

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO DE SEDIMENTOS DEL PISO OCEANICO  
EN UN SECTOR DEL PACIFICO ORIENTAL

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

GERARDO RAMIREZ ARGAEZ



MEXICO, D F.

1987



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

pág.

### RESUMEN.

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	( 1 )
CAPITULO II: AREA DE ESTUDIO.....	( 4 )
CAPITULO III: METODO DE TRABAJO.....	( 7 )
III.1. TRABAJO DE CAMPO.....	( 7 )
III.2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	( 9 )
III.3. TRABAJO DE GABINETE.....	( 11 )
CAPITULO IV: ANALISIS SEDIMENTOLOGICO.....	( 13 )
IV.1. ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES.....	( 13 )
IV.1.1. COLOR DEL SEDIMENTO.....	( 13 )
IV.1.2. PROPORCION DE GRAVA, ARENA Y LODO EN EL SEDIMENTO.....	( 14 )
IV.1.3. DESCRIPCION Y CLASIFICACION DE SEDI_ MENTOS.....	( 15 )
IV.2. ANALISIS DE SEDIMENTOS A PROFUNDIDAD.....	( 18 )
IV.2.1. COLOR DEL SEDIMENTO.....	( 18 )
IV.2.2. DESCRIPCION Y CLASIFICACION DE SEDI_ MENTOS.....	( 19 )
IV.3. ANALISIS SEDIMENTOLOGICO DE NODULOS Y QUIMI_ CA DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES.....	( 22 )
CAPITULO V: TECTONICA Y SEDIMENTACION.....	( 25 )
V.1. MARCO TECTONICO.....	( 25 )
V.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA CIRCULACION OCEANI_ CA EN EL AREA DE ESTUDIO.....	( 29 )
V.3. CONTROLES DE LA SEDIMENTACION.....	( 31 )
CAPITULO VI: RECURSOS MINERALES DEL MAR.....	( 36 )
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	( 41 )
AGRADECIMIENTOS.	
BIBLIOGRAFIA.	

## RESUMEN

El mar contiene grandes reservas de recursos minerales que solo a últimas fechas han cobrado interés. Es necesario el estudio sistemático de los océanos para después poder aprovechar las riquezas que ofrece; esta tesis se incluye dentro de un proyecto conjunto entre la INAM y el CONACYT para conocer los recursos minerales que se encuentran dentro de la zona económica exclusiva de México.

El área en estudio se localiza en la zona económica exclusiva mexicana en el Pacífico nororiental y abarca tres regiones; la dorsal del Pacífico oriental, una zona de nódulos polimetálicos al oeste de la dorsal y una región intermedia entre las dos anteriores. En la campaña oceanográfica MIPAR II se recorrieron y muestrearon estas tres regiones con el fin de conocer la relación entre ellas. Los sedimentos recolectados durante esta campaña fueron analizados en el laboratorio, determinándoseles el color, sus constituyentes principales y su granulometría ( en por ciento en área ).

Los sedimentos se clasificaron como arcillas pardas. Los resultados del análisis sedimentológico indican que la circulación oceánica de las aguas de fondo redistribuye constantemente a los sedimentos, y suministra el oxígeno necesario para la precipitación de Fe y Mn en la parte oeste del área estudiada ( estos dos elementos químicos son los principales formadores de nódulos polimetálicos ). El vulcanismo submarino también influye en la composición del sedimento. Por otro lado, se considera que el aporte de elementos metálicos a los sedimentos a partir de soluciones hidrotermales se prolonga a lo largo de toda el área de estudio.

A partir de estas ideas se propone un esquema de los procesos sedimentarios que afectan a esta porción del Pacífico.

\*\*\*\*\*

## CAPITULO 1: INTRODUCCION.

El mar es un extenso dominio que en la actualidad presenta muchas incógnitas en su comportamiento, no obstante, desde hace algunos años su estudio se ha ido incrementando, y se encuentra en una etapa de continua comprensión. Sin embargo, los recursos minerales del mar como objeto de exploración y explotación son casi una realidad en el presente, mucho antes de que se comprenda la dinámica marina.

Los sedimentos oceánicos contienen el registro de los eventos que determinaron y determinan las condiciones en el piso oceánico y en la masa de agua sobreyacente durante su evolución hasta nuestros días. De ahí resulta que su estudio es una herramienta primordial en el conocimiento de la geología marina, y por ende, en la comprensión del mar.

Los recursos minerales del mar representan un potencial económico de primera importancia y de una gran diversidad. La concentración de estos depósitos está influenciada por las condiciones imperantes en la masa de agua, por la relación entre esta y el sustrato marino, y por condiciones fisiográficas; todos estos factores varían según la posición tectónico-geográfica, la que además da lugar a diversos yacimientos; de ahí la importancia de entender los procesos marinos en su conjunto.

Si se toma en cuenta que los recursos minerales sobre tierra firme que se conocen se están extinguiendo, que cada vez son menos los yacimientos que se descubren, y que la demanda de estos recursos va generalmente en aumento o se mantiene constante, no se puede ignorar que dentro de pocos años, muy posiblemente para la siguiente década, se comenzará a explotar la riqueza mineral del mar ( Carranza, 1987 ).

Países industriales como Estados Unidos, Alemania, Francia, Japón, Italia, Canadá, Gran Bretaña, Bélgica y Holanda, conscientes de esta situación, han formado consorcios con el fin de reunir capital de riesgo para la exploración y eventual explotación, transferencia de tecnolo-

gía y reforzamiento político internacional para aprovechar esta fuente de recursos minerales. Estos esfuerzos que se iniciaron en la década de los cincuentas, en los años setentas propiciaron el estudio en gran escala de los nódulos polimetálicos del fondo marino ( los cuáles son de importancia estratégica ), y se determinaron las enormes reservas de nódulos en el Pacífico profundo, incluso dentro de la Zona Económica Exclusiva de México ( Carranza, 1987 ).

En contraste, en México pocas instituciones se dedican a la explotación, y a veces explotación en pequeña escala, de los recursos no renovables del mar. La Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología se dedica a la exploración marina, pero en general las investigaciones de este tipo son muy costosas, y por ello es deseable la colaboración de otras instituciones. Roca Fosfórica Mexicana, S.A. de C.V. explota fosforita de las costas de Baja California, Azufrera Mexicana explota azufre de la cuenca de Tampico, y Exportadora de Sal, S.A. produce sal en Guerrero Negro, B.C.. Por otra parte, el Consejo de Recursos Minerales ha realizado algunos estudios sobre minerales en yacimientos de placer costeros ( Avendaño, 1971; Martín, 1980 ); pero en total es bien poco el interés actual sobre el tema si lo comparamos con la potencialidad de los mares mexicanos.

México, país tradicionalmente minero tiene grandes extensiones de mar que ofrecen un potencial económico atractivo en el corto plazo.

Resulta entonces necesario fomentar la exploración geológica y minera de los mares mexicanos ( hecha por mexicanos ), para conocer y -- cuantificar su riqueza, esto sólo es posible con el apoyo económico -- del Estado, y con la formación de recursos humanos; con este fin se -- creó el proyecto UNAM-CONACYT, clave PCCBBNA-022127, titulado: " Investigación sobre origen, procesos, y distribución de minerales del piso-oceánico del Pacífico en la Zona Económica Exclusiva de México " ( Carranza, 1987 ).

La presente tesis está inscrita en el proyecto arriba citado, y su objetivo es realizar un análisis descriptivo de los sedimentos de mar profundo recolectados en la campaña oceanográfica MIMAR II ( minerales del mar ), segunda de las tres campañas de que se compone el proyecto. Además del análisis descriptivo se intenta hacer una interpretación sedimentológica, para determinar principalmente la procedencia de los sedimentos, a partir de los resultados y el marco tectónico de la zona.

Otro de los objetivos de esta tesis es determinar la fuente de aporte de elementos metálicos para la formación de los nódulos polimetálicos y sedimentos metalíferos que se recolectaron. Las interpretaciones sin embargo son complicadas si se consideran los numerosos procesos que influyen en la distribución de sedimentos en el fondo marino ( Cronan, 1980 ).

\*\*\*\*\*

## CAPITULO II: AREA DE ESTUDIO

El área en estudio se localiza entre los meridianos  $105^{\circ}$  y  $118^{\circ}$  de longitud oeste, y entre los paralelos  $15^{\circ}$  y  $24^{\circ}$  de latitud norte, dentro del Pacífico oriental mexicano ( figura 1 ). En la tabla 1 se detallan las estaciones de la campaña con sus coordenadas geográficas, profundidad, y fecha de muestreo.

La campaña oceanográfica MIMAR II representa una larga travesía - de dirección noreste-surcoeste a lo largo de aproximadamente mil cuatrocientos kilómetros a partir del puerto de Mazatlán, Sinaloa. Las 46 estaciones que componen el transecto están divididas en tres regiones de nominadas con las letras A, B y C ( figura 1 ). La división en regiones es de suma utilidad, puesto que cada una de ellas se puede distinguir de las otras dos por características propias; así pues, se reconocieron tres dominios ( correspondientes a las tres regiones ), y el análisis de ellos dará la guía de los procesos a profundidad que afectan la distribución y la composición de los sedimentos y elementos metálicos contenidos en ellos que son de interés económico.

La región A o de la dorsal del Pacífico oriental a  $21^{\circ}$  N, donde ha sido muy estudiada ( Francheteau et al, 1980 ), se cubre con 18 estaciones; la región C o región de nódulos polimetálicos ( UNAM-CONACYT, 1985 ) es una depresión limitada por montañas submarinas, y con esto se debe notar, si existe, la influencia de éstas como fuentes de aporte de elementos metálicos y sedimentos, esta zona tiene 16 estaciones; finalmente, la región B es una vasta extensión que une las regiones A y C, y está representada por 12 estaciones de muestreo. De esta manera se cubren dos dominios de interés y la región entre ellos, para detectar posibles cambios en la sedimentación, y por ende, la relación entre ambos dominios.

