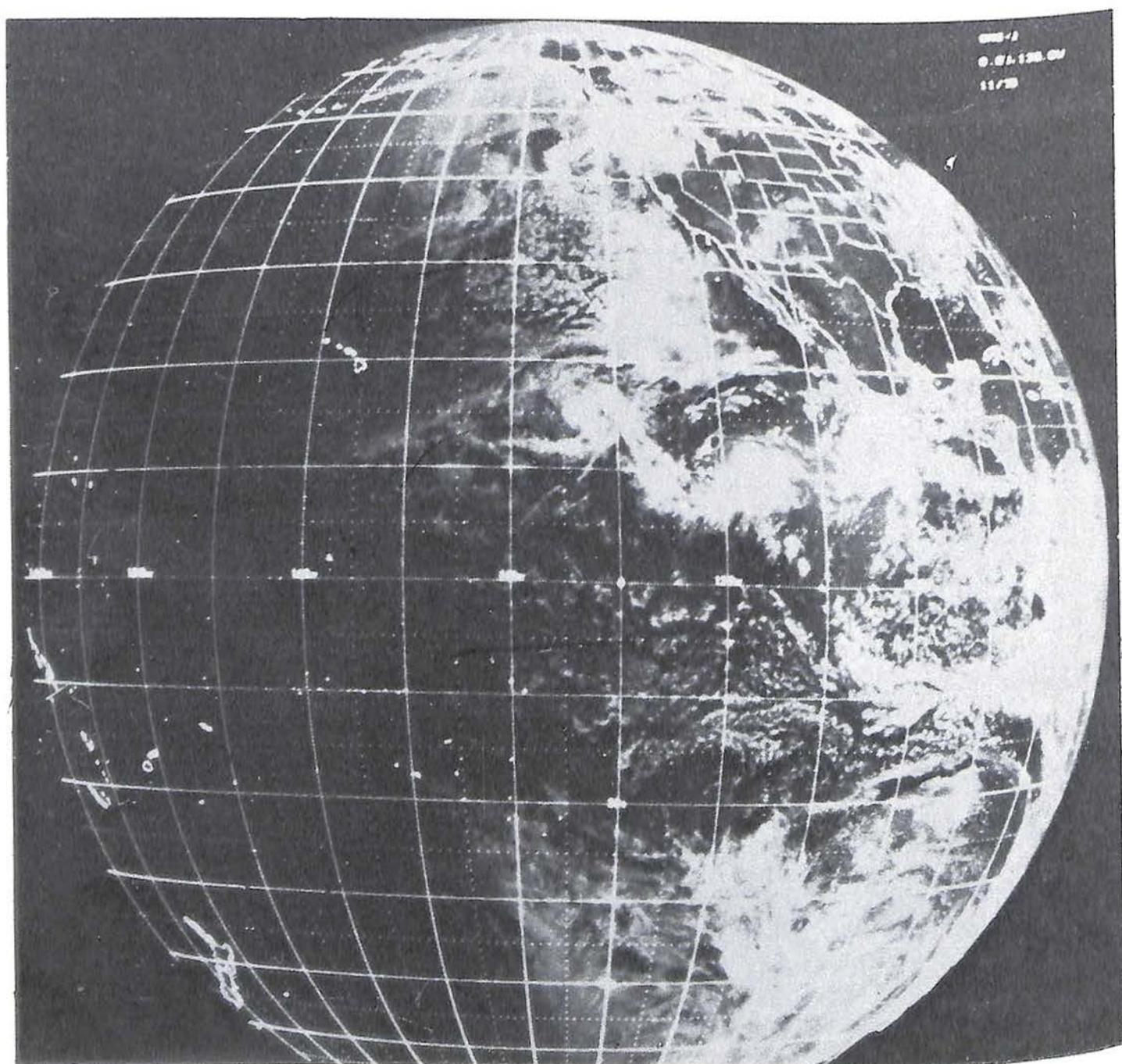
traslación y rotación hasta que el centro de gravedad de los mismos se alinie con el centro de boyancia de su volumen sumergido (Fig. 14). Cuando las dos fuerzas son iguales, opuestas y colineales, los bloques alcanzan el equilibrio completo.

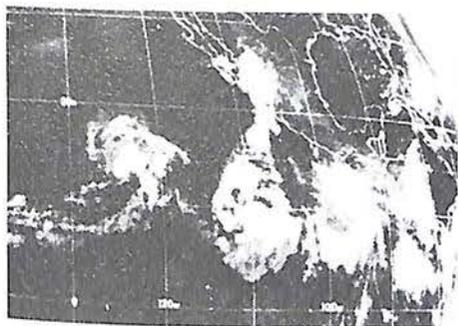
En esta forma, si asumimos que la Península de Baja California es uno de los prismas, es posible explicar entonces características tales como el inclinamiento de la península hacia el oeste reportado por varios autores, la persistencia de la ahora inactiva Fosa de Cedros, los afallamientos de la Península y el contraste en profundidad del manto entre ambas costas del Golfo de California.

figura 9

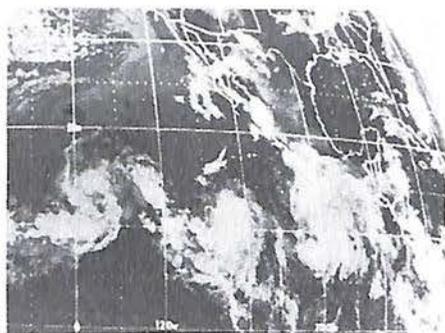


Desarrollo del ciclón HYACINTH

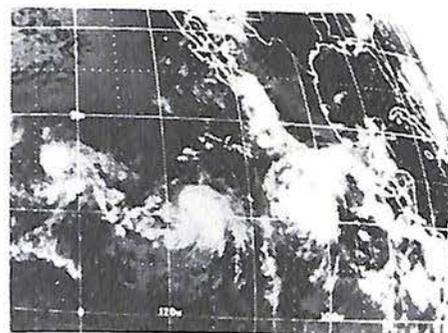




5 de agosto



6 de agosto



7 de agosto

El ciclón HYACINTH, en el Océano Pacífico Mexicano, desarrolló una trayectoria Oeste-Noroeste durante los días del 5 al 12 de agosto de 1976, desde una distancia de 400 millas náuticas al sur del Puerto de Salina Cruz, Oax., desplazándose a una velocidad promedio de 20 nudos aproximadamente, hasta unas 935 millas náuticas al suroeste del Puerto de Ensenada, B.C. en donde se disipó en el transcurso de las últimas 24 horas.

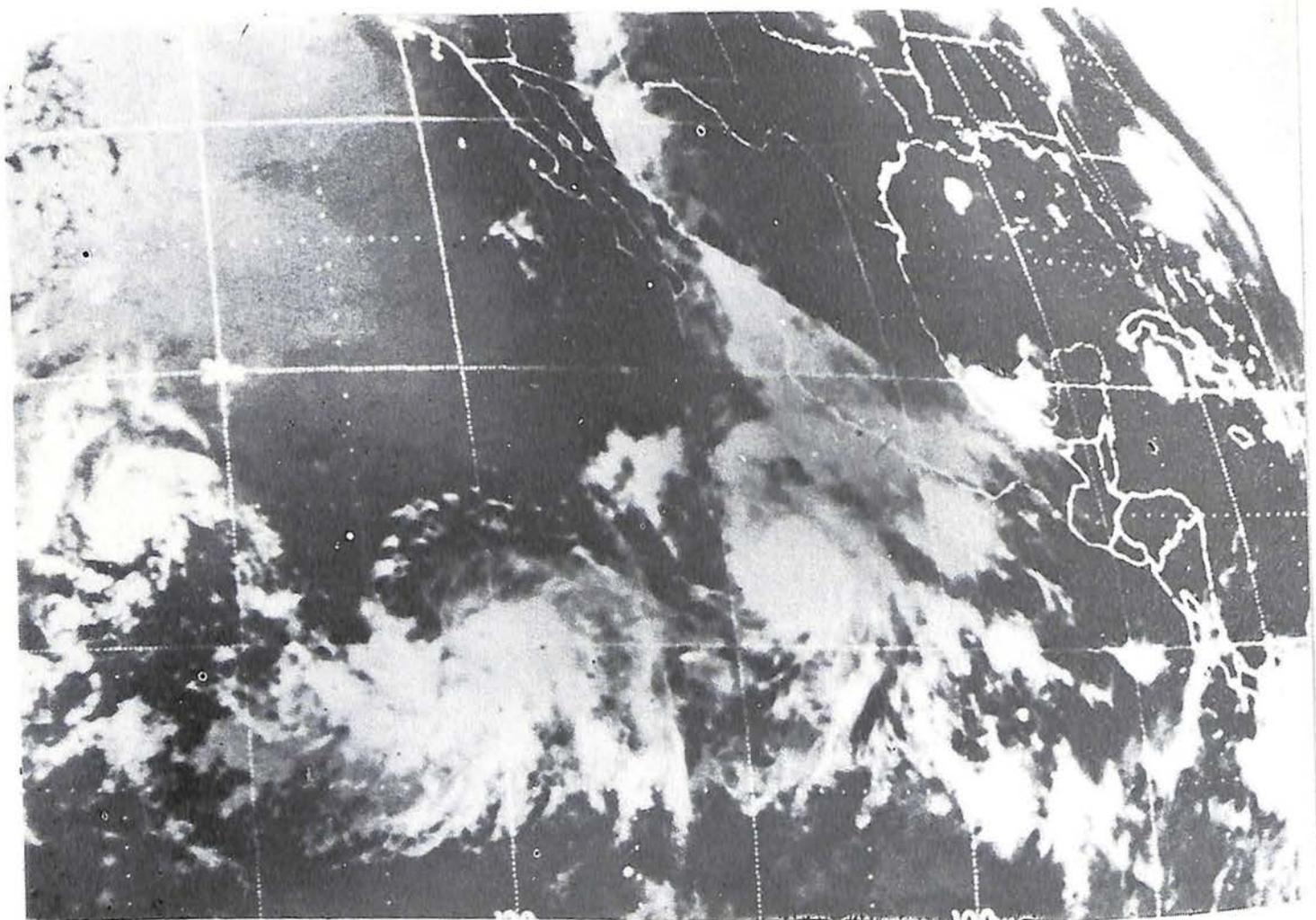
El Océano Pacífico Mexicano es una de las seis regiones en el mundo donde se desarrollan los ciclones tropicales. La octava tormenta tropical en el año de 1976, llamada Hyacinth, se convirtió en ciclón tropical en el cuarto día de su evolución; durante su desarrollo el centro estuvo a una distancia mínima de 400 millas náuticas de la costa mexicana.

Sus imágenes se recibieron en la región visible e infrarroja del espectro electromagnético del satélite geo-estacionario, localizado a 32,000 kilómetros de altura en una situación geográfica de 0.5 grados

de Latitud Norte y 135 grados de Longitud Oeste, aproximadamente al centro del Océano Pacífico.

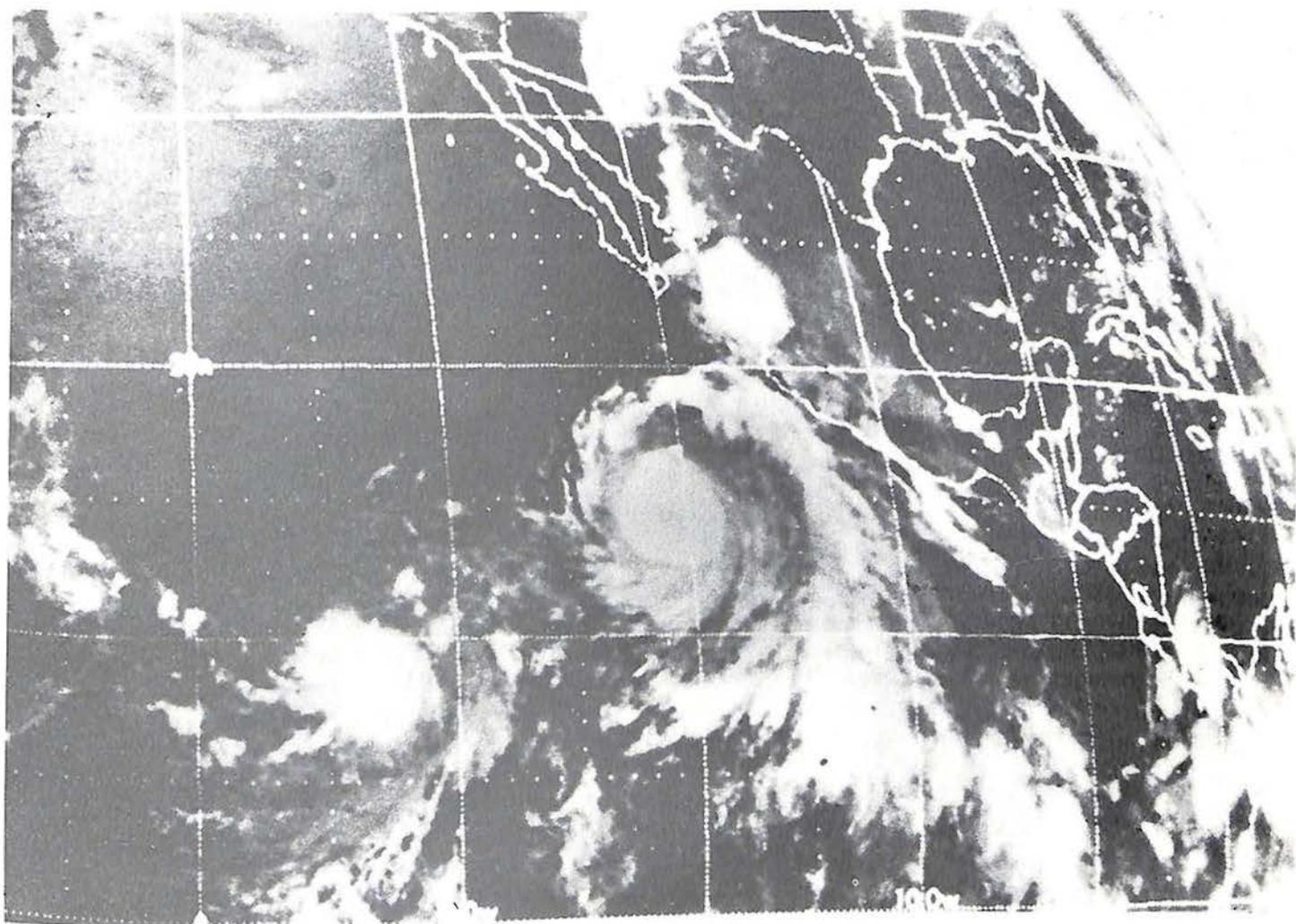
Con dichas imágenes del satélite, se analizó el ciclón Hyacinth, del 5 al 12 de agosto de 1976, dando como resultado la tabla de la página 14.

En el buque oceanográfico H-02 (DM-20), se tomaron observaciones meteorológicas al paso del ciclón Hyacinth, los días 7 y 8 de agosto, en la proximidad de las Islas Marías, cuando se navegó a un rumbo aproximadamente de vuelta encontrada pasando por el extremo este del sector peligroso. El Barotermo-



8 de agosto

FECHA AGOSTO 1976	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO EN NUDOS	VIENTOS MAXIMOS EN NUDOS	DIAMETRO EN MILLAS NAUTICAS
5	9.5	96.0			420
6	13.0	100.0	25	25	600
7	12.5	104.5	20	30	550
8	13.5	107.0	12		360
9	15.0	111.0	20	50	480
10	16.0	113.0	10	100	480
11	18.2	118.2	25	100	480
12	22.0	127.0	54	75	600



9 de agosto

higrógrafo registró un aumento en la humedad y una disminución en la temperatura; después de pasar por el lugar más cercano al vórtice, éstos parámetros invirtieron su gradiente, sin embargo la presión no registró un cambio notable. Los vientos fueron un poco mayores a 30 nudos.

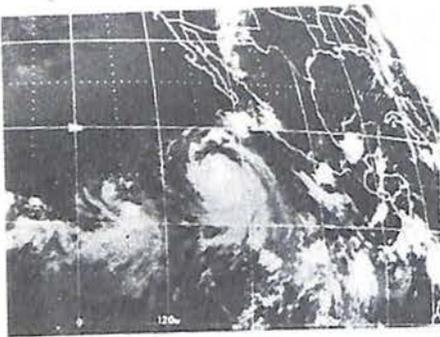
Formación de los ciclones

Las severas tormentas tropicales se desarrollan únicamente sobre los océanos y en regiones donde la baroclinidad de la corriente básica es débil. La formación de un núcleo ligeramente caliente es el primer signo notable de la formación de un ciclón tropical.

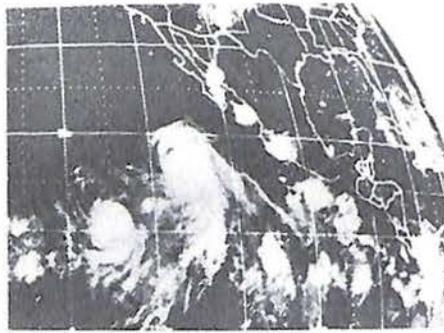
El origen y el mantenimiento de las tormentas tropicales dependen de la habilidad de la atmósfera para producir la energía potencial disponible a través del agente interior de las fuentes de calor, resultando éstas el movimiento del campo alterado.