Se consideran esenciales como fuentes de elementos metálicos para la formación de nódulos y sedimentos metalíferos las dorsales meso-

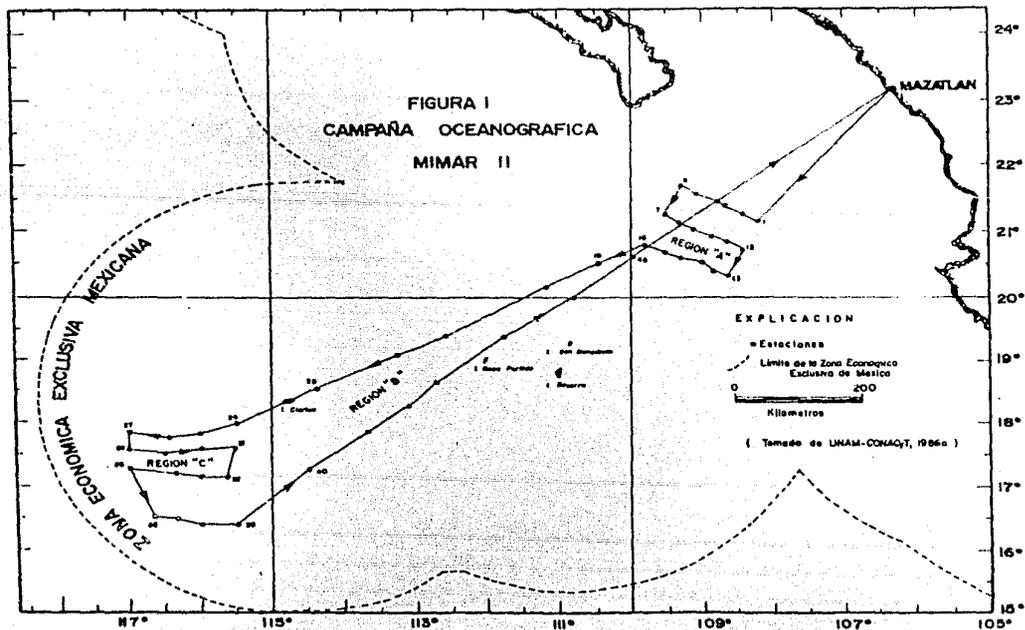
TABLA 1.- POSICION, PROFUNDIDAD Y FECHA DE LOS MUESTREOS

<u>ESTACION</u>	<u>LATITUD</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>PROFUNDIDAD</u>	<u>FECHA</u>
1	21° 09.9'	108° 14.5'	2520m	27/Enero/'86
2	21° 16.5'	108° 26.5'	3150m	27/Enero/'86
3	21° 22.7'	108° 40.6'	2380m	27/Enero/'86
4	21° 26.6'	108° 47.9'	2800m	28/Enero/'86
5	21° 34.0'	109° 07.0'	2870m	28/Enero/'86
6	21° 40.9'	109° 19.3'	3090m	28/Enero/'86
7	21° 15.3'	109° 53.4'	3010m	28/Enero/'86
8	21° 09.7'	109° 20.4'	2870m	28y29/Enero/'86
9	21° 03.8'	109° 07.0'	2680m	29/Enero/'86
10	20° 56.0'	108° 53.0'	2800m	29/Enero/'86
11	20° 50.4'	108° 39.6'	2880m	29/Enero/'86
12	20° 44.0'	108° 26.9'	3245m	29/Enero/'86
13	20° 19.5'	108° 40.2'	3080m	30/Enero/'86
14	20° 24.0'	108° 53.0'	3080m	30/Enero/'86
15	20° 31.6'	109° 05.0'	3010m	30/Enero/'86
16	20° 37.9'	109° 19.9'	2870m	30/Enero/'86
17	20° 42.1'	109° 52.9'	2880m	30/Enero/'86
18	20° 48.2'	109° 48.2'	2820m	30/Enero/'86
19	20° 31.0'	110° 28.0'	3220m	31/Enero/'86
20	20° 09.9'	111° 10.5'	3230m	31/Enero/'86
21	19° 25.0'	112° 56.0'	3490m	1/Febrero/'86
22	19° 06.0'	113° 16.5'	3570m	1/Febrero/'86
23	18° 34.0'	114° 22.0'	3550m	2/Febrero/'86
24	17° 59.3'	115° 30.7'	3450m	3/Febrero/'86
25	17° 50.1'	116° 00.0'	3700m	3/Febrero/'86
26	17° 46.0'	116° 27.0'	3700m	4/Febrero/'86
27	17° 52.1'	116° 59.7'	3750m	4/Febrero/'86
28	17° 35.0'	116° 59.9'	3750m	4/Febrero/'86
29	17° 32.6'	116° 30.7'	3650m	4y5/Febrero/'86
30	17° 35.0'	116° 00.0'	3750m	5/Febrero/'86
31	17° 37.6'	115° 30.2'	3750m	5/Febrero/'86
32	17° 09.5'	115° 41.5'	3700m	5/Febrero/'86
33	17° 10.3'	116° 01.1'	3750m	5/Febrero/'86
34	17° 12.6'	116° 20.0'	3750m	6/Febrero/'86
35	17° 17.0'	116° 59.0'	3700m	6/Febrero/'86

( Continúa ).....

TABLA 1. - POSICION, PROFUNDIDAD Y FECHA DE LOS MUESTREOS  
( Continuación )

<u>ESTACION</u>	<u>LATITUD</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>PROFUNDIDAD</u>	<u>FECHA</u>
36	16° 32.0'	116° 40.9'	3900m	6/Febrero/'86
37	16° 29.9'	116° 20.6'	3970m	6/Febrero/'86
38	16° 26.0'	116° 00.0'	3950m	7/Febrero/'86
39	16° 25.0'	115° 30.0'	3950m	7/Febrero/'86
40	17° 18.0'	114° 29.8'	3550m	7/Febrero/'86
41	17° 51.5'	113° 41.1'	3500m	8/Febrero/'86
42	18° 18.5'	113° 06.5'	3310m	8/Febrero/'86
43	18° 38.4'	112° 43.1'	3350m	8/Febrero/'86
44	19° 23.3'	111° 47.3'	3350m	8/febrero/'86
45	20° 00.0'	110° 48.1'	3150m	9/Febrero/'86
46	20° 37.0'	110° 00.0'	2650m	9/Febrero/'86



ceánicas y las montañas submarinas. Para el área en estudio esto no de ja de ser una hipótesis, la más viable, aunque otras fuentes pueden a portar estos elementos ( descarga de los continentes, material retraba jado en la misma columna y material cósmico, entre otros; Cronan, ---- 1980 ).

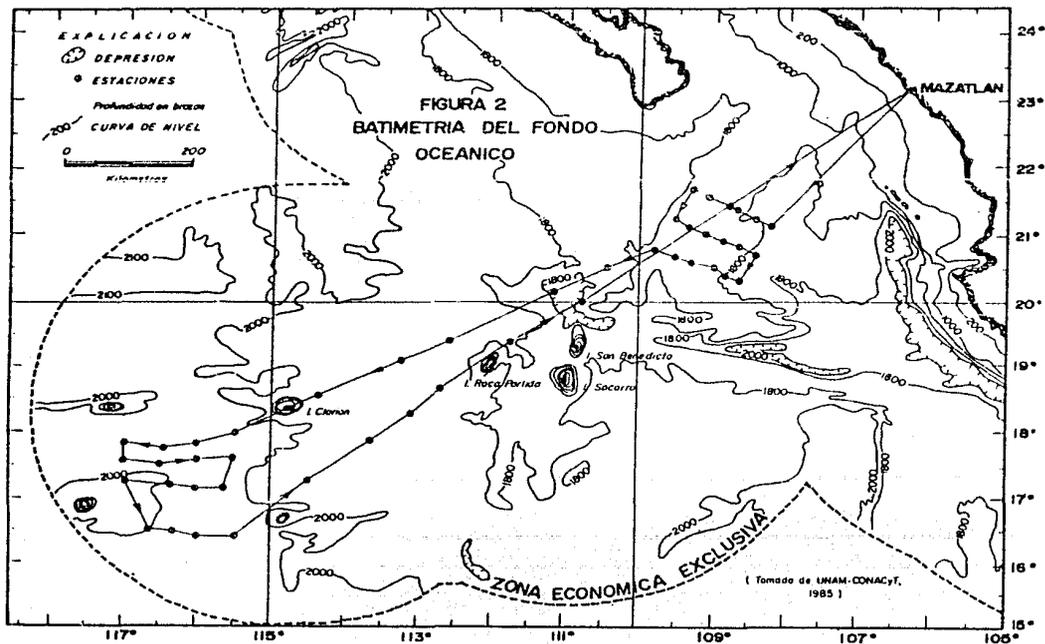
Para el mejor entendimiento del área en estudio se elaboró un pla no batimétrico ( tomado de UNAM-CONACYT, 1985 ), que presenta a grandes rasgos la topografía submarina ( figura 2 ), y un plano de morfoestruc turas del piso oceánico ( figura 3 ) modificado de Lugo ( 1985 ); en estos planos se aprecian varios puntos que merecen una mención espe cial:

a) Existe una tendencia general que consiste en que la profundi dad del piso oceánico aumenta hacia el oeste a partir de la dorsal.

b) Las zonas de fractura Rivera y Clarión, la isla Clarión, y el archipiélago de Revillagigedo trazan un lineamiento bastante continuo de dirección este-oeste, la misma dirección que tiene el sistema de fa llas transformantes a lo largo de la dorsal del Pacífico oriental.

c) La depresión MIMAR ( nombre dado por Carranza; UNAM-CONACYT, - 1986b ), en el extremo meridional de la campaña, parece representar -- una zona rica en nódulos del Pacífico mexicano.

Además se trató de obtener un esquema de la circulación oceánica a profundidad en la zona; parece ser que esta circulación es errática y está dominada por turbulencias ( José Barberán, comunicación perso nal ), aunque el conocimiento que actualmente hay sobre las corrientes oceánicas en el área es muy escaso; una posible circulación general ha cia el oeste a partir de la dorsal del Pacífico oriental, como está do cumentada para el Pacífico suroriental ( Reid, 1982; Stommel, 1982 ), - puede representar una hipótesis muy convincente. Más adelante regresa remos a la circulación de las aguas profundas y se apoyará la anterior hipótesis como posible mecanismo de distribución sedimentaria.