Palmer y Newton consideran que las condiciones climatológicas geográficas necesarias, pero no suficientes, para la formación de ciclones tropicales intensos son:

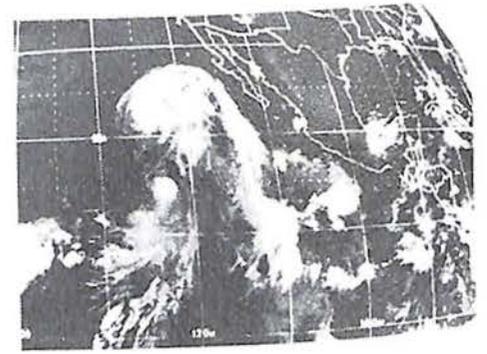
1. Áreas del mar suficientemente grandes, con una elevada temperatura del agua en la cual el aire húmedo del lugar aumenta en al-



10 de agosto



11 de agosto



12 de agosto

titud con respecto a las capas más bajas de la atmósfera (casi a la misma temperatura de la superficie del mar), expandiéndose pseudo-adiabáticamente y manteniéndose considerablemente más caliente que los alrededores de la atmósfera no alterados al menos en los niveles hasta 12 Kilómetros de altura.

2. Un parámetro de Coriolis mayor de un cierto valor mínimo; esto excluye un cinturón entre 5 y 8 grados de latitud en cada lado del Ecuador.
3. Un ligero viento vertical, correspondiendo a una débil baroclinidad en la corriente básica en la capa profunda troposférica.

El resultado del campo térmico de un huracán no depende únicamente de la temperatura y la humedad específica en la capa de flujo entrante en los alrededores, sino también del calor y el flujo de humedad del mar en su interior. El flujo del calor latente y sensible desde la superficie del mar, proporcionan entre 9 al 16% de la fuente total de calor; la fuente esencial de la energía total es derivada del flujo entrante lateral hacia el centro del ciclón, del vapor de agua en la capa de la superficie húmeda; pero también el flujo adicional de calor latente y sensible del mar en el núcleo representa una fuente de calor que no es despreciable.

El flujo total de calor desde la superficie del mar depende grandemente en el decrecimiento hacia el centro del ciclón de la presión superficial. Los fuertes vientos y la diferencia de temperatura Aire Mar

debido al enfriamiento por decompresión, favorece a una rápida transferencia de calor sensible y latente desde el mar.

La habilidad de convertir el calor en energía cinética depende de la diferencia de temperatura entre el aire ascendente y los alrededores de la atmósfera no alterados; por lo tanto, en un ciclón la energía cinética de la atmósfera es una cantidad pequeña comparada con la energía total.

Cada Kilogramo de vapor de agua que se condensa en una nube o lluvia, libera aproximadamente 540 Kilocalorías; este calor generado hace aumentar la temperatura del aire en los alrededores, incrementando entonces la inestabilidad y apresurando el ascenso del aire, por lo tanto la presión continúa descendiendo y la velocidad del viento aumenta trayendo consigo un incremento en cantidades de aire húmedo caliente de las regiones alrededor de la baja presión.

Con éste proceso se forma un flujo ciclónico hacia el interior, un flujo ascendente cerca del ojo del ciclón y un flujo saliente en el nivel alto, el cual causa y mantiene la baja presión. En tanto se mantengan estas condiciones la tormenta aumentará de intensidad.

Los fenómenos ocurridos en el Océano al paso de un ciclón son que las isotermas debajo de la termoclina disminuyen en profundidad, como fue observado por Leipper en el Huracán CARLA en el Golfo de México; asimismo él analizó que la

superficie del agua fue transportada desde el área por donde pasó el ojo del huracán y que la parte del agua de la superficie removida debajo de la trayectoria del ojo desarrolló una divergencia, la cual produjo una surgencia en las aguas profundas y frías.

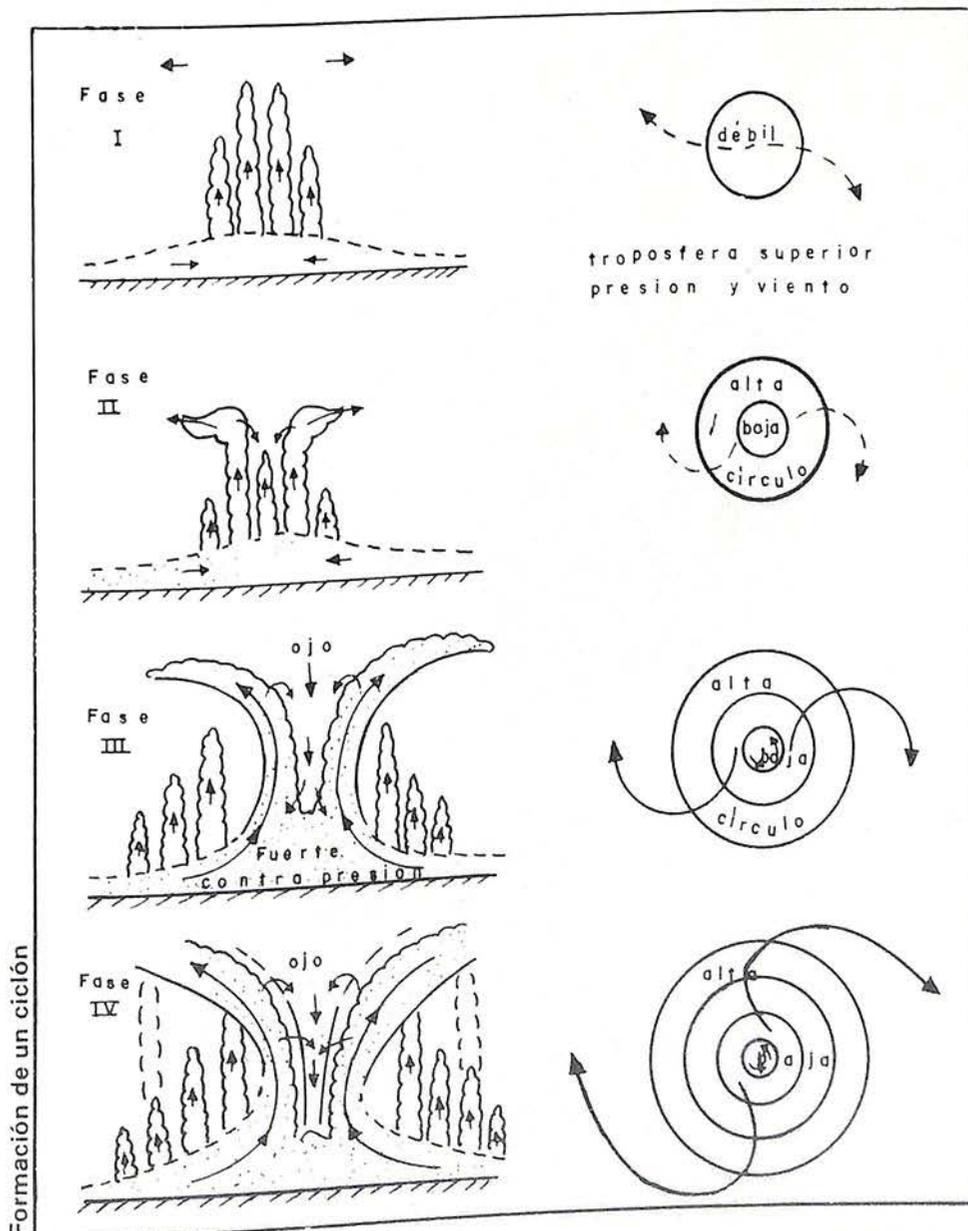
Interpretación de imágenes de satélite.

Con ayuda de las imágenes de satélite en la región visible e infrarrojo del espectro-electromagnético, es posible observar la formación y desarrollo de los ciclones. En ellas se pueden observar las bandas frontales de nubes, las cuales van en espiral al centro de un vórtice y están compuestas usualmente de nubes con-

vectivas y de múltiples nubes Alto Stratus de capas espesas.

En una imagen visible, las nubes Alto Stratus aparecen relativamente brillantes cuando son espesas y a menudo con una apariencia moteada debido a que las variaciones en la espesura de las nubes se forman por la convección dentro de las mismas. Alto Stratus delgados y de un espesor uniforme sin nubes debajo, aparecen semitransparentes y un tanto grises.

En las imágenes de infrarrojo los Altos Stratus aparecen uniformemente grises y con cúmulos; son difícilmente detectables debido a la pequeña diferencia de temperatura entre la parte alta de las nubes y la



temperatura de la superficie de la tierra. Las nubes más altas con la parte superior más fría aparecen brillantes. Los Cumulos Congestus y los grupos de Cumulonimbus son fácilmente localizados en las imágenes infrarrojas. Los Cirrus en la parte más alta de las tormentas son usualmente las nubes más brillantes, es decir las más frías, en las imágenes de infrarrojo.

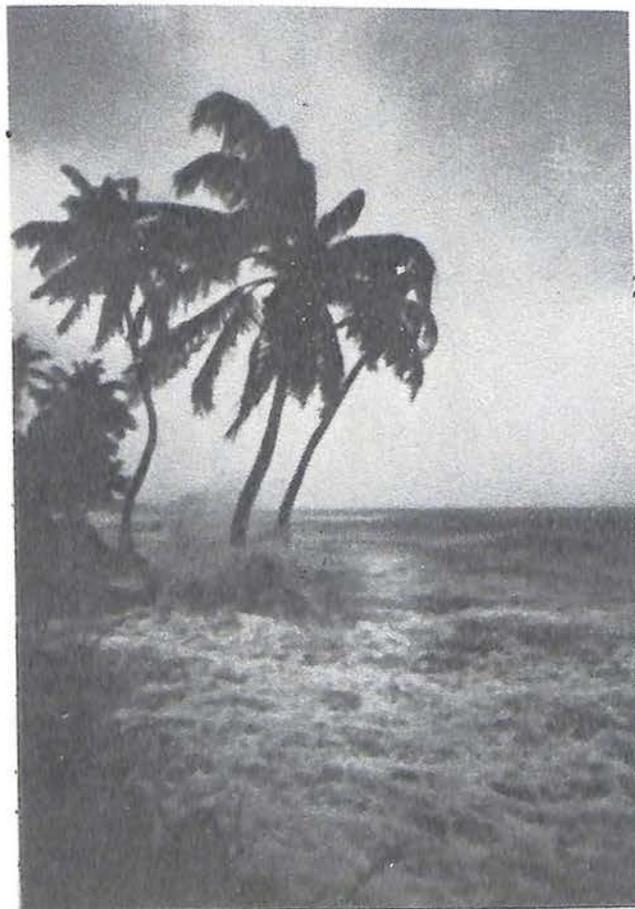
Las bandas frontales de nubes son claramente identificadas debido a que esto ocurre sólo en zonas donde hay fuerte baroclinidad.

Discusión

La fuerza del ciclón HYACINTH fue en aumento después del cuarto día al desplazarse a más altas latitudes, parte debido a la fuerza de Coriolis y también por su trayectoria cercana y similar a la del ciclón GWEN, el cual les sirvió de apoyo para recibir mayor cantidad de humedad y utilizar la energía inicial acumulada en las bandas frontales de nubes.

Del día 9 al 10 de agosto el ciclón tuvo un aumento considerable de fuerza, la cual se mantuvo durante el día 11; considerando la conservación del momento angular ése día, en el ciclón hubo un aumento de intensidad en los vientos y las nubes cirrus alcanzaron mayores altitudes en las cercanías del vórtice debido, en parte, a una disminución en el diámetro del ciclón. Para el día 12 su desplazamiento fue considerable, a una velocidad promedio de 54 nudos y un aumento en 4 grados de latitud; debido a la conservación del momento angular, al haber un aumento en el diámetro del ciclón en un poco más del 25% se observó una disminución de las nubes altas en su totalidad.

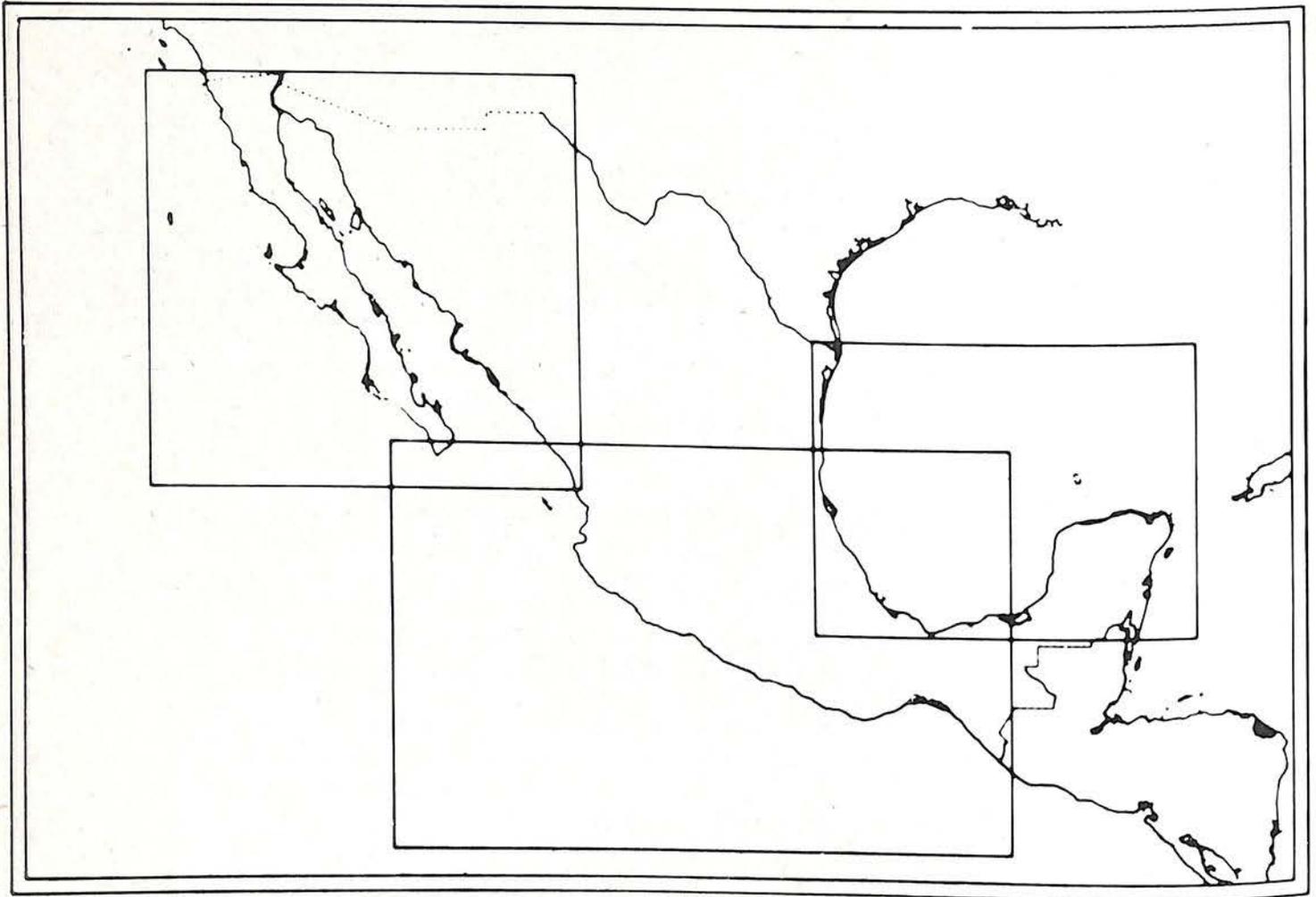
El ciclón HYACINTH empezó a disiparse al encontrar temperaturas más frías en la superficie del mar y menor humedad en la atmósfera; parece que un aire seco y relativamente frío proveniente del continente lo desvió más hacia el oeste en el Océano Pacífico.



La hidrografía como apoyo a la investigación oceanográfica

El uso del mar ha representado, en todas las épocas, factor de excepcional importancia para el progreso de la humanidad, especialmente a partir de la última Guerra Mundial, cuando las nuevas técnicas de exploración de los recursos minerales y biológicos, y la posibilidad de aprovechamiento de las riquezas del fondo y sub-fondo marinos, abrieron nuevas perspectivas de desarrollo económico para los pueblos.

Además de su uso tradicional, como elemento impulsor del comercio marítimo, vía natural del movimiento de mercaderías entre las más distintas regiones del mundo, un nuevo concepto en el uso del mar ha sido dado a los países que cuentan con pocos o extensos litorales, como en el caso de México, al que por medio de una decisión gubernamental, se aumentó su extensión territorial para desarrollar su acción económica en 188 millas náuticas a partir del límite exterior del mar territorial, aumentando su superficie 2.8 millones de Km²



Pero el desarrollo del país no es ni podrá ser el resultado del decreto de ninguna autoridad; el conocimiento de las condiciones reales del medio ambiente marino, su forma y la dinámica del mismo, es requisito indispensable para una adecuada planificación cuyos objetivos finales sean el aprovechamiento integral de los recursos marinos, como base fundamental del desarrollo económico.

Esta información deberá estar al alcance del pueblo en todos sus niveles -desde el científico al pescador- en forma precisa y veraz, facilitando la acción de cada uno en su respectivo medio para que, al conjuntar sus metas parciales, se esté contribuyendo al desarrollo de una actividad nueva, fascinante y con grandes posibilidades.

Las cartas náuticas elaboradas por la Dirección General de Oceanografía

de la Secretaría de Marina, representan esa información tan útil como necesaria para los diferentes proyectos marítimos. Estos documentos contienen valiosa información de carácter técnico que, además de ser útiles en su uso tradicional como guías para los marinos, tienen otras muchas aplicaciones en los diferentes componentes del poder marítimo, notoriamente expuestos en la expansión de la flota mercante, el Plan Nacional Pesquero, la Industria de la Construcción y Reparación Naval, las investigaciones oceanográficas en el mar territorial y zona económica exclusiva y otras, de aplicación vital para el desarrollo y seguridad nacional.

Dentro de este contexto resalta la importancia que tiene la Hidrografía como actividad de infraestructura para el desarrollo económico y para el fortalecimiento de su poder

marítimo, en la medida que tales actividades hidrográficas sean indispensables para el estudio preliminar y planeamiento básico de cualquier actividad humana sobre aguas y tierras marginales, tales como:

- El estudio y proyecto de obras de mejoramiento portuario, (dragados rellenos, etc.).
- El estudio y proyecto de obras de mejoramiento portuario, (dragados rellenos, etc.).
- La orientación de las actividades pesqueras con bases racionales.
- El planeamiento de investigaciones geofísicas con el fin de localización de depósitos minerales en el fondo y subfondo marinos, cuya probabilidad de existencia es mayor en función de la discontinuidad geológica detectada en las bruscas alteraciones del relieve submarino.

● La complementación de los estudios de Oceanografía Física, Química y Biológica, situándolos en función de la profundidad.

● El planeamiento de operaciones anfibas así como para el establecimiento de un eficiente sistema de defensa nacional.

● Determinación de los lugares precisos para el vertimiento de residuos oleosos, de tal forma que no permitan el deterioro del medio ambiente marino.

● Tendido de cables submarinos.

Todas estas y otras aplicaciones concurren hacia la obtención de un racional desarrollo marítimo.

La Hidrografía como ciencia-arte, tiene como propósito la determinación exacta de la configuración y dimensiones de los océanos, mares, ríos y lagos, para garantizar la seguridad de la navegación y publicar los resultados obtenidos en forma adecuada al uso de los marinos.

La Oceanografía, por su parte, es comparada con la Hidrografía, como palabra más apropiada para definir el estudio del mar. Oficinas de otros países han cambiado sus nombres seculares; por este motivo nuestro país lo ha hecho. Viejos hidrógrafos discuten, sin llegar a ponerse de acuerdo, si lo que en nuestra época se conoce por Oceanografía es una rama de la Hidrografía, o si por el contrario esta es parte de aquella, o bien si son dos disciplinas diferentes: una en el estudio de la forma, otra en el de las propiedades.

Sin entrar en polémicas, cada una tiene su campo de acción perfectamente definido y las razones técnicas, políticas o administrativas para el cambio, se dejan fuera para abocarse cada una a las áreas de responsabilidad que le son intrínsecas.

Al adentrarse en el estudio general, como inmensa planicie lí-

quida que cubre 3/4 partes del globo llamado terrestre, se piensa inmediatamente en esta vasta área; más es imposible separar de esta idea la existencia de los abismos que llena esa masa de agua y la de otro océano aún mayor: la atmósfera, que está siempre presente en toda actividad marinera.

Conocer la forma, la naturaleza y la dinámica de todo aquello es por lo tanto importantísimo para el hidrógrafo y para el oceanógrafo.

En esto está la esencia de la misión atribuida por los gobiernos a sus servicios hidrográficos: obtener y ofrecer adecuadamente a los hombres de mar, conocimientos del ambiente en que irán a operar.

La ejecución de levantamientos hidrográficos, la publicación de cartas náuticas y la difusión de la información recabada en forma adecuada, son las misiones básicas de la hidrografía; misiones que en nuestro país son relativamente nuevas en comparación con oficinas de otros países y aún entre las que realizan trabajos similares pero en la parte continental de nuestro país.

A partir del año de 1960 en que se creó la Dirección de Faros e Hidrografía, se iniciaron los trabajos tendientes a cimentar lo que actualmente es la Dirección General de Oceanografía, principiando en el año de 1967 los levantamientos Hidrográficos en las costas nacionales, ya con personal mexicano y equipo moderno.

Las primeras acciones tendientes a cumplir con los propósitos para los que fue creada esta Dirección, fueron las de editar en idioma español las principales publicaciones de ayuda a la navegación existentes en otra lengua y que tanta falta hacían para que los marinos mexicanos, y todas aquellas personas ligadas en alguna forma al medio marítimo, pudieran al interpretarlas adecuadamente, servirse de ellas como complemento a sus conocimientos.

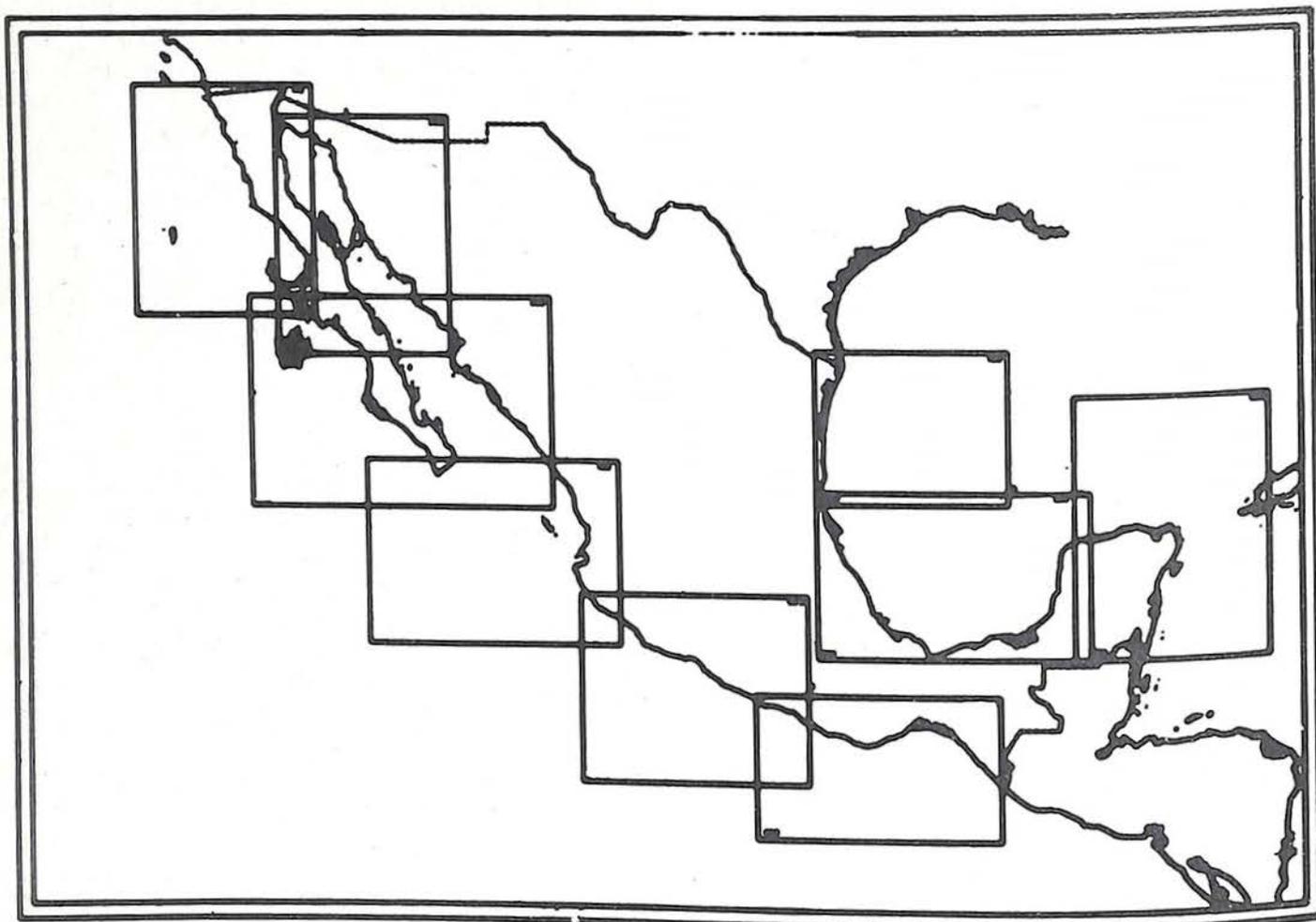
A la fecha, los derroteros de las costas de México, América Central y Colombia, continúan vigentes y se actualizan periódicamente con el fin de que mantengan su interés, y su consulta es obligada para la planeación de cruceros marítimos y oceanográficos.

El cuaderno de faros y la publicación mensual "Avisos a los Marinos", constituyen otra fuente de información, imprescindible en todo cuarto de derrota, mostrando en ella la señalización náutica de nuestras costas con pormenorizado resumen de sus características más importantes, así como las novedades ocurridas en el mes próximo anterior sobre el mismo señalamiento o sobre correcciones a los derroteros, en lo referente a accidentes topográficos submarinos recién descubiertos, levantamientos hidrográficos, obras efectuadas por el hombre, etc.

El "Almanaque", publicación técnica que no debe faltar en los buques, ya sean estos mercantes, de guerra o que realicen investigaciones oceanográficas, y cuya validez se inicia desde la planeación de un crucero, durante la realización del mismo y hasta su conclusión.

Los calendarios gráficos de mareas, cuya publicación se realiza en forma conjunta con el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, constituyen la publicidad más eficiente sobre una actividad específica de la Hidrografía: la divulgación de la información mareográfica, de utilidad para diversos proyectos de ingeniería de costas, de cruceros marítimos, de levantamientos batimétricos, pesca, etc.

En los años inmediatos a la creación de la Dirección de Faros e Hidrografía, se vio la necesidad de publicar cartas náuticas mexicanas, las cuales estuvieran en cualquier momento al alcance de todos los usuarios nacionales y extranjeros, estableciendo un convenio con la Oficina Hidrográfica de los Estados



Unidos de Norteamérica para publicar las cartas por ellos editadas, con las correspondientes leyendas en español y con la responsabilidad legal que esa acción imponía a la oficina mexicana correspondiente.

Bajo ese sistema se editaron las siguientes cartas:

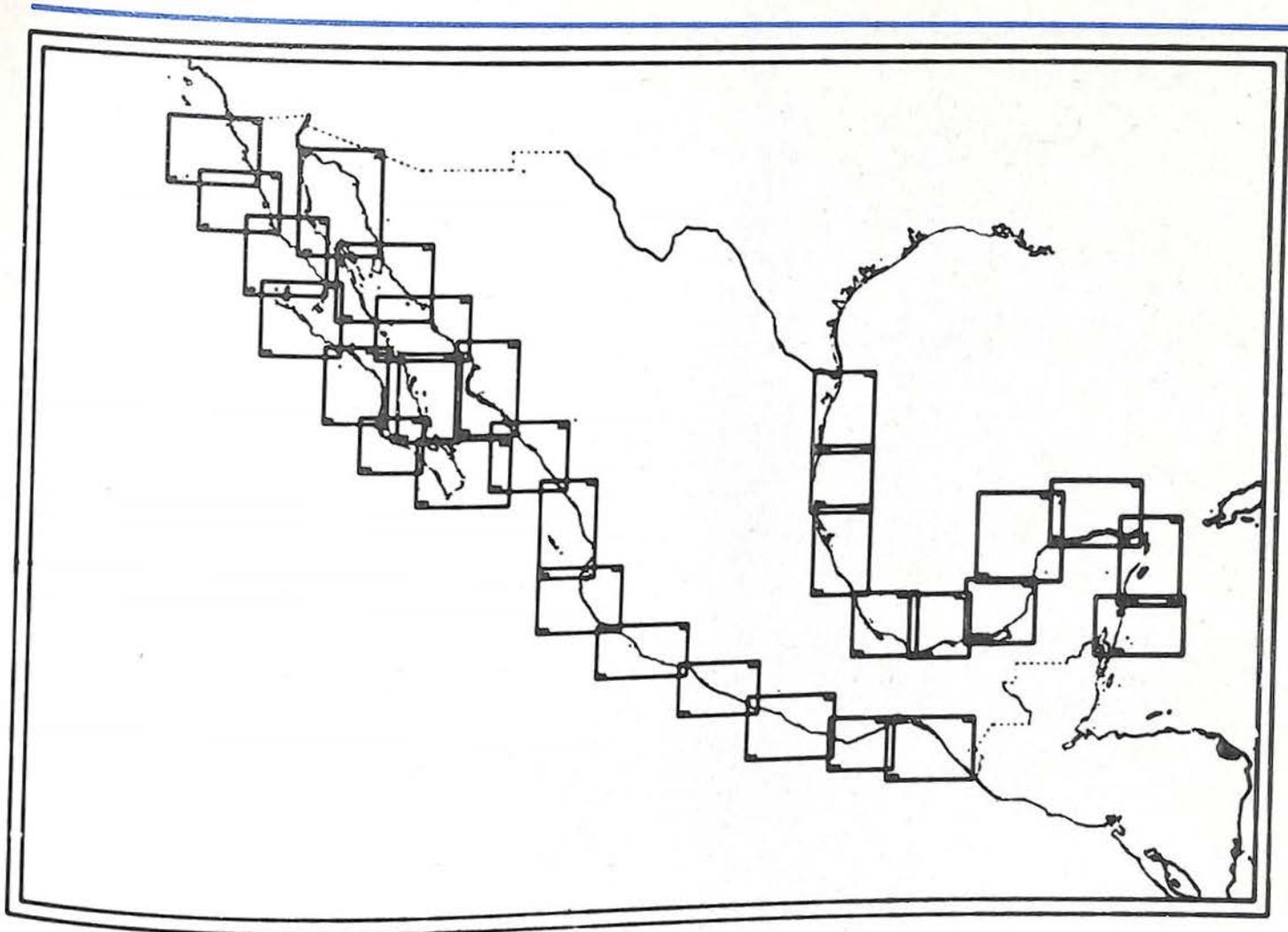
- 600 De Sn. Diego a Sn. Quintín.
- 601 De Sn. Quintín a Punta Eugenia.
- 602 De Punta Eugenia a Cabo Sn. Lázaro.
- 603 Golfo de California - Parte Norte
- 604 Cabo Sn. Lázaro a Cabo Sn. Lucas y parte Sur del Golfo de California.

- 605 De Sn. Lucas a Manzanillo.
- 606 De Manzanillo a Punta Maldonado.
- 607 De Punta Maldonado a Puerto Madero.
- 1200 Isla Clipperton.
- 500 De Tampico a Progreso
- 502 Tampico a Punta del Morro.
- 020 Mazatlán a Puerto Madero.
- 610 Ensenada a Mazatlán incluyendo Golfo de California.

Todas estas publicaciones, cuyo origen se remonta al siglo pasado,

han venido sufriendo modificaciones de acuerdo al progreso y al desarrollo de técnicas en la medición de la profundidad, por lo que mantienen su utilidad para los fines para los que fueron creadas; sin embargo, al aumentar el calado de los buques, su velocidad, mejorar sus sistemas de posicionamiento y para los fines de la investigación oceanográfica, se requiere de una modernización que señale con la precisión que exige la era actual, misma que no debe pasar de un tiempo razonable mientras se inicia el despegue definitivo hacia la era de la explotación del mar.

A partir del año de 1971 se iniciaron en México los levantamientos hidrográficos, realizados con personal mexicano; por la necesidad apremiante de conocer la morfología de los puertos en servicio y los que recién se construían, los levantamientos se orientaron a la elaboración de cartas náuticas de los



mismos, y así se publicaron a partir de esa misma fecha los portulanos de:

San Carlos, B.C.S., Mazatlán y proximidades, Mazatlán, Ensenada, Bahía de Todos Santos, Salina Cruz y proximidades, San Carlos, Son., Puerto Lázaro Cárdenas, Acapulco, Acapulco y proximidades, Guaymas, Guaymas y proximidades, Puerto Madero y Cabo San Lucas, todos ellos en el Océano Pacífico; y los de Campeche, Progreso Yukalpetén y Coatzacoalcos-Pajaritos en el Golfo de México. En este momento se concluyen los trabajos de campo correspondientes a los levantamientos hidrográficos que se efectúan en Isla Mujeres, Isla Cancún e Isla Cozumel.

La cartografía recién elaborada de los puertos mencionados, es precisa, confiable y veráz ya que cuenta con el apoyo terrestre especificado para ese tipo de trabajos, complementada en sus detalles por

fotografía aérea reciente y editada bajo un estricto control de calidad. Estas cartas, bajo el convenio celebrado con el servicio hidrográfico de los E.E. U.U., son publicadas por ellos, respaldando íntegramente la calidad de los levantamientos.

A partir del año de 1979, y sin descuidar los levantamientos en los puertos que faltan y la actualización de aquellos que lo requieran, se iniciarán los trabajos que darán origen a las cartas en escala 1:250,000 cuya utilidad inmediata, además de su uso como la carta más adecuada para la navegación costera, permitirá conocer con alto grado de exactitud la forma, características físicas más importantes de la plataforma continental y de una gran extensión de la Zona Económica Exclusiva.