Por último, el muestreo fué diseñado para un trabajo de investigación de tipo regional, solo hay que ver su escala y su densidad para percatarse de ello ( figura 1 ). La sedimentología requiere de un muestreo detallado para que los datos sean muy confiables; puesto que esto es imposible para una campaña de exploración regional sin incurrir en costos económicos excesivos, los resultados obtenidos en este trabajo tienen un cierto grado de confiabilidad que no debe perderse de vista, por esta razón también nos apoyamos en la información bibliográfica a nuestro alcance como complemento necesario de este trabajo.

\*\*\*\*\*

### CAPITULO III: METODO DE TRABAJO.

El presente trabajo se divide en tres etapas:

- Trabajo de campo.
- Trabajo de laboratorio.
- Trabajo de gabinetes.

#### III.1. TRABAJO DE CAMPO.

La campaña oceanográfica MIMAR II se inició a las 16:00 ( tiempo local ) del día 26 de enero de 1986, y se llevó a cabo a bordo del buque oceanográfico ( B/O ) " El Puma " ( lámina 1 ), cuyo puerto base es Mazatlán, Sinaloa; y terminó el 10 de febrero del mismo año, a las 09:00 ( tiempo local ). con el arribo al puerto de embarque del B/O -- " El Puma " ( UNAM-CONACYT, 1986a ).

La campaña se realizó en 46 estaciones de muestreo previamente se leccionadas, en 36 de ellas se obtuvo sedimento para su análisis a bordo del barco y en los laboratorios del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología en la Ciudad Universitaria, México, D. F. ( UNAM-CONACYT, - 1986a ).

Se trabajó durante las 24 horas divididas en turnos de 8 horas. Para la posición de las estaciones se contó con el sistema de navegación por satélite del B/O " El Puma ", lo que permitió una excelente precisión en la localización de cada estación.

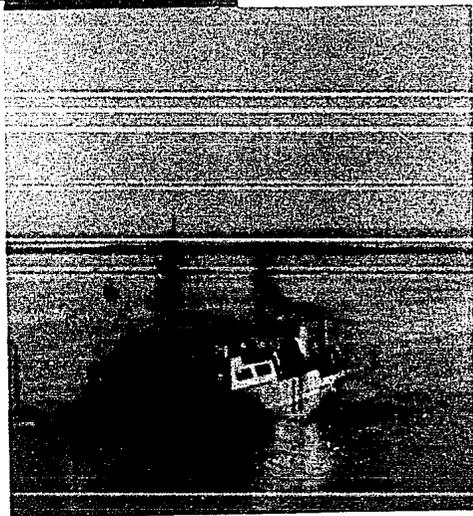
La batimetría se determinó con sonar para profundidades menores a los 3500 m, y para mayores profundidades con las cartas batimétricas de la isla Clarión e islas Revillagigedo ( DETENAL, 1983 ).

Los muestreos de sedimentos se realizaron con dos nucleadores, un nucleador de caja tipo Reineck, diseñado y construido en el Centro de Instrumentos de la UNAM, y un nucleador de gravedad denominado " Tepule " ( lámina 2 ); el nucleador de caja fue diseñado para la recolec-



Lamina 1

Lamina 1.- Arriba: vista panorámica de un sector del puerto de Mazatlán, Sinaloa, en donde se observa al B/O " El Puma " en su embarcadero. A la derecha: acercamiento del B/O " El Puma ".



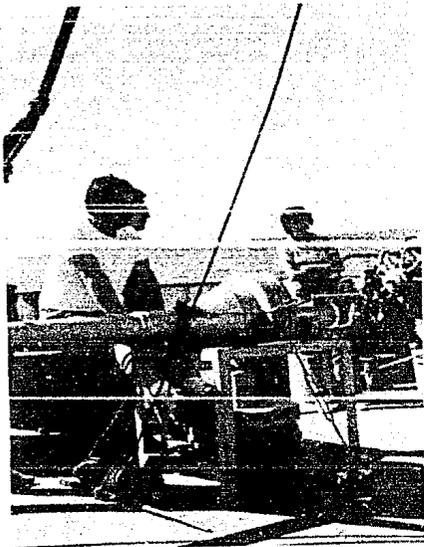
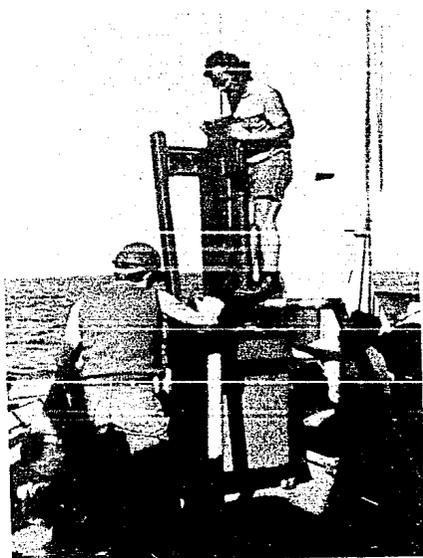


Lámina 2.-Arriba: fotografía del nucleador de gravedad "Topito" utilizado en la campaña oceanográfica MIMAR II, listo para su operación. A la derecha: fotografía del nucleador de esta tipo "Reineck" también utilizado en la campaña. El operador colocado arriba del nucleador está preparando el mecanismo de disparo de la cuchilla de este aparato.

## Lámina 2



ción de muestras con un área de 2500 cm<sup>2</sup> y un espesor máximo de 50cm.- dimensiones propias para el muestreo de nódulos polimetálicos. En el " Tepule " se recobraron núcleos de 3 m de largo y 4 pulgadas de diámetro dentro de un tubo de PVC que era sellado por los extremos y cortado a la mitad longitudinalmente con una sierra eléctrica. Los sedimentos recolectados en los nucleadores se guardaron en bolsas de plástico por intervalos constantes de 20 cm para el " Tepule " y de 10 cm para el nucleador de caja, también se muestrearon por separado los horizontes distintos a simple vista.

Durante la campaña, al bajar el muestreador de caja en la estación 23 este se desprendió del cable cuando se encontraba a una profundidad de 63 m, se sospecha que esto fue producto de una ruptura de la unión del nucleador con el cable, este incidente obligó a muestrear toda la región C, y las demás estaciones siguientes con el " Tepule " únicamente; el hecho de que fueran obtenidos aún con el área de muestreo tan disminuída una buena cantidad de nódulos plantea la posibilidad de que la concentración de estos en el sedimento es muy importante. Dada la cantidad de tubos de PVC disponibles se tuvieron que utilizar mitades de tubo ya usadas, unidas con abrazaderas y cinta adhesiva, también las narices de la parte inferior de los tubos que actúan como soportes para no dejar escapar el sedimento se eliminaron, puesto que de seis narices con que se contaba solo quedó una, las demás se perdieron junto con los tubos en que venían montadas al chocar con el sustrato rocoso. El empleo de mitades de tubos ya usados demostró buenos resultados inclusive sin el montaje de narices, y és una técnica que resultó más económica, rápida y fácil para muestrear, que se recomienda para subsecuentes campañas en la zona ( UNAM-CONACYT, 1986a ).

Las estaciones número 3, 4, 9, 16, 23, 24, 29, 35, 42 y 46 se suprimieron por riesgo de choque del instrumental con un posible sustrato rocoso,

### III.2. TRABAJO DE LABORATORIO

En el laboratorio se determinó primero el color del sedimento utilizando las tablas de color de Munsell para suelos ( Soiltest Inc., -- 1975 ), en estas tablas se contemplan tres características que definen a un color: tinte, entre el rojo ( R ) y el amarillo ( Y ), en tres escalas numéricas del 1 al 10 de R, YR y Y; luminosidad, definida por una escala numérica del 1 al 10; e intensidad o viveza del color, definida también por una escala numérica del 1 al 10. Cada nombre de color abarca un cierto rango de valores en las tres características, el color pues se determina de manera más específica por una clave, colocando primero el tinte y después la relación luminosidad/viveza ( por ejemplo: 10YR 4/2 ). Se determinó en el laboratorio el color de todas las muestras colectadas, pero aquí sólo se presentan los resultados de las muestras superficiales de cada núcleo ( ver tabla 2 ), y los de 10 núcleos escogidos en los que se sustenta el estudio de sedimentos a -- profundidad de este trabajo ( ver tabla 6 ).

Después se hicieron frotis de todos los intervalos muestreados. - El frotis es una preparación de sedimento sobre un portaobjetos, y cubierta por un cubreobjetos, utilizándose como adhesivo en la preparación bálsamo de Canada. El procedimiento de preparación del frotis es el siguiente: se colocan en un portaobjetos una o dos gotas de sedimento mezclada con agua, según la turbiedad de la mezcla, entonces se deja secar sobre una platina térmica a aproximadamente 200° C por unos cinco minutos, se agregan una o dos gotas de bálsamo sobre el lodo, y sobre el cubreobjetos previamente colocado en la platina se ponen pequeñas gotas en las puntas ( de esta forma se economiza el bálsamo ); es necesario esperar otros cinco minutos para que el bálsamo de Canada se caliente, y entonces se coloca el cubreobjetos sobre la preparación, y se presiona con un palillo de madera de manera que no queden burbujas de aire sobre el lodo y el exceso de bálsamo no se acumule entre el cu

brochijos y el portaobjetos: entonces se retira el frotis de la platina, y una vez frio se elimina el exceso de bálsamo ya cristalizado con una navaja, por último, se limpia el frotis con un algodón empapado en alcohol. De esta manera se pueden hacer hasta veinte frotis al mismo tiempo.

Una vez terminados los frotis se utilizaron en el análisis de constituyentes del sedimento que se realizó con un microscopio petrográfico, se seleccionaron para el estudio todos los frotis de las muestras superficiales y los de diez núcleos representativos, en total se observaron al microscopio petrográfico 136 frotis. Se determinaron además de los constituyentes del sedimento sus porcentajes, mediante una estimación visual del área cubierta por cada constituyente, revisando toda la preparación, pues se observó que la distribución de estos no era homogénea a lo largo de toda ella sino en capas concéntricas; también se hizo una estimación de la composición granulométrica del sedimento utilizando el mismo procedimiento, esta última determinación se anexa a los resultados de constituyentes del sedimento ( tablas 5 y 7 ).