La elaboración de estas cartas obedecerá a un Plan Nacional de la Cartografía Náutica, en el cual se encuentran divididas las costas

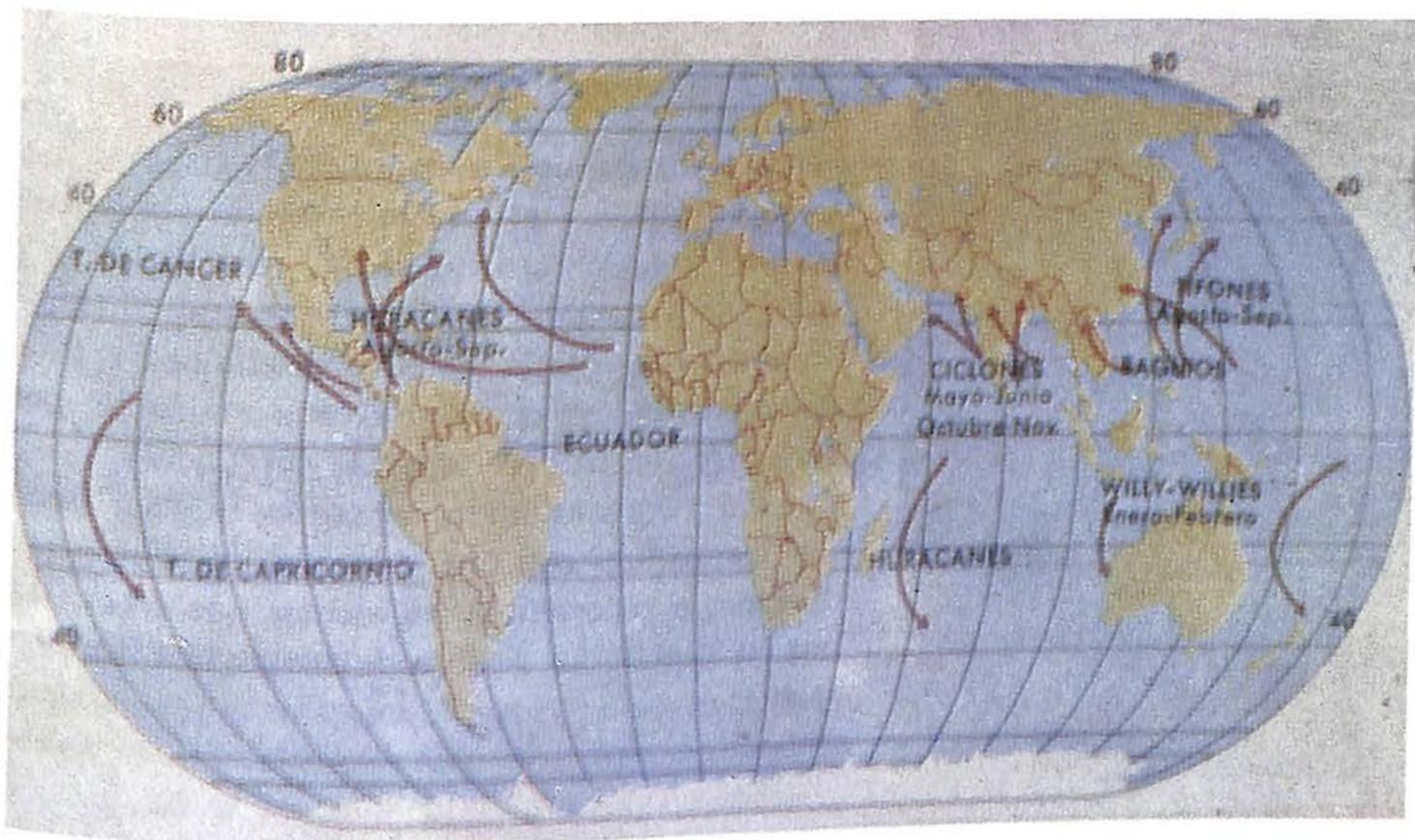
nacionales y la Zona Económica Exclusiva, en áreas perfectamente definidas de acuerdo a los fines a los que se destina su escala o terreno a representar.

La línea general de acción a desarrollar, recalca la importancia de planear previamente la cobertura cartográfica nacional, que será materializada a medida que se vaya cumpliendo con el programa de Levantamientos Hidrográficos, el cual prevee estos de acuerdo a la importancia de la zona a ser levantada.

Los Levantamientos Hidrográficos y la Cartografía Náutica comprendida en el Plan Nacional Oceanográfico, darán el apoyo adecuado a los trabajos oceanográficos, a la navegación, a la pesca, y en general a todas las obras que se ejecuten en el área que cubren, y justificará plenamente la inversión que se haga en su obtención

Estudio sobre la circulación de las aguas en la parte occidental del Atlántico Ecuatorial





En los meses de julio, agosto y septiembre del año de 1974, México participó en la operación internacional GATE, cuyo objeto principal fue la meteorología y la interacción océano-atmósfera en la zona tropical y ecuatorial del océano Atlántico. La participación mexicana en este evento se efectuó por medio del buque oceanográfico "Mariano Matamoros".

El buque se trasladó hacia el área y permaneció durante 21 días en el primer punto asignado ($06^{\circ}30'N - 048^{\circ}30'W$) situado a unas 250 millas náuticas frente a la costa de la Guayana Francesa. Terminado este periodo, se efectuaron tres secciones oceanográficas perpendiculares al continente sudamericano, entre la latitud $4^{\circ}N$ y el Ecuador. Posteriormente, el buque se trasladó al segundo punto asignado ($08^{\circ}30'N - 045^{\circ}30'W$) donde permaneció durante 16 días, para después regresar a Barbados y México.

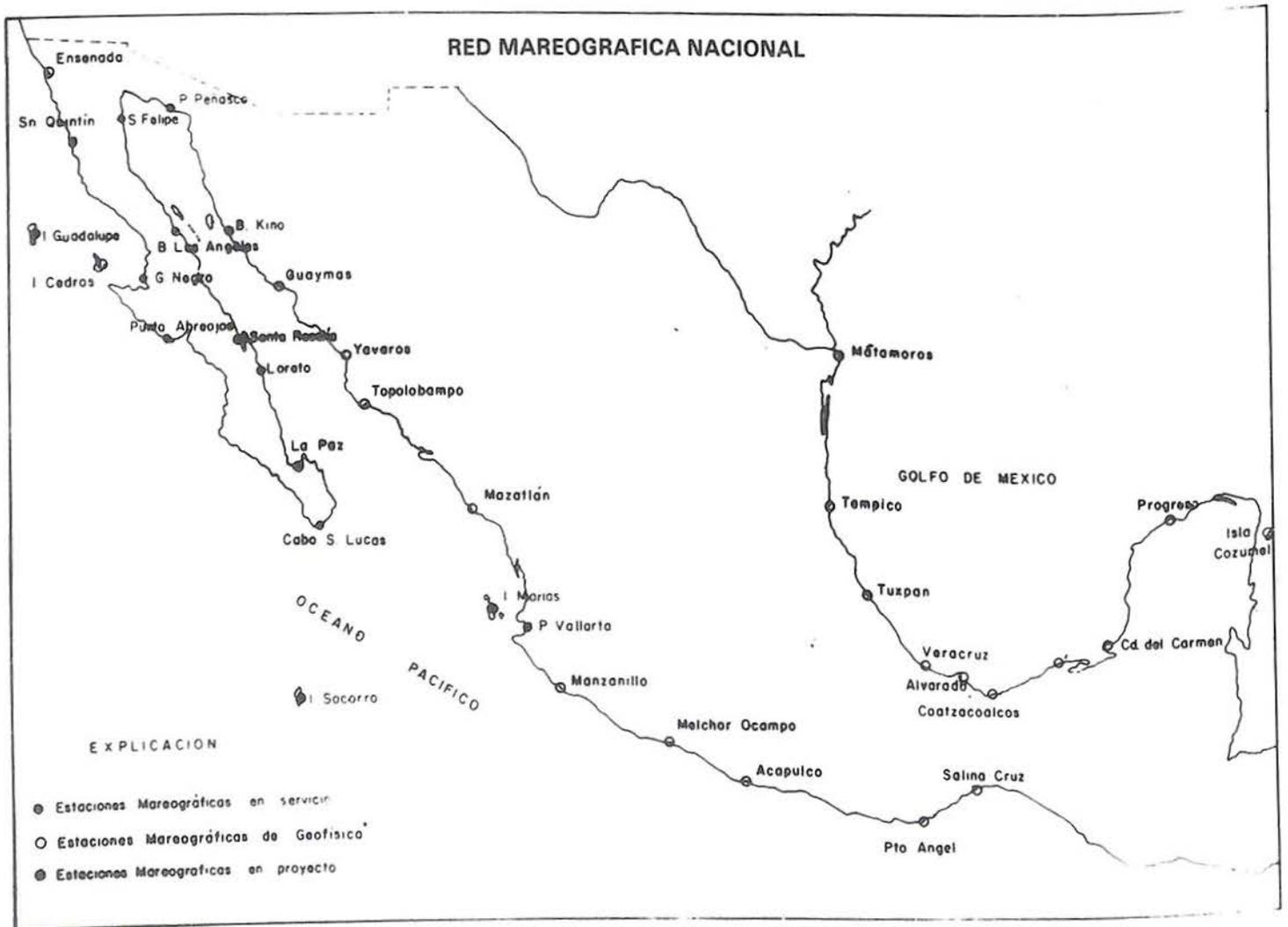
Dentro del programa oceanográfico se investigaron la estructura

termohalina en la capa superior hasta 1,000 m. de profundidad, su variación y la oscilación periódica. Asimismo se estudió la circulación de las aguas en el área, y en particular, la penetración del afluyente del río Amazonas hacia este y noreste.

Como resultado de estas investigaciones se constató que las aguas del río Amazonas se extendían en una capa delgada (10m.) en la superficie detectable a unas 300 millas náuticas hacia el este. También se pudo observar que la mayor parte de la corriente del Brasil Norte se desvía hacia el este, formando el inicio de la contracorriente ecuatorial en vez de continuar en dirección al Mar Caribe como antes se creía. Las observaciones en los puntos fijos revelaron una periodicidad en la corriente de 3 a 5 días y otra de 14 a 18 días.

También se pudo constatar que las aguas de elevada salinidad, observadas en capa de 50-100 m., vienen del hemisferio sur.

La mareografía en México



Las primeras observaciones mareográficas sistemáticas en puertos mexicanos, las realizó el Servicio Geodésico Interamericano en colaboración con la Secretaría de la Defensa Nacional y datan desde 1942 en los puertos de Tampico, Tamps. y Coatzacoalcos, Ver.; Progreso, Yuc., en 1946; Acapulco, Gro. 1949; La Paz, B. C. y Guaymas, Son., 1959, y Salina Cruz, Oax., 1952. Esta información obtenida fue procesada por el Coast and Geodetic Survey y fue utilizada para el control terrestre vertical en la elaboración de la carta 1:500,000.

A partir de 1952, el Instituto de Geofísica de la UNAM, en colaboración con el Servicio Geodésico Interamericano y la Secretaría de Marina, se hicieron cargo de la Red Mareográfica, así como de los estudios inherentes.

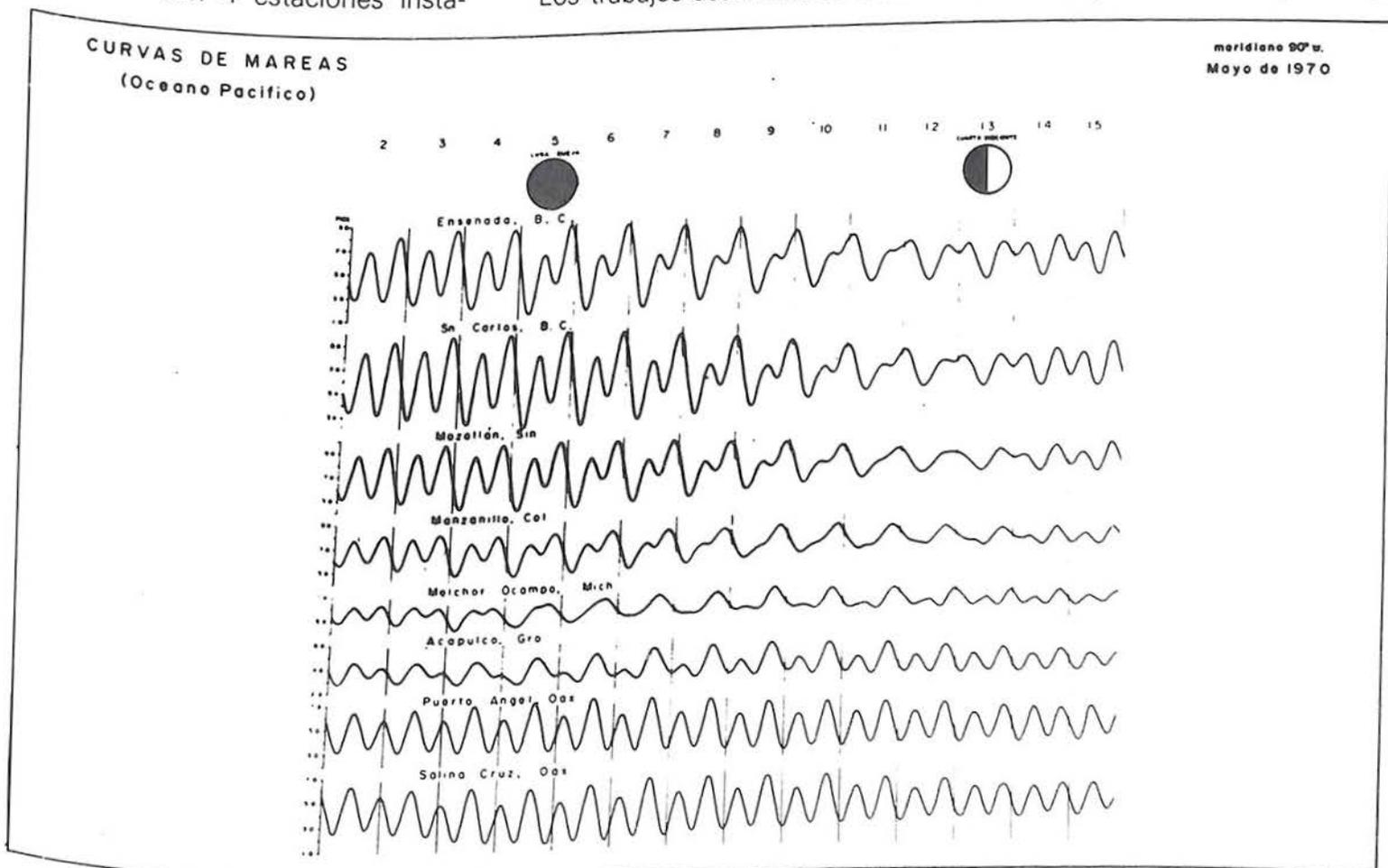
La Red Mareográfica empezó a funcionar con 4 estaciones instala-

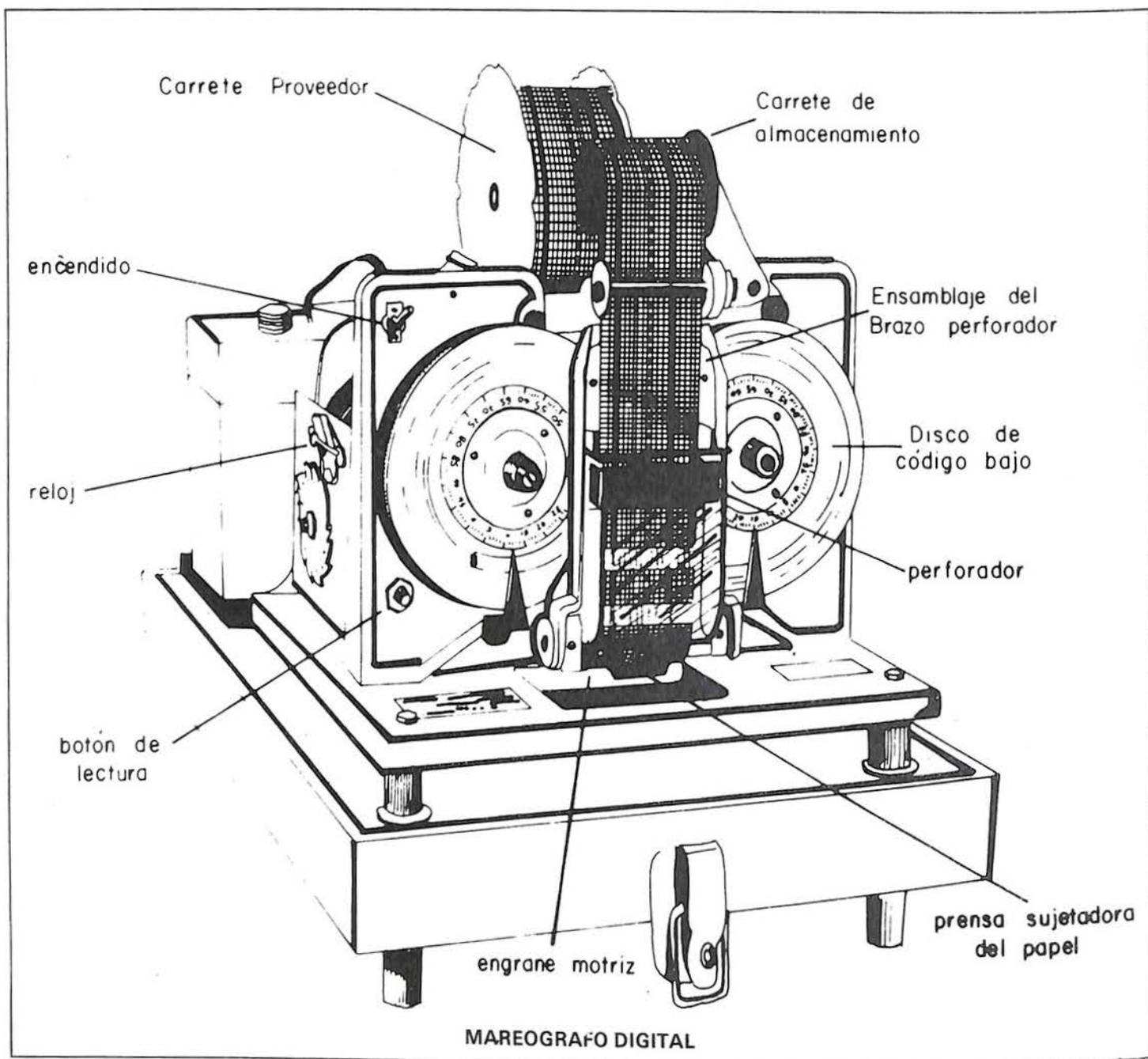
das en el Golfo de México y 5 en el Océano Pacífico; a través de los años fue aumentándose el número de estaciones facilitando, el Servicio Geodésico Interamericano, los mareógrafos; la Secretaría de Marina las casetas de mampostería, y encargándose el personal del Instituto de Geofísica, de la instalación, mantenimiento, interpretación, cálculo y publicación de la información mareográfica obtenida. Esta información ha sido básica para proyectar y construir todo tipo de obras portuarias, servicios de alcantarillado, aeropuertos próximos al mar, delimitación de la Zona Federal Marítima Terrestre, punto de partida y llegada de las nivelaciones de precisión de las Redes Geodésicas, levantamientos hidrográficos, registros de Tsunamis y estudios geofísicos.

Los trabajos desarrollados fueron

como sigue: Se calcularon las constantes armónicas y se hicieron los pronósticos de mareas año con año, de 34 puertos distribuidos en las costas del Golfo de California, Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. En los Anales del Instituto de Geofísica del año de 1969, vol. 14, se publicaron las constantes armónicas para 23 estaciones mareográficas y a partir de entonces se han calculado para 11 lugares más, instaladas 7 de ellas por el CICESE.

El Instituto de Geofísica y la Dirección General de Obras Marítimas publican anualmente las Tablas de Predicción de mareas para los litorales del Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe, y la Dirección General de Oceanografía, en colaboración con Geofísica y el CICESE, edita otro volumen que contiene la predicción





para los puertos de: Islas Marías, Nay., Cabo San Lucas, Guerrero Negro, Loreto, Bahía de los Angeles y San Felipe.

La Dirección General de Oceanografía y el Instituto de Geofísica realizan la publicación del pronóstico de mareas en forma gráfica, de los principales puertos. La presentación gráfica de la marea ha tenido una gran aceptación por su utilidad práctica y comprensión, aún para la gente de escasos conocimientos en la materia, permitiendo a los pescadores profesionales, a quienes se dedican a la pesca deportiva y a

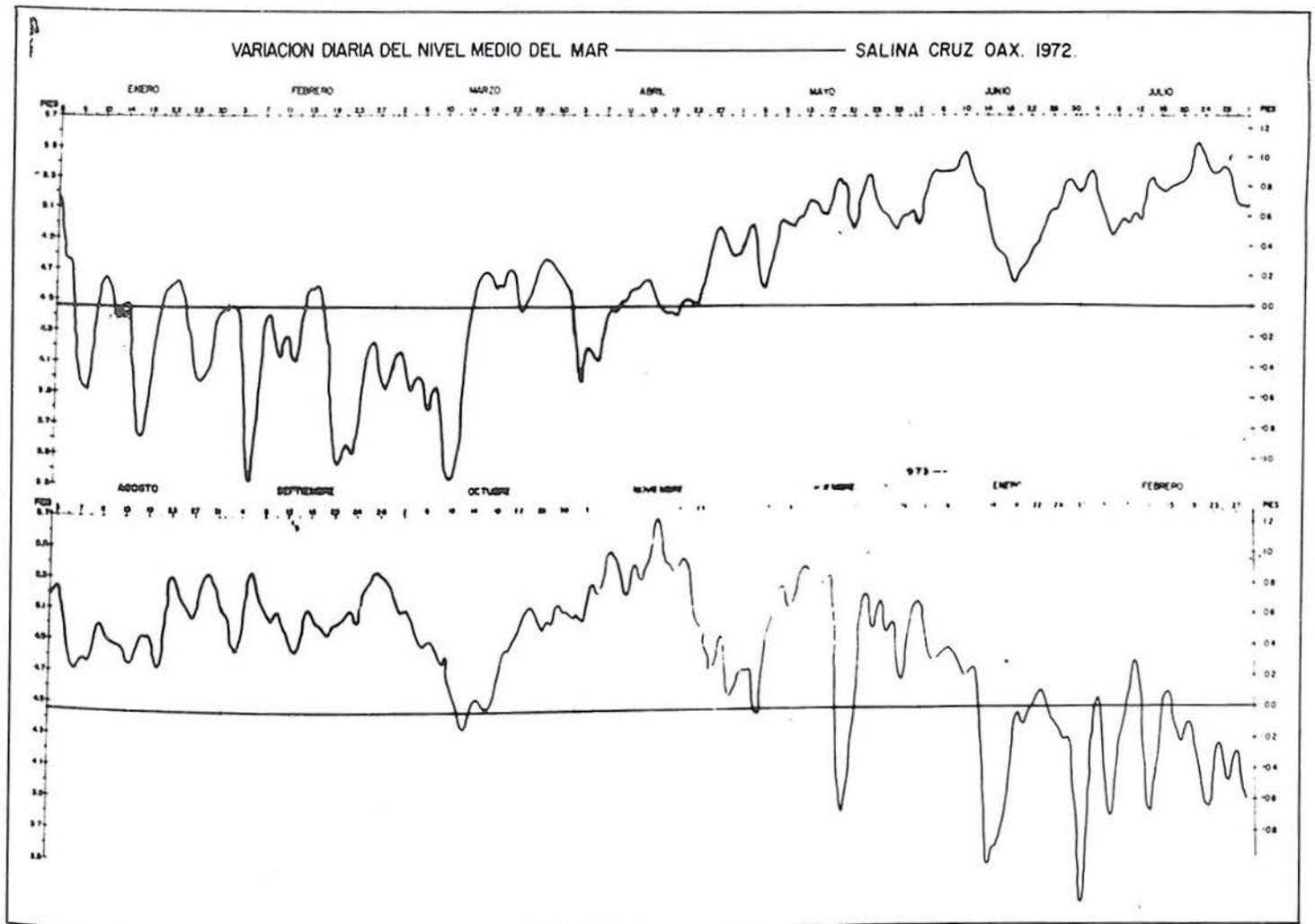
todas las personas que tienen conexión con las actividades del océano, programar sus actividades en el mar.

Por medio de un estudio mareográfico se detectaron levantamientos de la corteza terrestre en Acapulco, Gro., y Puerto Angel, Oax.

El 11 y 19 de mayo de 1962 se registraron series de temblores de intensidades de 6.6 y 6.5 de la escala de Richter. Los sismógrafos de Tacubaya no registraron ningún movimiento débil precursor del primer gran temblor; los temblores de Acapulco, ocurridos en mayo de

1962, constituyeron un enjambre de sismos producidos en la misma región localizada mar afuera, dentro de una área pequeña en la Fosa de Acapulco.

El mareógrafo en Acapulco registró ligeros maremotos el 11 y 19 de mayo; tomando en cuenta que los tiempos del mareograma no pueden leerse con una precisión mayor de medio minuto en el mejor de los casos, estimamos que la onda del maremoto tardó 9 minutos en recorrer los 100 Km que aproximadamente separaron el epicentro del puerto de Acapulco, con una ve-



localidad media de unos 666 Km. por hora; a partir de esa fecha se notó un descenso en el nivel del mar, el cual no se ha recuperado.

Para evaluar el desplazamiento de la corteza terrestre se realizaron determinaciones mensuales del nivel medio del mar en los períodos de 1952-1960 y durante 1963-1966, con valores directos sobre el cero original de la regla de mareas; las gráficas nos muestran claramente el desplazamiento sufrido, que es del orden de 0.227 m. en la zona donde se encuentra localizada la estación mareográfica. La extensión del desplazamiento y la inclinación no la conocemos.

Al establecer una comparación entre los niveles medios anuales del mar, de las estaciones mareográ-

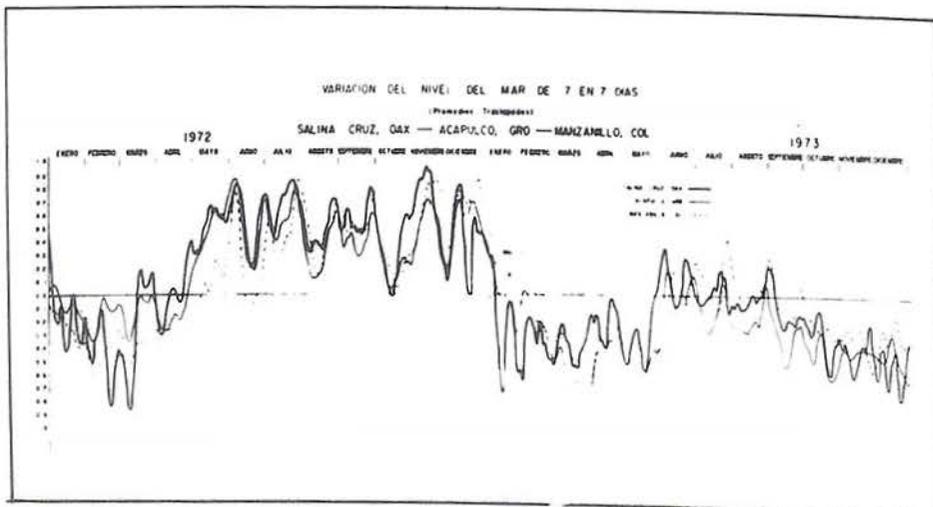
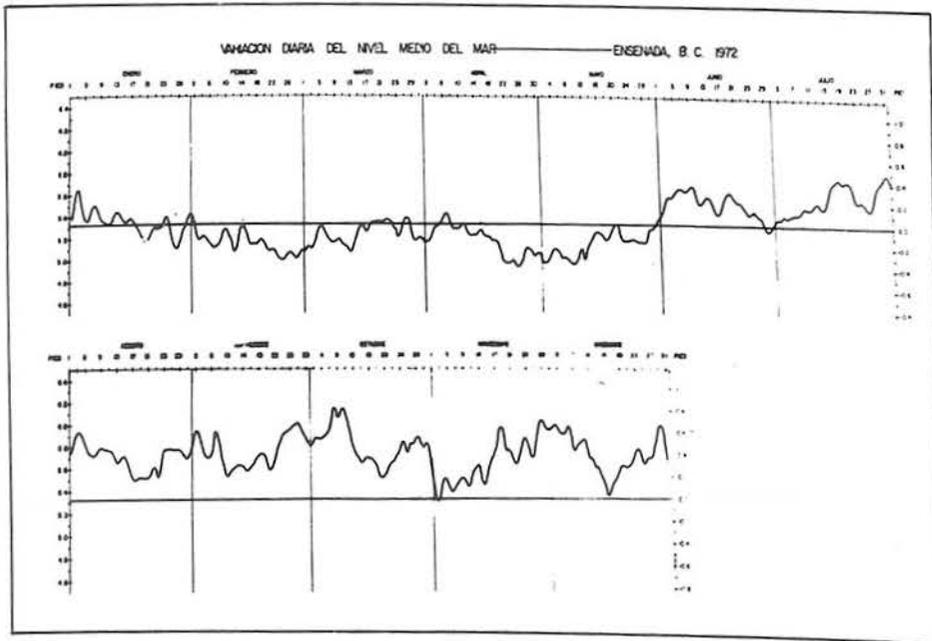
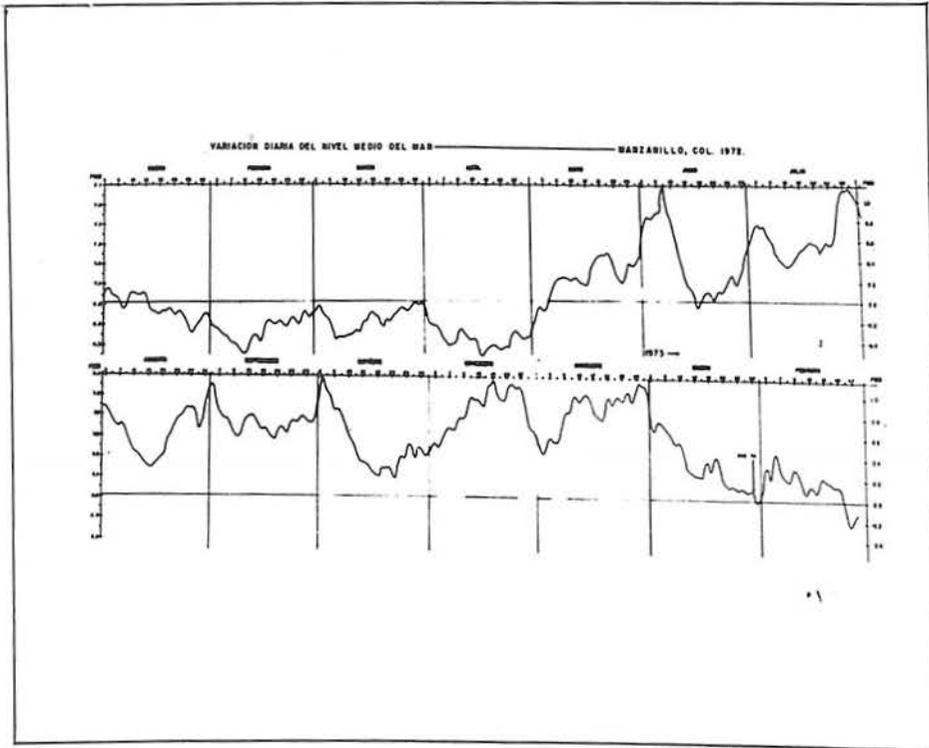
ficas de Salina Cruz y Puerto Angel, Oax., Acapulco, Gro., y Manzanillo, Col., se observó una anomalía en el nivel medio del mar. Con objeto de detectar con más precisión la fecha de ocurrencia de esta anomalía y determinar las posibles causas de ella, se realizaron filtrajes numéricos utilizando el filtro D 19 de Groves, y mediante la computadora del CSC de la UNAM se obtuvo un registro reducido de las oscilaciones de corto período a las 0h y 12 h, es decir, se eliminaron los componentes diurnos y semidiurnos de la marea quedando las variaciones de largo período.

Observándose que hubo una gran actividad sísmica en la región, a partir del 17 de enero de 1966 en que ocurrió un sismo, se observó en la gráfica un descenso progresivo del nivel medio diario del mar, el cual no ha vuelto a recuperarse hasta la

fecha. Los días 23 y 24 de enero se registraron más de 130 pequeños sismos en la estación sismológica P B J (Presa Benito Juárez), localizada a 150 Km. aproximadamente de Puerto Angel; el día 26 del mismo mes ocurrió un sismo de 4.7 subiendo el nivel hasta el día 28 en que bajó rápidamente.

Se calculó la anomalía por medio de las observaciones mareográficas realizadas de abril de 1964 a enero de 1966 a diciembre de 1970, siendo la anomalía de 0.466 pies, o sea 14 cm., magnitud aproximada del levantamiento de la corteza terrestre, sin poder determinar su extensión.

Con el fin de dar a conocer en forma gráfica las variaciones que causaron al nivel medio del mar los diferentes fenómenos meteorológicos y sísmicos que se originaron en el período de 1952 a 1973, se



publicó en "Datos Geofísicos" Serie A, Oceanografía 2 y 3, del Instituto de Geofísica, toda la información obtenida de las estaciones de Salina Cruz, Oax., Acapulco, Gro., Manzanillo, Col., Mazatlán, Sin., La Paz, B. C. S., Topolobampo, Sin., Guaymas, Son., y Ensenada, B.C.

En estas publicaciones se presentan las variaciones anuales del nivel medio del mar, variaciones mensuales y variaciones diarias anuales así como las gráficas de variaciones mensuales de temperatura y salinidad y presión atmosférica.