Las muestras superficiales de la campaña MIMAR II se dividieron en dos o tres porciones ( algunas muestras no se dividieron ) según la cantidad de sedimento en cada bolsa, de esta forma se tuvieron más o menos cincuenta gramos de muestra húmeda, cantidad suficiente para un tamizado confiable; con esta porción de sedimento se determinó el porcentaje en peso de arenas y lodos mediante tamizado. El procedimiento es el siguiente:

Se coloca la porción de muestra en una cápsula de porcelana que se numera para su reconocimiento, entonces se deja secar el mayor tiempo posible ( es decir a la temperatura ambiente ), para evitar que el sedimento se endurezca, una vez seco el sedimento se remueve de la cápsula a otra cápsula con una espátula y una brocha, se coloca la cápsula vacía en una balanza analítica, se calibra a ceros el medidor electrónico de la misma, y se devuelve el sedimento a la cápsula vacía con

una brocha, de esta manera se obtiene el peso en seco del sedimento; - entonces se le agrega agua al sedimento y se espera a que se hidrate - de nuevo. La muestra una vez hidratada se tamiza con una malla del número 250 ( marca Mont-Inox ) que separa al sedimento en una fracción - lodosa y una areno-gravosa, la fracción lodosa se pierde y la areno-gravosa se devuelve a la cápsula de porcelana, se deja secar, y se vacía en otra cápsula colocada sobre la balanza analítica ( calibrada a centros ). Cuando hay fragmentos gravosos se separan de la arena con unas pinzas y se pesan por separado; de esta manera se obtiene el peso de 2 arenas ( y el de gravas ) en seco. Entonces, mediante una regla de tres se calculan los porcentajes en peso de arenas y gravas. Los resultados se presentan en la tabla 3. Las muestras tamizadas contienen algunas limaduras de PVC en la fracción arenosa que se consideraron despreciables en la técnica de determinación anterior, pues representaban muy poco peso, y es difícil su separación de las arenas.

La fracción arenosa se analizó en un microscopio binocular, determinándose sus constituyentes y proporciones, los resultados están referidos a una escala visual que es aproximada, y se presentan en la tabla 4. Además se tomaron fotomicrografías de los constituyentes de la arena con el microscopio electrónico de barrido del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología ( lámina 3 ).

### III.3. TRABAJO DE GABINETE.

La investigación bibliográfica que generalmente antecede a un trabajo fue realizada por investigadores y estudiantes asociados al proyecto UNAM-CONACYT, clave PCCBNA-022127, y condensada en el informe técnico de avance No. 1 del mismo proyecto ( UNAM-CONACYT, 1985 ), en él se resumen los resultados de dicha investigación y se traza el plan de trabajo de lo que fue la campaña oceanográfica MIMAR II. La información bibliográfica utilizada en esta tesis fue obtenida después del --

trabajo de laboratorio, atendiendo a las primeras ideas que arrojó el procesamiento de los datos.

Los resultados obtenidos en el laboratorio fueron procesados mediante la elaboración de planos y secciones de concentración de los diferentes componentes y características del sedimento, de esta forma, se puso en evidencia la relación entre los sedimentos y su distribución geográfica.

Una vez concluido el punto anterior se consultó la publicación -- ASFA II ( Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts, parte II, Universidad de Cambridge ) de los años de 1983 a 1986, esta publicación ofrece una recopilación de resúmenes de artículos sobre ciencias del mar - ( la parte II se refiere a temas sobre el mar en su aspecto no viviente ). A partir de esta publicación se seleccionó el material bibliográfico de acuerdo a tres tópicos de interés: dorsal del Pacífico oriental, chimeneas hidrotermales y corrientes marinas.

\*\*\*\*\*

## CAPITULO IV: ANALISIS SEDIMENTOLOGICO.

En este capítulo se discuten las características y propiedades -- del sedimento recolectado y las tendencias que presenta. también se in- cluyen los resultados del análisis sedimentológico de nódulos realiza- do por personal participante en el proyecto UNAM-CONACYT ( clave PCCBE NA-022127 ), y algunos resultados del análisis químico de sedimentos - de la campaña. Se tratan además los resultados de color de sedimento, - proporción de grava, arena y lodo en el sedimento, y descripción de -- frotis y fracciones arenosas. El capítulo se divide en dos partes: aná- lisis de sedimentos superficiales y análisis de sedimentos a profundi- dad.

### IV.1. ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES.

#### IV.1.1. COLOR DEL SEDIMENTO.

El color del sedimento superficial se presenta en la tabla 3, y - su distribución geográfica está representada en la figura 4.

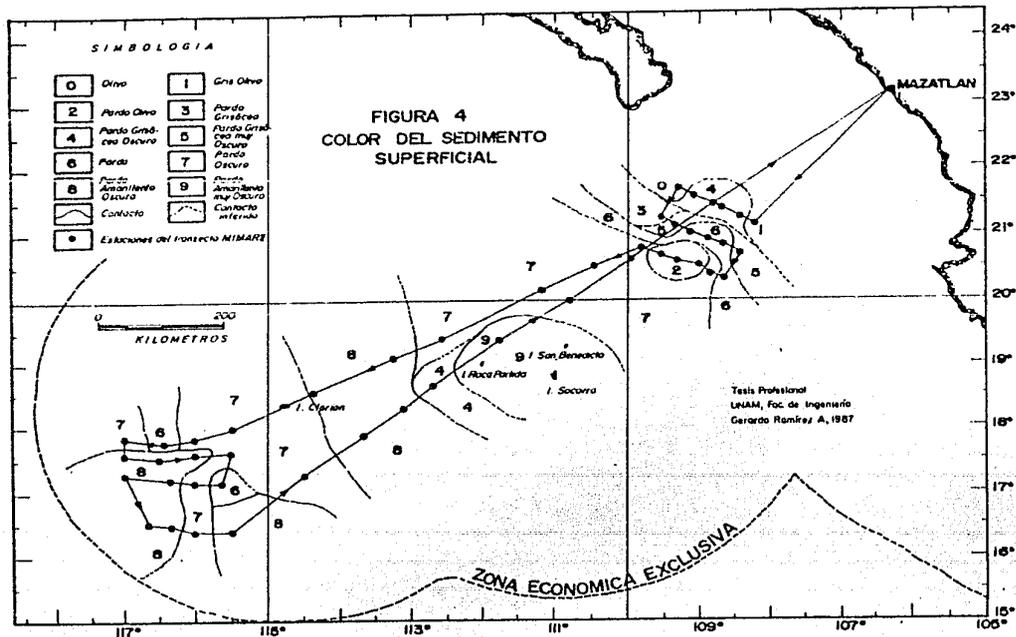
En la figura 4 se aprecia un contraste notable de color de la re- gión A a las regiones B y C. En la región A predominan los colores par- do grisáceos, pardo olivo ( estaciones 15 y 16 ), gris olivo ( esta- -- ción 1 ) y olivo ( estación 6 ), en cambio, en las regiones B y C pre- dominan ampliamente los colores pardo oscuro y pardo amarillento oscu- ro, con pequeñas zonas de sedimentos pardos en la región C ( estacio- -- nes 26 y 32 ), y una zona de pardo amarillento muy oscuro y pardo gri- sáceo oscuro alrededor del archipiélago de Revillagigedo, en lo que pa- rece es una influencia directa de este archipiélago sobre los sedimen- tos cercanos.

Como una primera aproximación basada en lo anterior se puede pen- sar en un ambiente más oxidante en las regiones B y C, mientras que en

TABLA 2.- COLOR DEL SEDIMENTO SUPERFICIAL \*

<u>ESTACION</u>	<u>CLAVE</u>	<u>NOMBRE</u>
1	5Y 4/2	Gris olivo
2	1Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5	1Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro
6	5Y 4/3	Olivo
7	4Y 5/2	Pardo grisáceo
8	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
10	10YR 5/5	Pardo
11	1Y 5/3	Pardo
12	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
13	10YR 4/3	Pardo
14	10YR 3/3	Pardo oscuro
15	2Y 4/4	Pardo olivo
17	2Y 4/3	Pardo olivo
18	10YR 3/3	Pardo oscuro
19	9YR 3/3	Pardo oscuro
20	10YR 3/3	Pardo oscuro
21	8YR 3/3	Pardo oscuro
22	9YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
25	10YR 4/3	Pardo oscuro
26	10YR 5/3	Pardo
27	9YR 4/3	Pardo oscuro
28	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
30	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
31	9YR 4/3	Pardo oscuro
32	9YR 4/3	Pardo
33	10YR 4/3	Pardo oscuro
36	9YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
37	9YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
38	8YR 3/4	Pardo oscuro
39	9YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
40	9YR 4/3	Pardo oscuro
41	10YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
43	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
44	9YR 3/2	Pardo amarillento muy oscuro
45	9YR 4/3	Pardo oscuro

\* El color del sedimento se determinó de acuerdo a las tablas de MUNSELL ( 1975 ).



la región A prevalece un ambiente más reductor, esto solo como una hipótesis con base en el color del sedimento.

#### IV. 1.2. PROPORCION DE GRAVA, ARENA Y LODO DEL SEDIMENTO.

Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 3 y en la figura 5 e indican una disminución general del porcentaje de arenas desde la dorsal hacia el oeste; solo en la estación 45 cercana al archipiélago de Revillagigedo se detectó un aumento en la proporción de arenas que no corresponde al comportamiento general, sino a la cercanía de esta estación a las islas antes mencionadas. Parece ser que los resultados indican una gradual influencia del continente, que va en aumento a medida que nos acercamos a este, las áreas más al oeste parecen a su vez estar libres de la influencia del aporte continental. Sin embargo, el análisis al microscopio binocular de la fracción arenosa -- ( tabla 4 ) indica una influencia dominante del océano sobre los sedimentos estudiados, existen elementos de origen volcánico submarino, organismos pelágicos, minerales presumiblemente autigénicos y concreciones de arcilla endurecida ( grumos de arcilla ) que son partículas que se originan en el ambiente oceánico, además, el aporte continental al mar se acumula generalmente en la base del talud continental, quedando las zonas abisales libres de detritos arenosos continentales ( Lugo, 1986 ); entonces cabe decir que la distancia a la dorsal es la clave del contenido de arenas y también de su composición como a continuación se muestra; sin embargo, no hay que perder de vista el hecho de que la masa de agua y su circulación dominan la distribución de algunos elementos del sedimento, como por ejemplo la de los organismos pelágicos y minerales autigénicos. En la región A los productos volcánicos predominan ligeramente sobre los organismos pelágicos y los presuntos productos autigénicos ( al microscopio los óxidos y minerales opacos se presentan como agregados botroidales ) son nulos, en cambio, en las regiones

TABELA 3. - PORCIENTO EN PESO DE GRAVA, ARENA Y LODO  
EN EL SEDIMENTO SUPERFICIAL \*

ESTACION	PESO TOTAL DE LA MUESTRA EN SECO	PESO EN SECO DE GRAVA	PESO EN SECO DE ARENA	PORCENTAJES		
				GRAVA	ARENA	LODO
1	28.09	00.00	06.16	00.0%	21.9%	78.9%
2	08.38	00.00	00.51	00.0%	06.1%	93.9%
5	06.40	00.00	00.27	00.0%	04.2%	95.8%
6	22.85	00.00	00.19	00.0%	00.8%	99.2%
7	27.27	00.00	00.70	00.0%	02.6%	97.4%
8	06.53	00.00	00.21	00.0%	03.2%	96.8%
10	10.94	00.00	00.24	00.0%	02.2%	97.8%
12	06.89	00.00	00.16	00.0%	02.3%	97.7%
13	12.45	00.00	00.35	00.0%	02.8%	97.2%
14	08.19	00.00	00.33	00.0%	04.0%	96.0%
17	13.54	00.00	00.37	00.0%	02.7%	97.3%
18	11.20	00.00	00.44	00.0%	03.9%	96.1%
19	26.21	00.08	00.82	00.3%	03.1%	96.6%
20	08.79	00.00	00.29	00.0%	03.3%	96.7%
21	18.21	00.00	00.35	00.0%	01.9%	98.1%
22	28.04	00.00	00.19	00.0%	00.7%	99.3%
25	23.39	00.00	00.35	00.0%	01.5%	98.5%
26	14.75	01.41	00.13	09.6%	00.9%	89.5%
27	04.56	00.00	00.09	00.0%	02.0%	98.0%
28	13.87	00.00	00.23	00.0%	01.7%	98.3%
30	19.44	00.00	00.47	00.0%	02.4%	97.6%
31	19.79	00.00	00.08	00.0%	00.4%	99.6%
32	14.14	00.00	00.09	00.0%	00.6%	99.4%
33	37.09	00.00	00.32	00.0%	00.9%	99.1%
36	24.18	00.15	00.21	00.6%	00.9%	98.5%
37	24.96	00.00	00.17	00.0%	00.7%	99.3%
38	04.85	00.00	00.19	00.0%	03.9%	96.1%
39	12.63	00.00	00.29	00.0%	02.3%	97.7%
40	20.79	00.06	00.43	00.3%	02.1%	97.6%
41	20.17	00.00	00.20	00.0%	01.0%	99.0%
44	23.40	00.00	00.43	00.0%	01.8%	98.2%
45	18.32	00.21	01.59	01.1%	08.7%	90.2%

\* Los pesos en las columnas están dados en gramos (g).

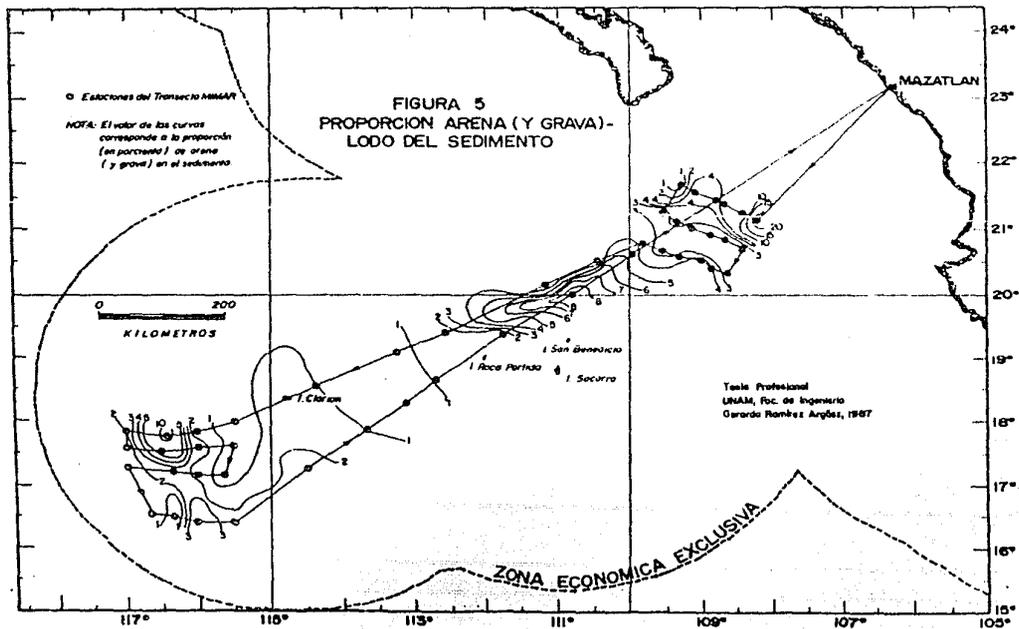


TABLA 4.- COMPOSICION DE LA FRACCION ARIANOSA EN LAS MUESTRAS SUPERFICIALES

Explicación:

V.V. Vidrio volcánico	QZ. Cuarzo	MJSC. Muscovita
BIOT. Biotita	M.P. Minerales pesados	F.R. Fragmentos de roca
M.O. Minerales opacos	OX. Oxidos e hidróxidos	DIAT. Diatomeas
RAD. Radiolarios	FORA. Foraminíferos	ESP. Espículas de esponja
SLFL. Silicoflagelados	ZEOL. Zeolitas	G.A. Grupos de arcilla
	* Trazas	

ESTACION	V.V.	QZ.	MJSC.	BIOT.	M.P.	F.R.	M.O.	OX.	DIAT.	RAD.	FORA.	ESP.	SLFL.	ZIOL.	G.A.
1	18%	5%	*	1%	-	29%	*	*	*	12%	7%	-	*	*	28%
2	2%	2%	*	1%	-	-	*	-	4%	10%	2%	*	*	-	79%
5	2%	3%	-	-	-	*	1%	-	3%	18%	3%	*	-	*	70%
6	8%	14%	2%	4%	1%	-	*	-	1%	19%	9%	*	*	*	42%
7	5%	4%	1%	3%	-	*	1%	*	5%	41%	4%	1%	*	*	35%
8	3%	4%	1%	1%	-	*	2%	*	*	20%	2%	2%	*	*	65%
10	12%	8%	2%	*	-	5%	*	*	1%	15%	2%	*	-	*	55%
12	2%	1%	1%	*	-	*	2%	*	2%	6%	*	*	-	-	86%
13	11%	5%	4%	2%	*	*	-	*	1%	6%	*	*	*	-	71%
14	3%	8%	-	1%	-	12%	*	*	3%	15%	*	*	*	*	58%
17	9%	9%	3%	2%	-	*	*	*	2%	16%	2%	*	*	*	57%
18	5%	2%	1%	1%	*	*	*	*	3%	30%	*	-	*	*	58%
19	10%	18%	5%	*	-	3%	7%	*	5%	35%	6%	1%	*	*	10%
20	9%	5%	6%	-	-	*	9%	*	6%	48%	3%	2%	*	*	12%
21	6%	7%	*	-	-	4%	6%	*	8%	47%	2%	2%	*	*	18%
22	12%	7%	*	-	-	-	24%	*	7%	40%	*	*	-	*	10%
25	13%	9%	-	-	-	*	7%	*	2%	15%	-	*	*	*	54%
26	3%	3%	1%	*	*	*	20%	*	3%	35%	2%	3%	*	*	30%
27	4%	3%	3%	-	-	*	12%	2%	*	4%	2%	2%	-	*	68%
28	11%	6%	3%	-	-	*	19%	*	4%	42%	2%	2%	*	*	13%

( Continúa ).....

TABLA 4. - COMPOSICION DE LA FRACCION ARINOSA EN LAS MUESTRAS  
 SUPERFICIALES  
 ( Continuición )

<u>ESTACION</u>	<u>V.V.</u>	<u>OZ.</u>	<u>MUSC.</u>	<u>BIOT.</u>	<u>M.P.</u>	<u>F.R.</u>	<u>M.O.</u>	<u>OX.</u>	<u>DIAT.</u>	<u>RAD.</u>	<u>FORA.</u>	<u>ESP.</u>	<u>SLFI.</u>	<u>ZEOL.</u>	<u>G.A.</u>
30	8%	7%	1%	-	-	-	14%	*	2%	23%	*	1%	*	-	44%
31	25%	19%	6%	-	*	-	11%	6%	*	12%	2%	4%	-	*	15%
32	10%	10%	2%	-	*	-	32%	1%	4%	15%	4%	2%	-	-	20%
33	8%	2%	-	-	-	-	13%	1%	*	35%	*	3%	-	*	38%
36	15%	11%	4%	-	-	20%	16%	2%	-	5%	*	*	-	*	27%
37	9%	8%	1%	-	-	*	6%	*	3%	44%	*	*	*	*	29%
38	4%	2%	1%	-	-	-	15%	*	4%	25%	*	*	*	*	49%
39	2%	2%	2%	-	-	-	10%	1%	3%	54%	*	*	*	*	26%
40	3%	3%	1%	-	-	6%	21%	*	4%	24%	5%	1%	*	*	32%
41	4%	4%	1%	-	-	*	7%	*	7%	60%	2%	2%	*	*	13%
44	13%	13%	4%	-	-	-	8%	2%	4%	50%	2%	*	*	*	4%
45	1.5%	1.5%	2%	-	-	5%	6%	1%	6%	60%	10%	*	-	*	7%

B y C los organismos pelágicos predominan sobre los productos volcánicos, y los precipitados autigénicos representan una porción importante en la fracción arenosa, solo en algunas estaciones ocurre lo contrario como es el caso de las estaciones 31, 32 y 36, en donde se reportan al tos contenidos de vidrio volcánico y cuarzo. El aspecto de los constituyentes de la arena se aprecia en la lámina 3, en que aparecen algunas fotomicrografías tomadas con el microscópio electrónico de barrido del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

#### IV.1.3. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS.

El resultado de los análisis de frotis de sedimentos superficiales se presenta en la tabla 5, con estos resultados se elaboraron las figuras 6, 7, 8 y 9, que representan la variación de los constituyentes a lo largo del transecto MDMAR II.