Los efectos de la interacción Océano-Atmósfera son fenómenos que deben estudiarse en conjunto, en forma simultánea y a gran escala, pues muchos de estos fenómenos se originan lejos de nuestras costas (nortes, huracanes, marejadas, corrientes, etc.), pero sus efectos se dejan sentir al tocar o pasar cerca de nuestras costas. Algunos de los efectos que sobre el nivel del mar originan los fenómenos meteorológicos, son grandes olas azotando las playas, abatimientos y elevaciones del nivel del mar debido al arrastre del agua por el viento o por las corrientes oceánicas, ondas de largo período originadas lejos de nuestras costas, etc.; los cambios en la presión atmosférica, son el principal agente en la variación del nivel del mar, teniendo un efecto instantáneo: el efecto combinado de presión y viento tiene más efectividad en la variación del nivel del mar, debido al empuje del viento sobre la superficie del mar.

El Golfo de Tehuantepec es la región más afectada por los vientos del norte que abaten el nivel del mar a causa de su empuje, dando lugar a afloramientos de aguas frías, profundas, ricas en nutrientes y provocando gran productividad primaria y alimento para las especies marinas como el atún; también se origina un complicado sistema de corrientes marinas debido al desalojo de las aguas calientes superficiales.

Resultados de las investigaciones biológicas, químicas y físicas en el Pacífico mexicano



A principios de 1975 se inició un proyecto cuyo objetivo principal fue el estudio de la capa anóxica (mínimo oxígeno) a lo largo de la costa del Pacífico mexicano y el Golfo de California, incluyendo su localización, extensión, dinámica y consecuencias sobre la biota marina.

Para tal fin se efectuaron siete cruceros oceanográficos, de los cuales cuatro se realizaron en 1975 y tres en 1976, a bordo del Buque Oceanográfico "Dragaminas Veinte", abarcando trabajos de Biología, Física, Química, Geología y observaciones meteorológicas.

Area de estudio

Comprende desde la desembocadura del Río Colorado hasta el Río Suchiate. Las campañas oceanográficas realizadas fueron las siguientes:

Crucero Oceanográfico OSM-DM-20-75-01 (Fig. 1), del 25 de febrero al 23 de marzo de 1975, en el área de Acapulco, Gro., a la Paz, B. C. El programa comprendió 14 transectos con 3 estaciones en cada uno; la separación de cada transecto fue 56 millas, al igual que la separación entre cada estación. Se muestrearon un total de 72 estaciones.

Crucero Oceanográfico OSMDM-20-75-02 (Fig. 2), del 15 al 31 de mayo de 1975. El área comprende de Acapulco, Gro., a 600 millas mar afuera en el paralelo $16^{\circ} 55'$ y el meridiano $110^{\circ} 00'$ hasta Cabo San Lucas, con 8 estaciones en la periferia y 6 estaciones en 2 transectos con una separación de 56 millas, haciendo un total de 14 estaciones.

Crucero Oceanográfico OSM-DM-20-75-07 (Fig. 3), del 16 de agosto al 1^o de septiembre de 1975,

en el área del Golfo de California, comprendiendo de la Paz, B. C., a Isla Tiburón. Se realizaron muestreos en 6 transectos distantes uno del otro en 40 millas aproximadamente, con un total de 27 estaciones; el número de estaciones por transecto, así como la distancia entre las mismas fue variable.

Crucero Oceanográfico OSM-DM-20-75-09 (Fig. 4), del 21 de noviembre al 12 de diciembre de 1975, en el área del Golfo de California. Un solo transecto con 3 estaciones de variación diaria; los muestreos fueron cada 4 horas durante un período de 24 horas.

Crucero Oceanográfico DM-20-76-01 (Fig. 5), del 17 de febrero al 9 de marzo de 1976, en el área del Golfo de California.

Se muestreó en un transecto con 3 estaciones de variación diaria, igual que en el crucero anterior, en 24 horas con muestreos periódicos cada 4 horas.

Crucero Oceanográfico OSM-DM-20-76-03 (Fig. 7), del 1^o al 20 de mayo de 1976, en el área de Acapulco, Gro., a Puerto Madero,

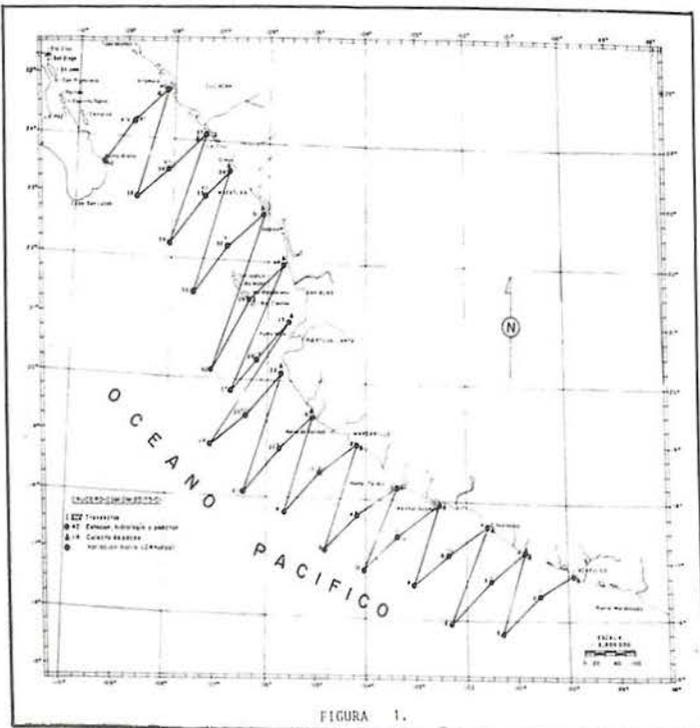
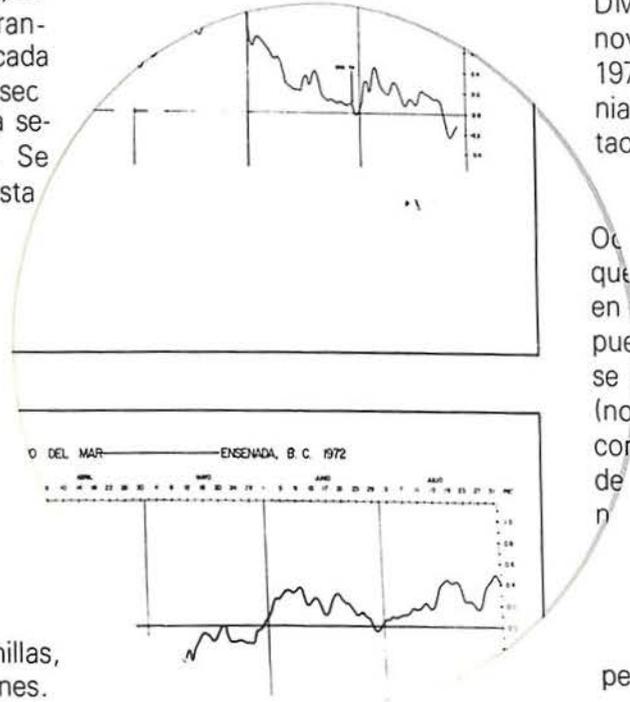


FIGURA 1.



Chis. Se muestrearon 14 transectos con 73 estaciones. La separación de los transectos fue de 20 millas y la separación entre cada estación fue variable.

Crucero Oceanográfico OSM-DM-20-76-07 (Fig. 6), del 10 al 31 de octubre de 1976, en el área del Golfo de California, comprendiendo de



Puerto Peñasco, Guaymas, Son. Se muestrearon 7 transectos, con un total de 27 estaciones. Las 3 estaciones situadas al Norte fueron de variación diaria, al igual que las anteriores durante 24 horas.

En la figura 8 se resumen las actividades realizadas en el período 1975- 76, con 144 singladuras en un recorrido aproximado de 14.753 millas náuticas.

Los muestreos comprendieron un total de 234 estaciones, 9 de ellas de variación diaria (24 horas)

TRABAJOS EFECTUADOS

Oceanografía biológica

Complementando el objetivo anterior se tuvo por finalidad la inves-

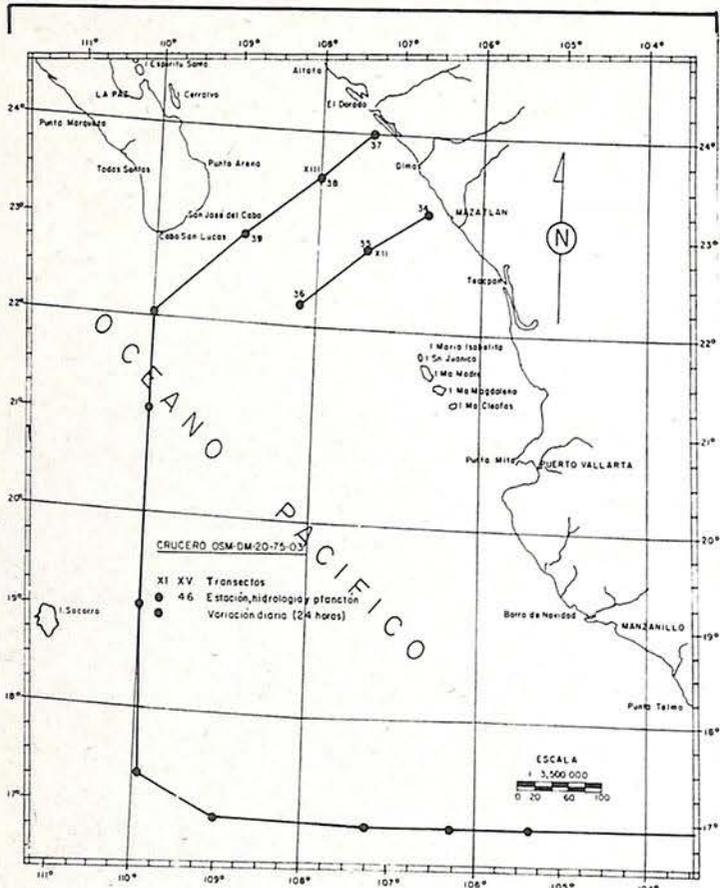


figura 2.

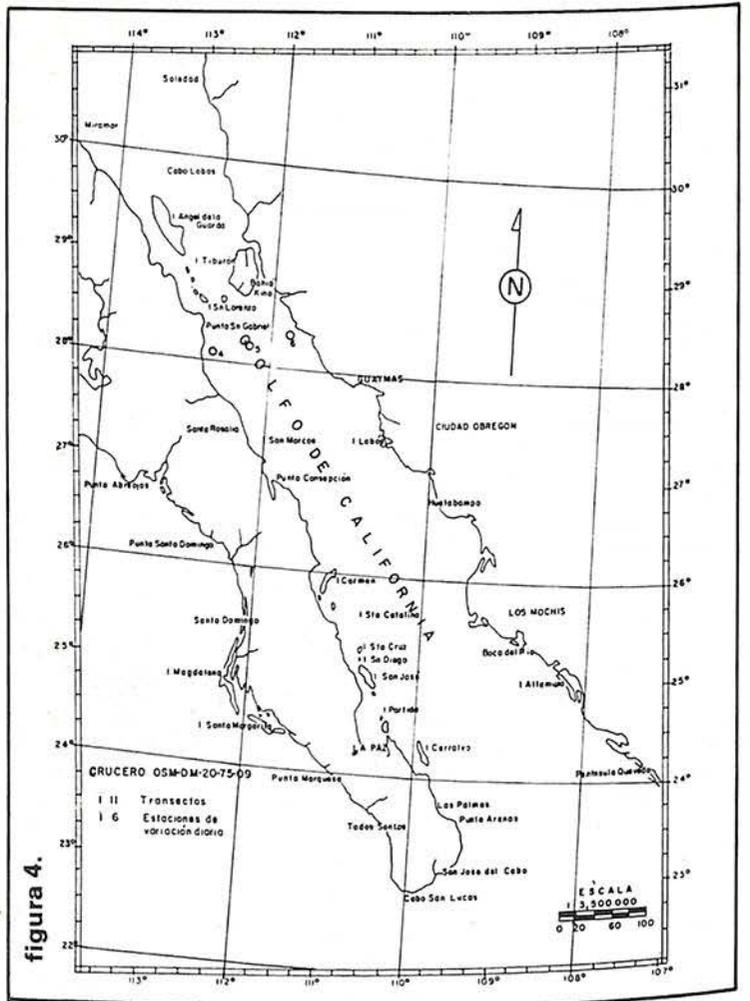


figura 4.

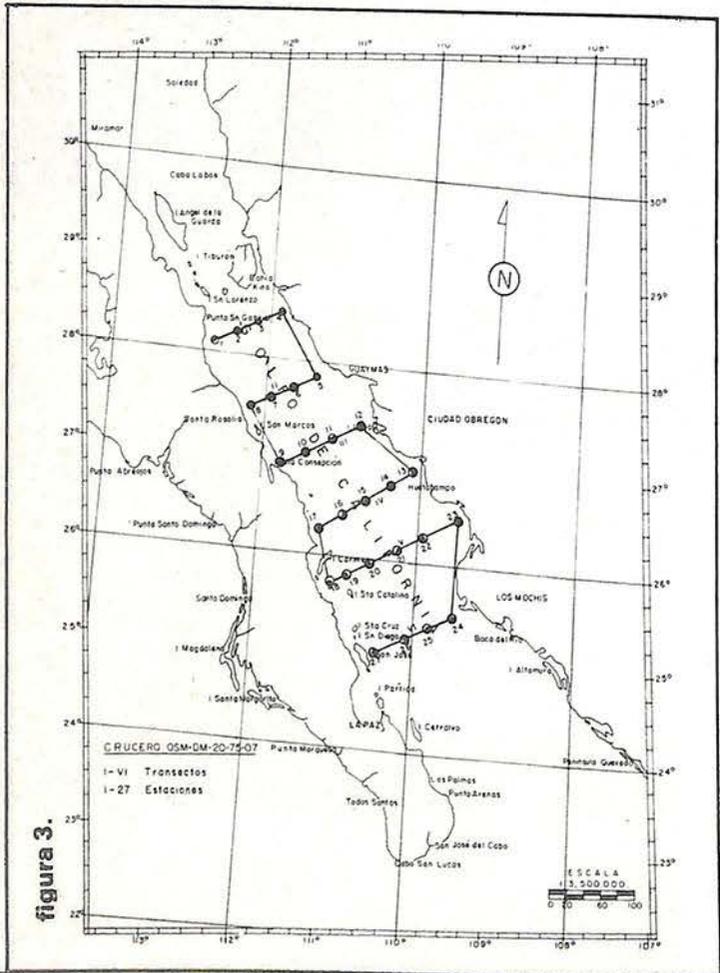


figura 3.

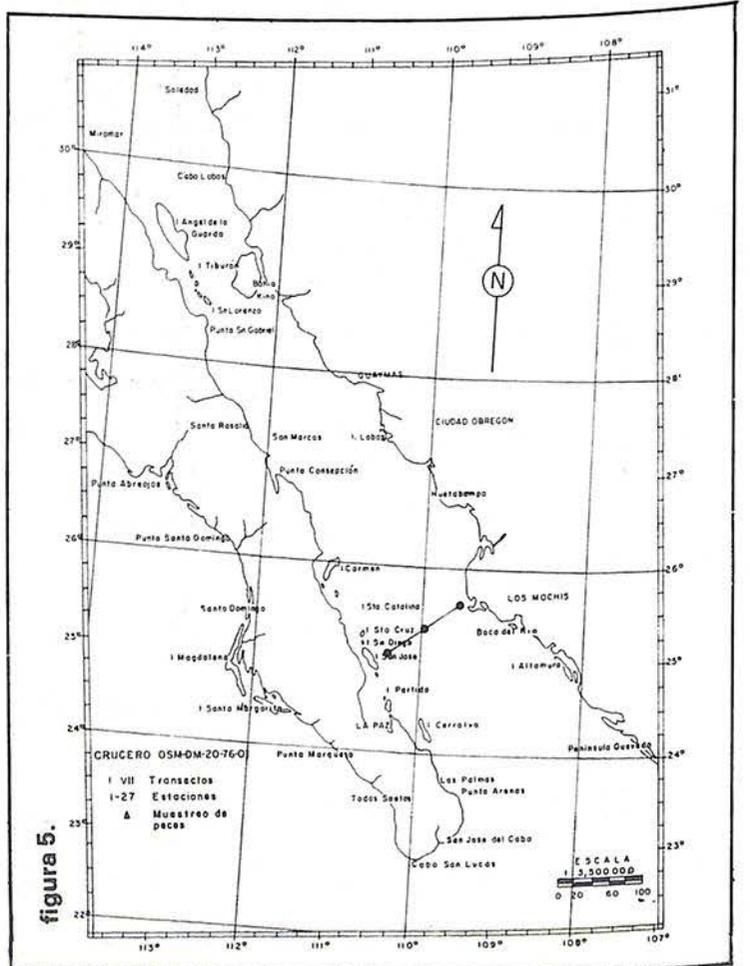


figura 5.

tigación de la conducta de comunidades y poblaciones; al mismo tiempo, a través de estos muestreos se enriqueció la colección de referencias del Departamento de Investigaciones Oceanográficas, indispensables para el cumplimiento del programa "Inventario de los Recursos Marinos".

Los estudios comprendieron muestreos de plancton y bentos.

Zooplancton

Los muestreos se realizaron por el método de CALCOFI, en cada una de las estaciones; al finalizar la colecta se procedió a fijar el material. El análisis de las muestras se realizó con microscopio bajo un reconocimiento cualitativo general y la cuantificación de una alícuota que se extrapoló al total de la muestra.

Fitoplancton

Las muestras para el análisis de

fitoplancton corresponden al crucero OSM-DM-20-75-07 en el áreas del Golfo de California; de las 27 estaciones se seleccionaron 17 para el análisis.

La colecta del material se realizó con botellas Niskin de 1.7 litros de capacidad, de las cuales se extrajo una muestra de 250 ml. a la que se agregaron yodo, yoduro de potasio con 20% de acetato de sodio para su fijación y refrigerada hasta su análisis posterior.

Para el estudio fitoplanctónico se aplicó el método de Wtermohl, homogeneizando durante 2 minutos, tomando 5 ml. de la muestra y colocándola en las cámaras de sedimentación durante 24 horas; pasando ese lapso se procedió a la identificación en el microscopio invertido.

Foraminíferos

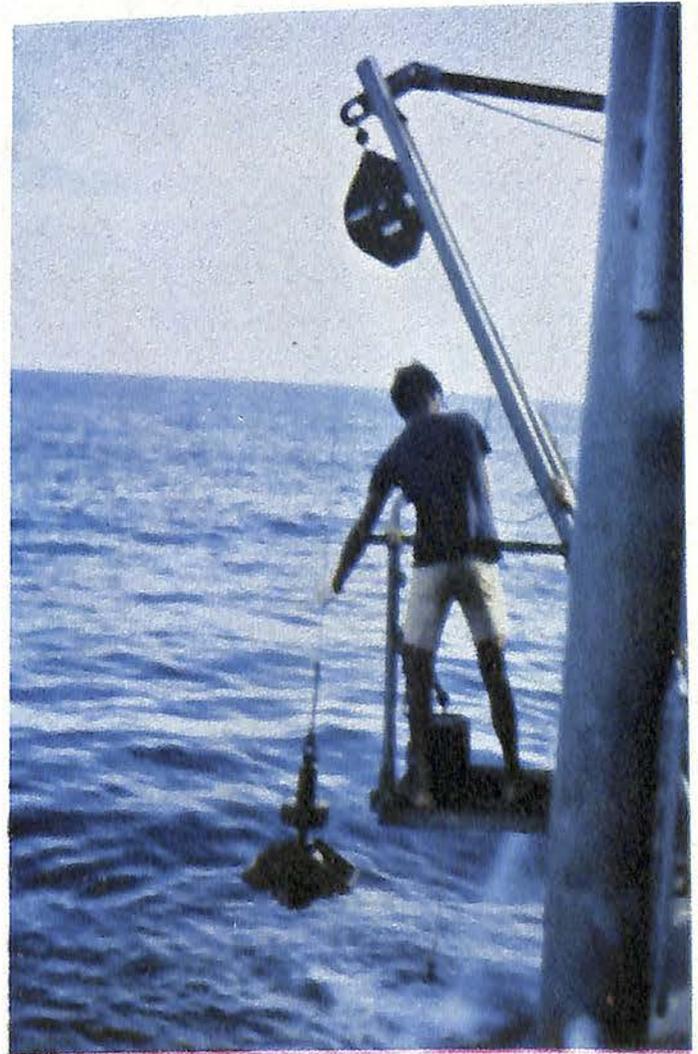
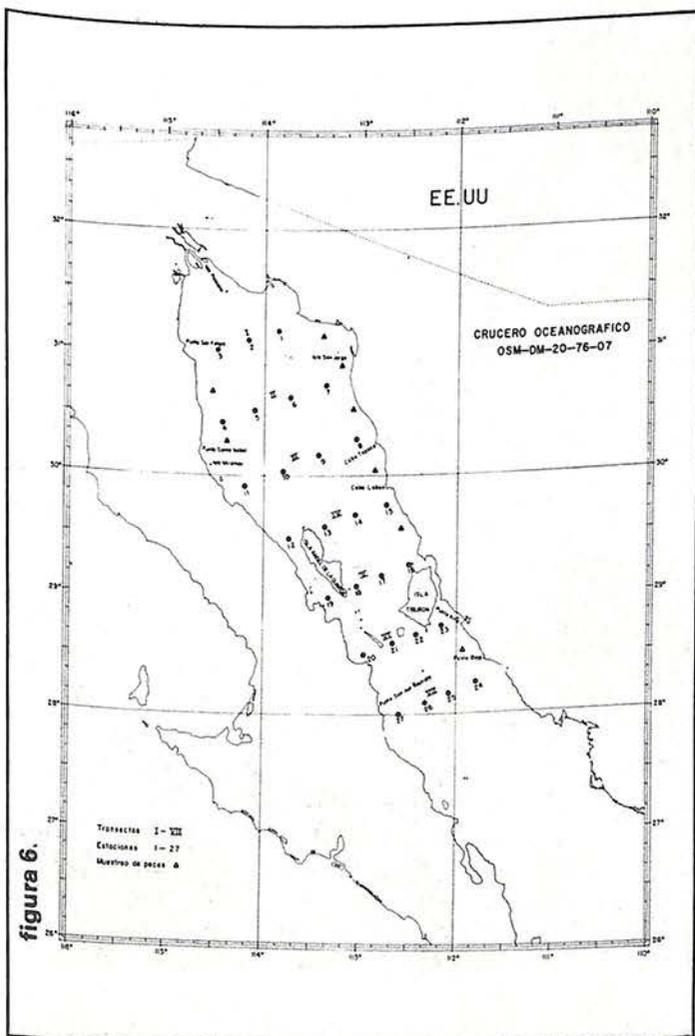
Los muestreos se realizaron mediante un nucleador de grave-

dad, tomando el primer centímetro superficial del núcleo; fue conservando en formol al 5% y agua de mar a la que se le adicionó una pequeña cantidad de Borato de Sodio. En el laboratorio las muestras fueron lavadas en un tamiz N°. 230 U.S. Standar, con abertura de 0.062 mm.; posteriormente se seccionaron en horno a temperatura menor de 70°C. Con la ayuda de un microscopio se procedió al reconocimiento e identificación de las especies.

Peces

Las muestras fueron obtenidas con una red de arrastre tipo camaronesa de 18 metros de largo, abertura de boca de 7 metros y puertas de 110 kilos cada una.

La colecta fue obtenida entre 10 y 50 brazas de profundidad paralelas a la costa; del material obtenido se tomó su coloración y se procedió a



su fijado con formol al 10% colocándolo en frascos o bolsas de plástico.

El análisis se inició en el laboratorio con el lavado del material, identificación mediante la consulta de literatura pertinente, cambio a alcohol metílico al 70% y catalogación del material. El material pasó a formar parte de la colección de referencia del Departamento.

**Oceanografía
Química—Física**

En cada una de las estaciones Oceanográficas se tomaron muestras para la determinación de los siguientes parámetros.

1. Penetración de la Luz.
2. Temperatura.

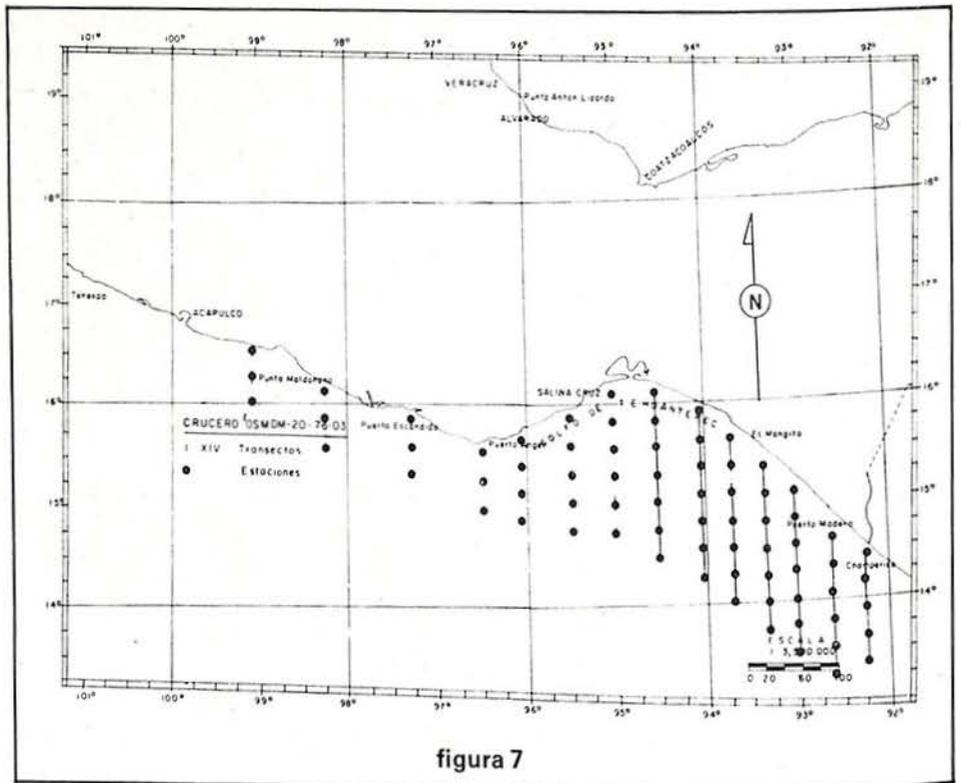
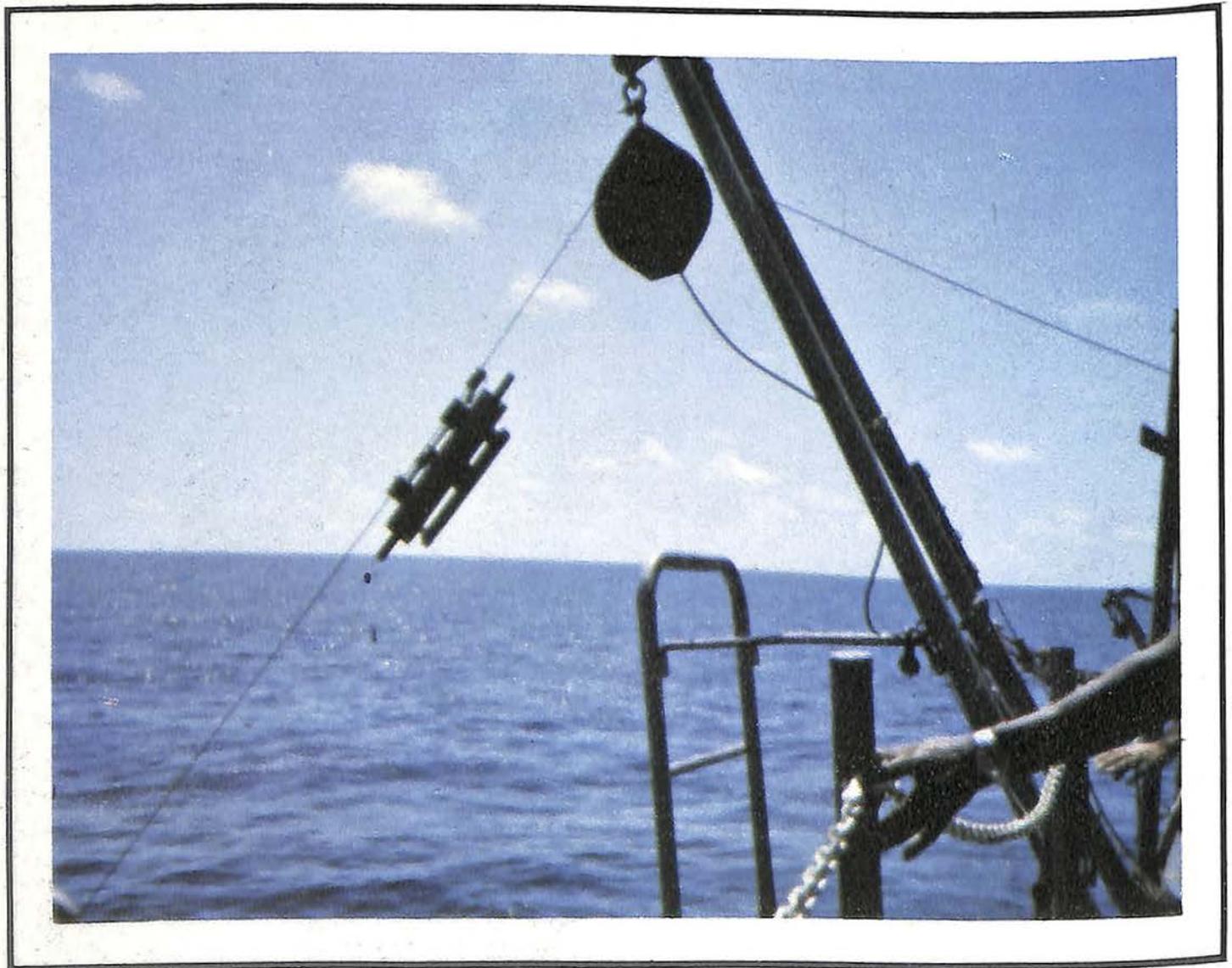


figura 7





3. Salinidad.
4. Oxígeno Disuelto.
5. Corrientes.
6. Demanda Química de Oxígeno.
7. Nitritos.
8. Nitratos.
9. Amoniaco.
10. Fosfatos.
11. Clorofilas.

Los muestreos de las estaciones oceanográficas se llevaron a cabo en el siguiente orden:

Cala de Botellas Niskin con termómetros reversibles, protegidos y no protegidos. Los niveles de muestreo fueron hechos hasta una profundidad de 2,000 metros con niveles estándar de muestreo a 2, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500 y 2000, dependiendo de la profundidad de la estación.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a extraer la alícuota en la frasquería necesaria para las determinaciones de los análisis.

Resultados

En las tablas 1 y 2 se muestra el número de análisis así como las etapas de avance del procesamiento de datos.

La localización de la capa del mínimo oxígeno (concentraciones) ($0.5 \text{ ml/l } O_2$) se presenta a lo largo del área muestreada. Se inicia aproximadamente a los 100 m. de profundidad; su mayor amplitud (de 1,300 m.) se registra frente a las costas de Guerrero disminuyendo hacia el Golfo de California al norte, y al sur hacia el Golfo de Tehuantepec con un espesor aproximado de 900 m; junto a las bajas concentraciones de oxígeno se presentó un aumento considerable de nutrientes, existiendo relación con la temperatura, en las estaciones alejadas de la costa.

En el aspecto biológico, el estudio de Zooplancton se obtuvo a nivel de grandes grupos.

Los resultados del transecto de variación diaria comprendido entre

Isla San José, B. C. y Punta San Ignacio, Son., mostró la variación que sufren la distribución y abundancia del Zooplancton a nivel de grandes grupos, en un ciclo de 24 horas.

Los Copepodos fueron los más abundantes en todas las muestras; otros manifestaron variaciones en cuanto a incidencia, dependiendo de la hora de colecta o de la estación, y se presentaron a la vez, grupos que aparecieron escasa y esporádicamente.

Fitoplancton

Los grupos más abundantes fueron los Bacilariofitas, Pirofitas, Cianofitas y Silicoflagelados.

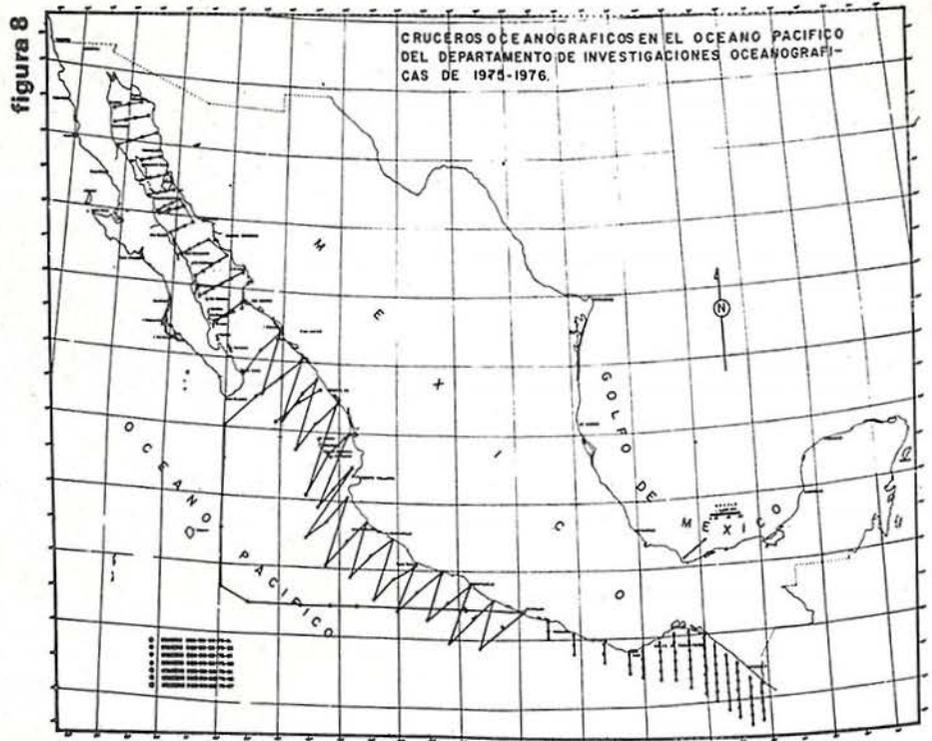


tabla 1 NÚMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS

ANÁLISIS	CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS							TOTAL
	DM-20-75-01	DM-20-75-03	DM-20-75-07	DM-20-75-09	DM-20-76-01	DM-20-76-03	DM-20-76-07	
OXÍGENO	664	244	358	231	197	715	298	2707
SALINIDAD	724	264	388	251	118	785	318	2848
TEMPERATURA	1328	488	716	462	294	1430	596	5114
DENSIDAD	664	244	358	231	197	715	298	1707
CORRIENTES			140	185				325
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	611	259	285	114	173	429	228	2099
NITRATOS	637	247	347	174	187	708		2300
NITRITOS	592	256	328	170	194	709	277	2526
FOSFATOS	588	297	333	170		711		2099
AMONÍACO	424	248		152	194	194		1212
CLOROFILA a+b	45	14	27					86
ELUSIVA	45	14	27					86
TOTAL	6322	2575	3307	2140	1554	6596	1815	24,109

tabla 2 AVANCE DEL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LOS CRUCEROS REALIZADOS

ETAPAS DE PROCESAMIENTO	CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS						
	75-01	75-03	75-07	75-09	76-01	76-03	76-07
TRABAJO DE CAMPO							
TRABAJO DE CABINETE							
OBTENCIÓN DE MUESTRAS							
ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS							
CORRECCIÓN DE DATOS							
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS (Gráficas, Tablas, Isofinas y Mapas de Distribución Horizontal).							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
TRABAJO FINAL							
PUBLICACIÓN							

Foraminíferos

Para el Golfo de Tehuantepec los resultados obtenidos hasta el momento nos indican que la población total de estos organismos aumenta con la profundidad y la característica más notable es el gran tamaño de los individuos asociados con la naturaleza calcárea de las testas.