De acuerdo con la clasificación usada en el D.S.D.P. ( CNEO, --- 1984 ) para sedimentos marinos las muestras estudiadas se catalogan como arcillas pardas, con excepción de las estaciones 1 ( cuyo color es olivo ) y 32 ( que se clasifica como un coque silíceo ).

Los constituyentes principales del sedimento se pueden agrupar en cuatro conjuntos de acuerdo a las características semejantes que presentan algunos de ellos: el vidrio volcánico, la palagonita y tal vez el cuarzo se pueden considerar productos del vulcanismo submarino; las diatomeas y radiolarios representan el principal aporte biógeno al sedimento; los minerales opacos y óxidos ( e hidróxidos complejos ) como partículas amorfas, no cristalinas y presentes como crecimientos botroidales representarían una fase autígena, y por último, los minerales arcillosos se pueden separar como una fase distinta a las otras tres.

En la figura 6 se presenta la proporción de vidrio volcánico y palagonita en el sedimento, las concentraciones varían de 2% a 19%; en -



Fig. 1. Aspecto que muestra el mineral de la fracción de 30 micras. (100x)

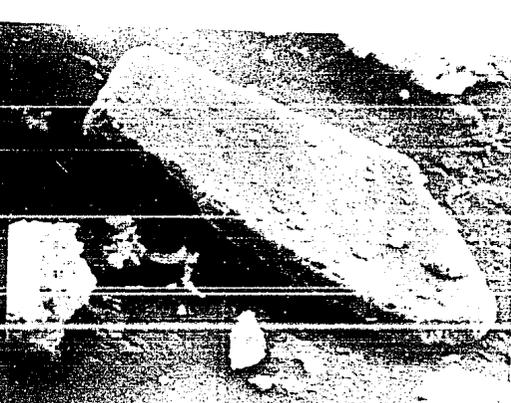


Fig. 2. Aspecto que muestra el mineral de la fracción de 30 micras. (100x)

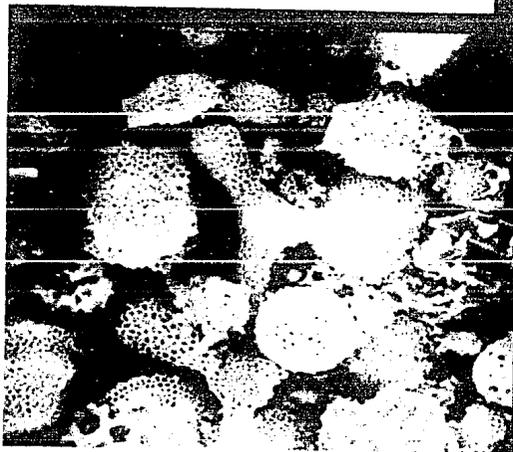


Fig. 3. Aspecto que muestra el mineral de la fracción de 30 micras. (100x)

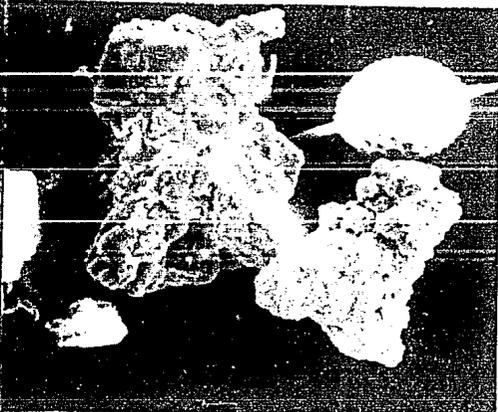


Fig. 4. Aspecto que muestra el mineral de la fracción de 30 micras. (100x)

TABLE 5.- DESCRIPCION DE LOS FROTIS SUPERFICIALES

Explicación:

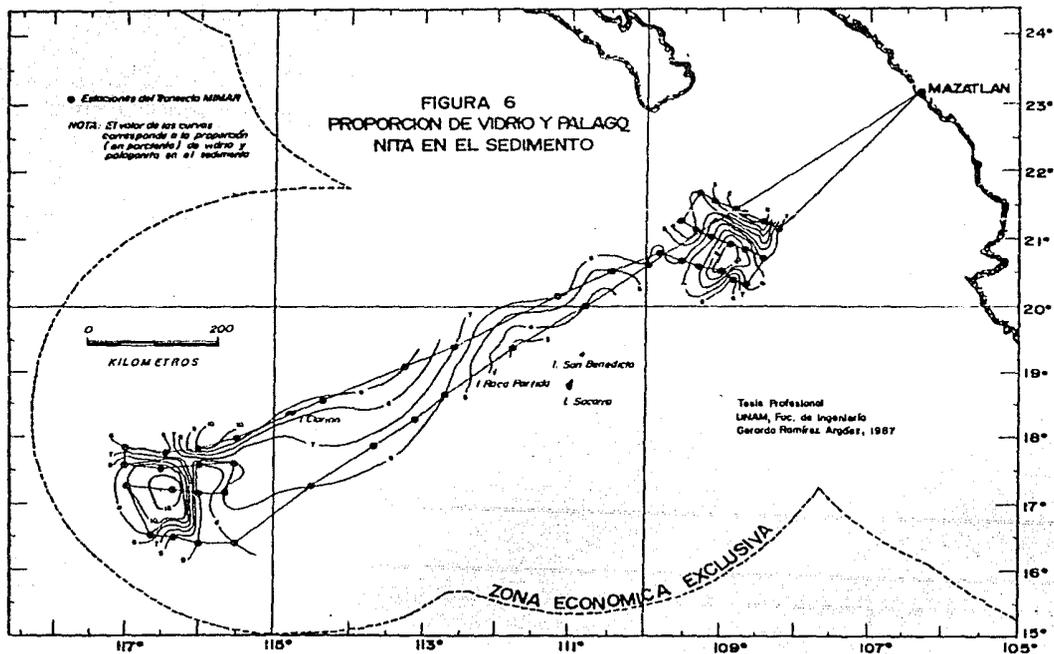
V.V.	Vidrio Volcánico	PAL.	Palagonita	QZ.	Cuarzo
MISC.	Muscovita	M.O.	Minerales Opacos	M.P.	Minerales Pesados
F.R.	Fragmentos de Roca	OX.	Oxidos e Hidróxidos	M.A.	Minerales arcillosos
ZFO.	Zeolitas	DIAT.	Diatomeas	RAD.	Radiolarios
FORA.	Foraminíferos	CLS.	Calciesferúlicos ( ? )	COCL.	Cocolitofrídos
SLFL.	Silicoflagelados	ESP.	Espículas de Esponja	AR.	Arena
ARC.	Arcilla	LIM.	Limo	*	Traza

FROTIS ( EST. )	CONSTITUYENTES													GRAMULOMETRIA					
	V.V.	PAL.	QZ.	MISC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZFO.	M.O.	OX.	DIAT.	RAD.	CLS.	FORA.	ESP.	COCL/ SLFL.	AR.	LIM.	ARC.
1	7%	-	9%	4%	-	-	57%	1%	1%	2%	5%	10%	3%	1%	-	*/*	16%	20%	64%
2	2%	-	2%	1%	-	-	64%	1%	1%	7%	10%	10%	.5%	.5%	1%	*/*	10%	20%	70%
5	3%	-	4%	-	-	-	60%	3%	-	7%	12%	8%	1%	1%	1%	*/*	12%	22%	66%
6	3%	1%	7%	1%	-	1%	58%	2%	5%	2%	10%	10%	*	-	*	*/*	11%	27%	62%
7	4%	.5%	4%	2%	*	-	58%	1.5%	-	8%	9%	13%	-	-	-	-	13%	25%	62%
8	2%	2%	4%	1.5%	-	-	45%	4%	-	13%	19%	9%	-	-	.5%	-	15%	39%	46%
10	6%	4%	7%	1%	*	-	45%	.5%	1%	8.5%	15%	11%	-	-	1%	*/*	16%	30%	54%
11	4%	5%	6%	1.5%	*	-	51%	1.5%	4%	5%	10%	12%	*	*?	-	*/*	7%	30%	63%
12	5%	2%	3.5%	2%	-	1%	48%	2%	*	20%	10%	5.5%	-	-	1%	*/*	8%	36%	56%
13	5%	3%	3%	3%	*	*?	54%	3%	1%	7%	10%	12%	-	-	-	*/*	14%	27%	59%
14	4%	2%	2%	2%	-	-	57%	1.5%	1%	8%	12%	10%	-	-	.5%	-	16%	30%	54%
15	6%	4%	4%	.5%	*	-	55%	3%	1%	6%	10%	10%	-	-	.5%	-	10%	27%	63%
17	3%	3%	6%	2%	1%	*	48%	3%	2%	5%	13%	12%	.5%	*	1.5%	*/*	8%	34%	58%
18	2.5%	4%	3%	1.5%	-	-	54%	2%	-	8%	17%	7%	-	-	1%	*/*	11%	24%	65%
19	5%	*	9%	3%	*	-	43%	2.5%	3%	7%	10%	17%	*	-	.5%	*/*	13%	38%	49%
20	6%	-	3%	4%	-	-	46%	4%	5%	9.5%	7.5%	15%	*	-	-	*/*	12%	36%	52%
21	5%	2%	8%	1%	*	-	55%	4%	-	6%	12%	7%	-	-	-	*/*	5%	30%	65%
22	7%	2%	4%	.5%	*?	-	58%	3%	3%	7%	6%	9%	-	-	.5%	-	3%	35%	62%
25	7%	3%	7%	*	*?	-	55%	2%	-	14%	3%	8%	-	-	1%	-	6%	35%	59%
26	2%	4%	5%	3%	1%	-	49%	2%	1%	7%	7%	18%	-	-	1%	-	8%	34%	58%
27	3%	3%	4%	6%	-	-	56%	.5%	-	12%	2%	13%	*	-	.5%	*/*	12%	24%	64%
28	6%	3%	6%	2.5%	.5%	*	53%	3%	3%	5%	5%	13%	*	-	*	*/*	5%	26%	69%

( Continúa ).....