Peces

Se han determinado 57 familias con 80 especies, contando con mapas de distribución de estos organismos en donde se puede observar que su variación depende de la región de estudio.

Dentro de las familias más abundantes se encuentran *Carangidae*, *Serranidae*, *Triglidae*, *Scorpaenidae*, *Bothidae*, *Rhinobatidae*, *Mullidae*, *Sciaenidae*, *Clupeidae*, entre otros.

No podemos dar hasta el momento la relación de la capa del mínimo oxígeno con la biota marina ya que los muestreos fueron simultáneos.

El enfoque de los próximos estudios están orientados a dar respuestas a esta pregunta.

I. INTRODUCCION.

El estudio de una región como el Golfo de California, requiere de una metodología sistemática que cumpla con ciertos objetivos previamente fijados, para que el Golfo en sí, pueda ser usado como un laboratorio geofísico natural.

Los objetivos que se pretenden llenar son:

- El conocimiento del proceso de marea.
- La causas que las producen internamente.
- Su interacción con grandes masas de agua en la periferia.
- La interacción no — lineal consigo mismo y con sus fronteras.

Cuando los objetivos sean alcanzados y conocidos como dato, se hace posible:

- Medir la deflexión de la corteza terrestre por la carga gravitacional de la marea en la parte norte del Golfo.
- Obtener conclusiones sobre las constantes de elasticidad de la corteza.
- Estudiar la vortieidad inducida por las islas.
- Estudiar las mareas de viento.
- Estudiar las surgencias y otros temas.

II Modelo de simulación hidráulica.

Ecuaciones básicas.

El modelo de simulación es un modelo numérico, que por medio de la solución de las ecuaciones de la hidrodinámica, reproduce los procesos de la marea.

La base de éste son las ecuaciones de movimiento:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + 2\rho E_{ijk}$$

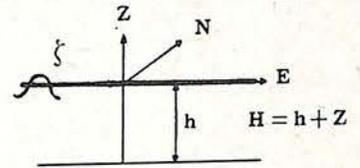
$$\Omega_i u_k = -\frac{\partial P}{\partial x_i} - g\rho \delta_{zi} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}$$

Cálculo numérico de mareas en el golfo de California



y la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial i} (\rho u_i) = 0$$



En donde

ρ es la densidad, u_i es el vector velocidad E_{ijk} es el tensor unitario, Ω es la rotación de la tierra, P la presión, δ la delta de Kronecker y σ_{ij} el tensor viscosidad.

A estas ecuaciones se añaden condiciones de frontera:

a) en la superficie

$$S = Z - \xi = 0$$

$$\frac{ds}{dt} = \omega - u \frac{\partial \xi}{\partial x} - v \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$$

b) en el fondo

$$f = z - (-h) = 0$$

$$\frac{df}{dt} = \omega + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

Las cuales refieren las ecuaciones al prototipo físico.

Las ecuaciones anteriores se transforman en base a un análisis dimensional, luego se promedian a lo largo de la vertical y se obtienen las siguientes ecuaciones (que ya son las de trabajo):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + R_u - f_v + g \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + R_v + f_u + g \frac{\partial \xi}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + h \frac{\partial v}{\partial y} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

con sus condiciones de frontera:

- a) a lo largo de la costa, la velocidad normal a ella es cero, es decir la corriente fluye paralela a la costa, y
 b) a lo largo de las líneas imaginarias que caen sobre el mar y que cierran el modelo, se prescribe el nivel del mar como función del tiempo.

Ecuaciones en diferencias finitas

Las ecuaciones anteriores se transforman en ecuaciones en diferencias límites tomando en cuenta las siguientes definiciones.

a) cociente en diferencias hacia adelante.

$$\frac{\partial \varphi(x,t)}{\partial t} = \frac{\varphi(x, t + \Delta t) - \varphi(x, t)}{\Delta t}$$

b) cociente en diferencias centrales.

$$\frac{\partial \varphi(x_i)}{\partial x_i} = \frac{\varphi(x_i + \Delta x_i) - \varphi(x_i - \Delta x_i)}{2 \Delta x_i}$$

Las correspondientes ecuaciones en diferencias finitas aparecen a la derecha.

Valores numéricos usados en el modelo:

La red mostrada en la Fig. 1 cubre el Golfo de California y la distancia entre puntos es de 7 000 m. Las fronteras siguen la costa de Baja California, Sonora y Sinaloa; la frontera artificial es una línea imaginaria que va de Punta Arenas a Lucernilla.

Las profundidades usadas se tomaron de las castas Navy Survey Nrs. HO 620, 621.

Las condiciones a lo largo de la frontera abierta son:

$$\zeta = A \cos(\sigma t - \mathcal{H}) = \zeta,$$

$$\cos \sigma t + \zeta_2 \sin \sigma t$$

$$\Delta = 0.29 \text{ m} \cdot \mathcal{H} = 276^\circ \text{ para Punta Arenas. } \Delta = 0.37 \text{ m} \cdot \mathcal{H} = 286^\circ \text{ para Lucernilla.}$$

Estas condiciones reproducen la marca M₂

Estas condiciones reproducen la marca M₂

RESULTADOS

En la gráfica de la Fig 2 se muestran dos tipos de isolíneas:

a) Líneas de igual amplitud y

b) líneas de igual fase.

Se puede observar el efecto de resonancia en las amplitudes, pues de una amplitud de 0.3m se alcanza 4.0 m; hacia el sur, las amplitudes decrecen hasta alcanzar un mínimo en una región cercana a la Paz, en la que casi se forma un punto anfidrómico. Otro aspecto de bastante claridad es la variación en las fases de hasta 180° lo cual muestra el efecto de resonancia.

$$U_{(I,J)}^{(t+\Delta t)} = \left[1 - Q_{(I,J)}^{x(t)} \right] U_{(I,J)}^{(t)} + 2 \Delta t \cdot f \cdot \frac{v^{(t)}}{v_{(I,J)}} - \frac{\Delta t}{1} \cdot g \left[\zeta_{(I+1,J)}^{(t+\Delta t)} - \zeta_{(I-1,J)}^{(t+\Delta t)} \right] + \dots + 2 \Delta t \cdot F_{(I,J)}^{x(t)}$$

$$V_{(I,J)}^{(t+\Delta t)} = \left[1 - Q_{(I,J)}^{y(t)} \right] V_{(I,J)}^{(t)} - 2 \Delta t \cdot f \cdot U_{(I,J)}^{(t)} - \frac{\Delta t}{1} \cdot g \left[\zeta_{(I,J+1)}^{(t+\Delta t)} - \zeta_{(I,J-1)}^{(t+\Delta t)} \right] + \dots + 2 \Delta t \cdot F_{(I,J)}^{y(t)}$$

$$\zeta_{(I,J)}^{(t+\Delta t)} = \zeta_{(I,J)}^{(t-\Delta t)} - \frac{\Delta t}{1} \left[H_{u(I+1,J)}^{(t-\Delta t)} U_{(I+1,J)}^{(t)} - H_{u(I-1,J)}^{(t-\Delta t)} U_{(I-1,J)}^{(t)} + H_{v(I,J+1)}^{(t-\Delta t)} V_{(I,J+1)}^{(t)} - \dots - H_{v(I,J-1)}^{(t-\Delta t)} V_{(I,J-1)}^{(t)} \right]$$

$$H_{u(I,J)}^{(t-\Delta t)} = h_{u(I,J)} + \frac{1}{2} \left[\zeta_{(I+1,J)}^{(t-\Delta t)} + \zeta_{(I-1,J)}^{(t-\Delta t)} \right] \quad (3)$$

$$H_{v(I,J)}^{(t-\Delta t)} = h_{v(I,J)} + \frac{1}{2} \left[\zeta_{(I,J+1)}^{(t-\Delta t)} + \zeta_{(I,J-1)}^{(t-\Delta t)} \right]$$

$$Q_{(I,J)}^{x(t)} = 2 c_D \Delta t \left[U_{(I,J)}^{(t)} + \frac{v^{(t)}}{v_{(I,J)}} \right]^{1/2} \left[H_{u(I,J)}^{(t+\Delta t)} \right]^{-1}$$

$$Q_{(I,J)}^{y(t)} = 2 c_D \Delta t \left[U_{(I,J)}^{(t)} + \frac{v^{(t)}}{v_{(I,J)}} \right]^{1/2} \left[H_{v(I,J)}^{(t+\Delta t)} \right]^{-1}$$

$$U_{(I,J)}^{(t)} = \frac{1}{4} \left[U_{(I+1,J+1)}^{(t)} + U_{(I+1,J-1)}^{(t)} + U_{(I-1,J-1)}^{(t)} + U_{(I-1,J+1)}^{(t)} \right]$$

$$V_{(I,J)}^{(t)} = \frac{1}{4} \left[V_{(I+1,J+1)}^{(t)} + V_{(I+1,J-1)}^{(t)} + V_{(I-1,J-1)}^{(t)} + V_{(I-1,J+1)}^{(t)} \right]$$

$$U_{(I,J)}^{(t)} = \alpha U_{(I,J)}^{(t)} + \frac{1-\alpha}{4} \left[U_{(I+2,J)}^{(t)} + U_{(I-2,J)}^{(t)} + U_{(I,J+2)}^{(t)} + U_{(I,J-2)}^{(t)} \right]$$

$$V_{(I,J)}^{(t)} = \alpha V_{(I,J)}^{(t)} + \frac{1-\alpha}{4} \left[V_{(I+2,J)}^{(t)} + V_{(I-2,J)}^{(t)} + V_{(I,J+2)}^{(t)} + V_{(I,J-2)}^{(t)} \right]$$

$$\alpha = 1 - 4 \frac{A_h \Delta t}{12}$$

Figura 1

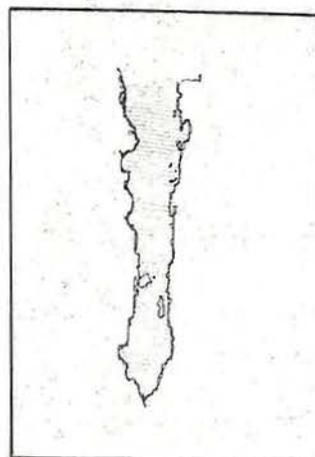
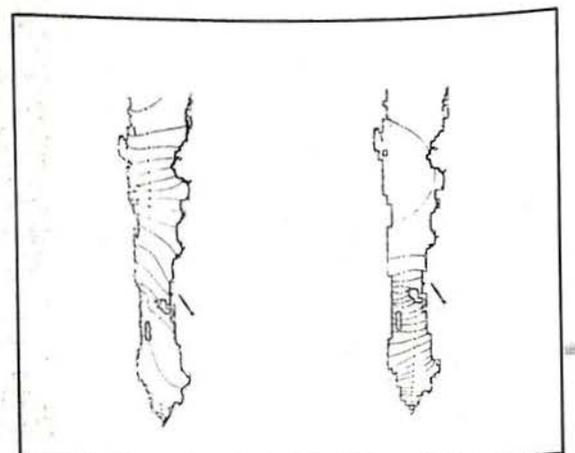


Figura 2



T E M A S

Estudio Geofísico de la Márgen Continental Oeste de México

Tte. de Navio I.M.N.
Dr. Gustavo Calderón Riveroll
Dr. Richard W. Couch
Dr. Gordon Ness

Desarrollo del Ciclón HYACINTH, en el Océano Pacífico

Cap. de Corb. C.G.
M. C. Alberto Vázquez de la Cerda

La Hidrografía como apoyo a la Investigación Oceanográfica

Cap. de Frag. C. G. DEMN.
Hidrógrafo Gabriel Serrano Franco

Estudio sobre la circulación de las Aguas en la Parte Occidental del Atlántico Ecuatorial

Dr. Ingvar Emilson
M. en C. Alberto Vázquez de la Cerda

La Mareografía en México

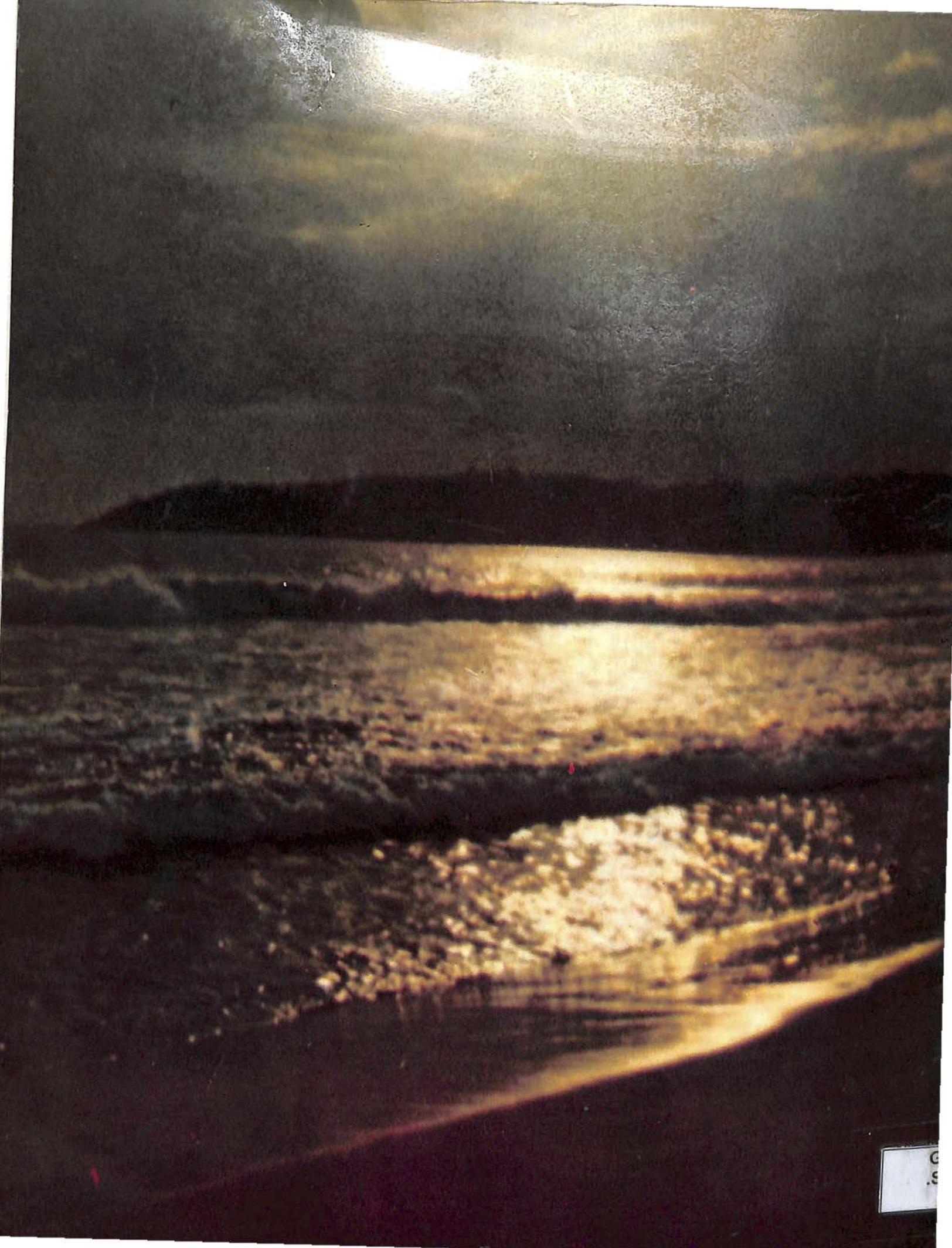
Ing. Francisco Grivel Piña

Resultados de las Investigaciones Biológicas, Químicas y Físicas en el Pacífico Mexicano

M. en C. Silvia Toral

Cálculo Numérico de Marea en el Golfo de California

Dr. Nicolás Grijalva



G
.S