TABLA 5.- DESCRIPCIÓN DE LOS FROTIS  
 SUPERFICIALES  
 ( Continuación )

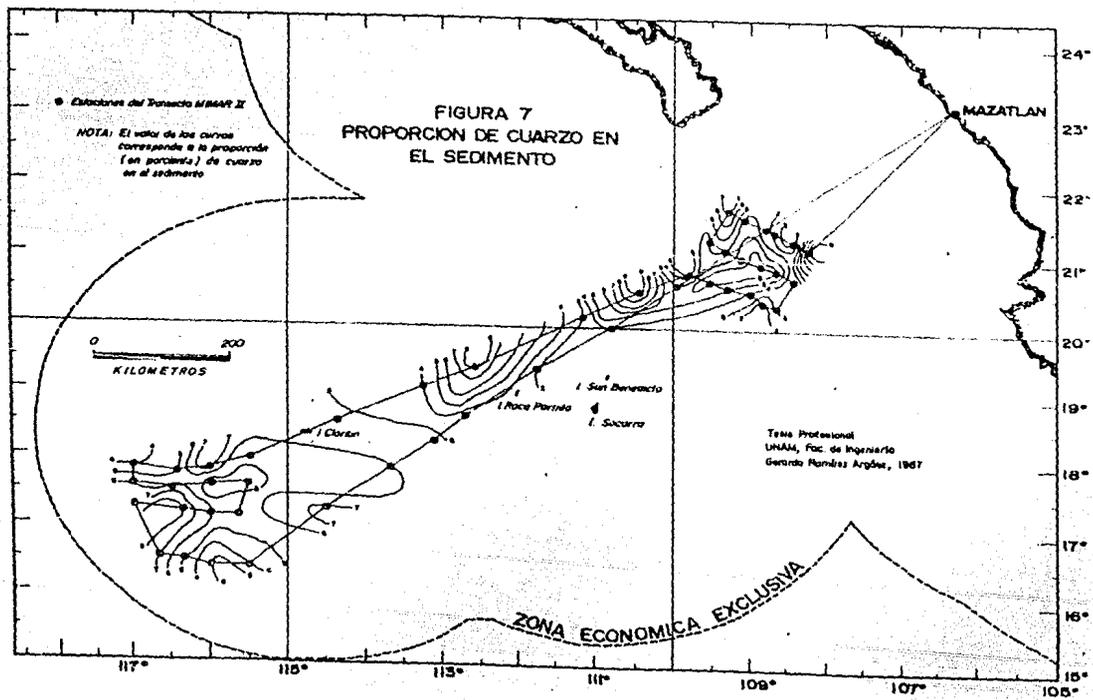
FROTIS ( EST. )	CONSTITUYENTES														GRANULOMETRIA				
	V.V.	PAL.	OZ.	MUSC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZEOL.	M.O.	OX.	DIAT.	RAD.	CLS.	FORA.	ESP.	COCL/ SLFL.	AR.	L.IM.	ARC.
30	3%	2%	4%	1%	*	*	57%	2%	*	10%	6%	14%	-	-	1%	-/-	7%	28%	65%
31	4%	2%	4.5%	1%	-	*	55%	3%	2.5%	9%	6%	12%	-	-	1%	-/*	9%	26%	65%
32	4%	2%	6%	.5%	1%	*	39%	.5%	-	11%	19%	16%	-	-	1%	-/*	14%	35%	51%
33	3%	2%	6%	1.5%	*	-	58%	2%	4%	6%	6%	11%	-	*?	.5%	-/-	8%	30%	62%
34	17%	2%	8%	1%	1%	*	52%	.5%	*	16%	.5%	2%	-	-	-	-/-	8%	33%	59%
36	7%	2%	7%	1%	-	*	53%	.5%	9%	18%	.5%	2%	-	*	-	-/-	15%	40%	45%
37	3%	3%	5%	.5%	*	-	47%	2%	4%	12%	8%	15%	-	-	.5%	-/*	13%	38%	49%
38	4%	1%	3%	.5%	-	-	50%	3%	4%	9%	7%	18%	*	-	.5%	-/*	5%	35%	60%
39	3%	2%	4%	3%	*	-	55%	2%	1%	10%	11%	8%	-	-	1%	*/*	7%	30%	-63%
40	3.5%	2.5%	7%	1.5%	-	-	45%	3%	2%	10%	6%	19%	-	-	.5%	-/*	14%	38%	48%
41	5%	1.5%	6%	1.5%	-	-	44%	4%	*	9%	14%	14%	-	-	1%	-/*	12%	38%	50%
43	5%	1%	4.5%	1%	*	-	54%	1%	-	10%	9%	11%	-	*?	.5%	-/*	6%	33%	61%
44	3%	*	3%	1%	1%	-	50%	1.5%	-	12%	11%	17%	-	-	.5%	-/*	14%	25%	61%
45	2%	2%	4%	5.5%	*?	-	48%	2%	-	8%	9%	14%	1%	1%?	.5%	3%/*	9%	37%	54%

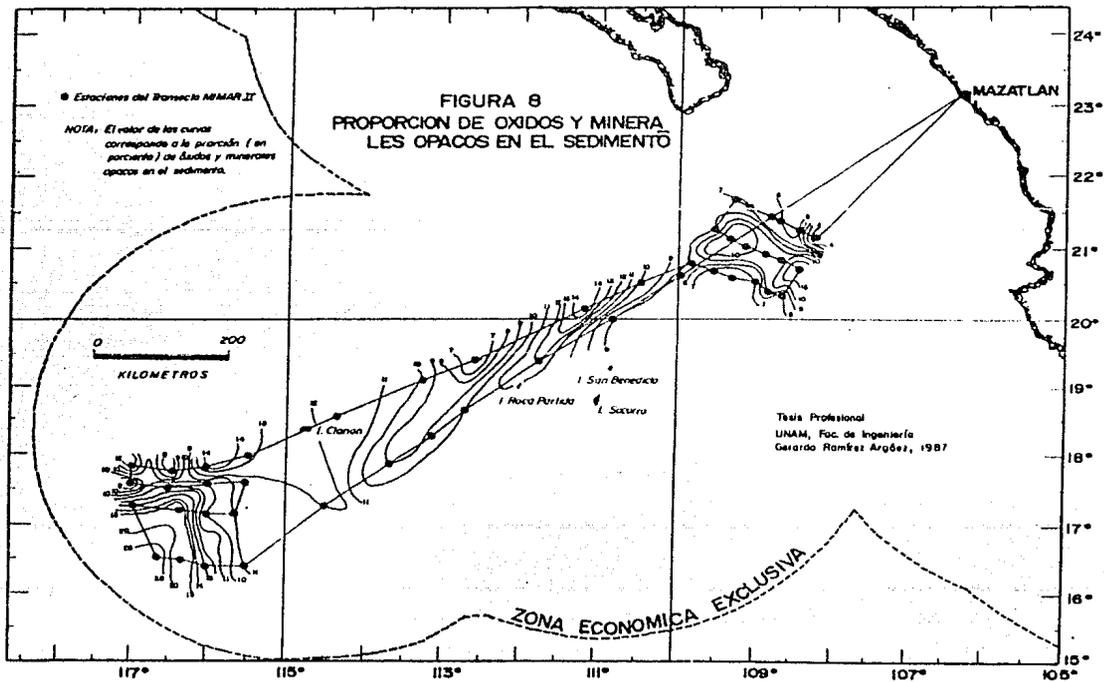


la región A el rango es de 2% a 10%, existiendo un alto en las estaciones 10 y 15, y un bajo en la estación 2. En la región B el rango es de 3% a 9%, incrementándose el contenido de vidrio y palagonita hacia el oeste y hacia el norte como se aprecia en la figura 6. Por último, en la región C el rango de valores va de 5% a 19% encontrándose hacia el centro de la zona un alto sobre la estación 34. La distribución de concentraciones indica altas anomalías en las regiones A y C, pero las concentraciones en B hacia el noroeste no están muy por debajo de estos altos, incluso en la estación 25 la concentración es de 10%, estos resultados parecen concordar con la posición de los dominios volcánicos en el área de estudio ( figura 3 ), aunque se esperaba un empobrecimiento de vidrio en el sedimento a partir de la dorsal mesoceánica hacia el oeste.

En el mapa de proporción de cuarzo en el sedimento ( figura 7 ) se aprecia la distribución bastante homogénea de este constituyente a lo largo de todo el transecto, su concentración va de 2% a 9%; en la región A se localiza el valor más bajo de 2% y el más alto de 9%, en la región B y en la C el rango va de 3% a 9%; no se aprecia una tendencia general de las concentraciones, habiendo varios altos y bajos locales que indican como se apuntó líneas arriba una distribución más homogénea.

La proporción de óxidos e hidróxidos complejos y minerales opacos ( figura 8 ) a diferencia de la proporción de cuarzo en el sedimento es bastante interesante. En general la región A presenta las concentraciones más bajas de todo el recorrido, a excepción de las estaciones 8 ( con 13% ) y 12 ( con 20% ) el rango varía de 4% a 3%. En la región B el rango de valores fluctúa entre 6% y 14.5% en estaciones adyacentes ( 21 y 20 respectivamente ), y la distribución parece ser bastante homogénea; en la región C se encuentran los valores más altos hacia el suroeste, siendo el rango de la otra zona de la región C ( al norte y este ) muy similar al rango de valores de la región B; en la porción -

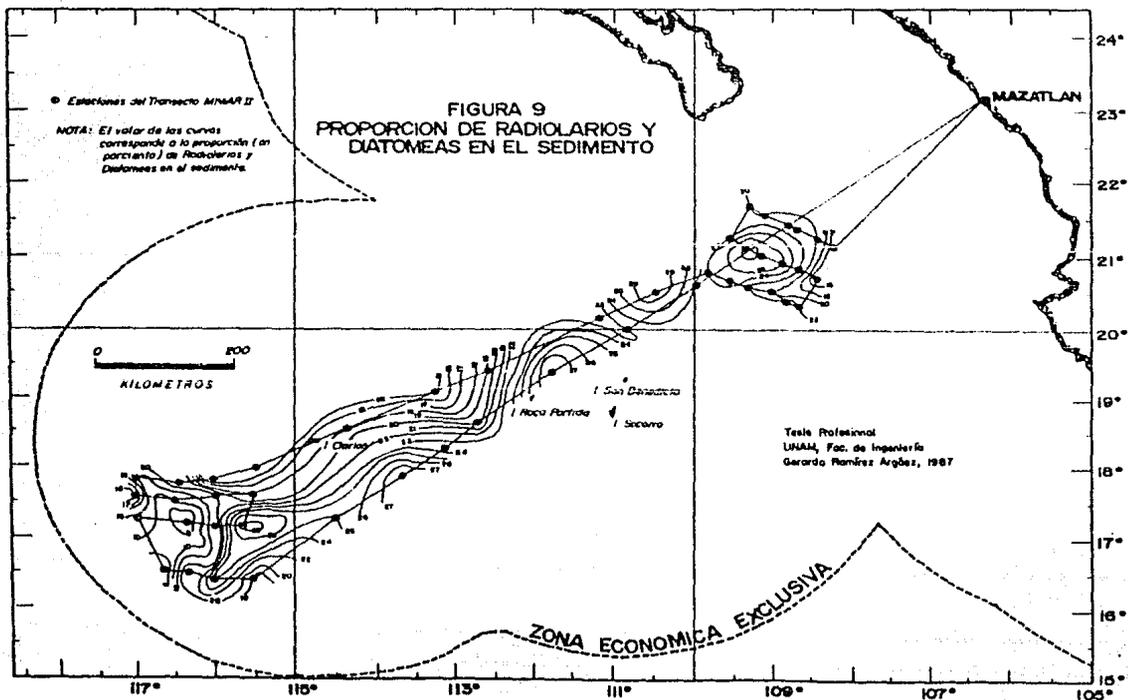




suroeste de la región de nódulos los valores llegan hasta el 27% de -- contenido de óxidos y minerales opacos en el sedimento ( estación 36 ), y este alto está muy cercano a la zona más rica en nódulos de las explo radas durante la campaña MEMAR II ( UNAM-CONACYT, 1986b ).

Los minerales opacos al microscópio generalmente están subordina dos a los óxidos e hidróxidos complejos y no parecen tener una tenden cia definida, siendo entonces estos últimos los que trazan las anoma lias en el área de estudio. Considerando a los óxidos y minerales opacos como resultado de procesos químicos in situ, es decir asumiendo su origen autigénico ( como parece ser por su forma y estructura mineral ) se puede definir un aumento en las condiciones oxidantes a partir de - la dorsal mesoceánica hacia el oeste, hipótesis que ya había sido emun ciada cuando se trató sobre el color del sedimento al principio de este capítulo

La distribución de radiolarios y diatomeas en el área de estudio- se muestra en la figura 9. En la región A el rango de concentraciones- fluctúa entre el 15% y el 28%, el mismo rango de concentración de la - región B; en la región C el rango es muy variable y va de 2.5% en la - parte centro y suroeste a 35% hacia el este de la región. Mientras que en el centro-oeste del área de estudio la concentración es muy semejan te, hacia el este de la región A y hacia el noroeste de la región B la- proporción de radiolarios y diatomeas decrece, y las mayores anomalías se encuentran en la región C. En cuanto a la relación entre radiolarios y diatomeas, en la región A hay una equivalencia más o menos sostenida, en la región B hay una ligera predominancia de los radiolarios sobre - las diatomeas, y en la región C la predominancia de los radiolarios so bre las diatomeas es fácilmente advertida en casi todas las estaciones ( solo en las estaciones 32 y 39 el contenido de diatomeas supera el - de radiolarios ). Se sabe que la relación radiolarios:diatomeas es indicativa de la latitud, a menor valor en la relación mayor latitud, -- pues el contenido de diatomeas sobre radiolarios aumenta al aumentar -



la latitud. Las variaciones de esta relación muy probablemente incluyen diversas corrientes provenientes de diferentes latitudes, pero -- hay que tomar con reserva esta afirmación, puesto que la presencia de testas retrabajadas en el sedimento representa una posibilidad alternativa de explicar la relación radiolarios:diatomeas.

En resumen se observan varias tendencias en la concentración de los constituyentes. Mientras la proporción de vidrio volcánico y palagonita aumenta en las regiones de nódulos y de la dorsal, el cuarzo se mantiene más o menos constante a lo largo de toda el área de estudio, los óxidos ( e hidróxidos complejos ) y minerales opacos tienden a aumentar su proporción hacia el oeste, y los radiolarios y diatomeas presentan grandes variaciones en la región C, pero la relación radiolarios:diatomeas crece hacia el oeste ( y hacia el sur ).

#### IV.2. ANALISIS DE SEDIMENTOS A PROFUNDIDAD.

##### IV.2.1. COLOR DEL SEDIMENTO.

Los resultados obtenidos en la determinación del color del sedimento se listan en la tabla 6, y están representados en la figura 10 - en donde se aprecian varios horizontes de color, mientras hacia el oeste predominan los pardos y pardos amarillentos hacia el este aparecen los colores pardo grisáceos, pardo olivo claro y gris olivo, con motas eventuales de color verde oscuro; esta distribución ya había sido observada en el color del sedimento superficial, e indica dos ambientes, uno más reductor hacia el este y otro más oxidante hacia el oeste, y - como las corrientes oceánicas son el principal proveedor de oxígeno en el piso oceánico, en el oeste las corrientes de fondo son más marcadas. Se reconocieron cinco horizontes de color, uno gris olivo con motas verde oscuro en la parte baja del núcleo de la estación 5, sobre este uno pardo grisáceo con motas verde oscuro que se profundiza desde la esta-

TABLA 6. -COLOR DEL SEDIMENTO A PROFUNDIDAD \*

<u>ESTACION E</u> <u>INTERVALO</u>	<u>CLAVE</u>	<u>NOMBRE</u>
5 2-10	1.5Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5 10-30	3.5Y 5/2	Pardo grisáceo ( con motas verde oscuro )
5 30-50	3.5Y 5/2	Pardo grisáceo
5 50-70	5Y 4/2	Gris olivo ( con motas ver de oscuro )
5 70-90	5Y 5/2	Gris olivo
5 90-110	3.5Y 5/2	Pardo grisáceo
5 110-130	4Y 5/2	Gris olivo ( con motas ver de oscuro )
5 130-150	3.5Y 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5 150-170	5Y 4/3	Gris olivo ( con motas ver de oscuro )
5 170-190	5Y 5/2	Gris olivo
5 190-210	5Y 5/2	Gris olivo ( con motas ver de oscuro )
5 210-230	5Y 4/2	Gris olivo
5 230-250	5Y 5/2	Gris olivo
5 250-270	6Y 4/2	Gris olivo
5 NARIZ	5Y 5/2	Gris olivo ( con motas ver de oscuro )
18 8-20	3.5Y 5/2	Pardo grisáceo
18 20-40	4Y 6/2	Pardo olivo claro
18 40-60	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro
18 60-80	3Y 5/2	Pardo grisáceo ( con motas verde oscuro )
18 80-100	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro
18 100-120	3Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas verde oscuro )
18 120-140	3Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas verde oscuro )
18 140-160	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas gris oscuro N 5/0 )
18 160-180	3Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas verde oscuro )
18 180-200	3Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas verde oscuro )
18 200-220	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro ( con motas verde oscuro )

( Continúa ).....

\* De acuerdo a las tablas de color de MUNSELL ( 1975 )

TABLA 6.-COLOR DEL SEDIMENTO A PROFUNDIDAD  
( Continuación )

<u>ESTACION E</u> <u>INTERVALO</u>	<u>CLAVE</u>	<u>NOMBRE</u>
18 220-240	4Y 6/2	Pardo olivo claro
18 240-260	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro
18 260-275	3.5Y 6/2	Pardo grisáceo claro
20 5-10	9YR 5/3	Pardo oscuro
20 10-20	9YR 4/3	Pardo oscuro
20 20-40	9YR 4/3	Pardo
20 40-60	9.5YR 5/3	Pardo
20 60-80	9.5YR 4/3	Pardo
20 80-100	10YR 5/4	Pardo amarillento
20 100-120	10YR 5/3	Pardo
20 120-140	10YR 5/4	Pardo amarillento
20 140-160	10YR 7/4-10YR 4/3	Pardo muy claro-Pardo oscuro
20 160-180	1Y 6/4	Pardo amarillento claro
20 180-200	10YR 3/3	Pardo oscuro
20 200-220	10YR 4/3	Pardo
20 220-240	10YR 5/3	Pardo
20 240-260	10YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
20 260-280	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
20 280-303	9.5YR 5/4	Pardo amarillento
22 10-20	9.5YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
22 20-40	9YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
22 40-60	9.5YR 4/3	Pardo
22 60-80	9YR 3/3	Pardo oscuro
22 80-100	8.5YR 3/3	Pardo oscuro
22 100-120	9YR 4/3	Pardo
22 120-140	8.5YR 4/3	Pardo
22 140-150	8.5YR 4/3	Pardo
25 5-20	9.5YR 4/3	Pardo
25 20-40	9YR 4/3	Pardo oscuro
25 40-60	9YR 4/3-9YR 7/4	Pardo oscuro-Pardo muy claro
25 60-80	9.5YR 4/3-9YR 6/4	Pardo-Pardo amarillento claro
25 80-100	10YR 5/2	Pardo grisáceo
25 100-120	9.5YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
25 120-140	10YR 3/3	Pardo oscuro
25 140-160	7.5YR 4/2	Pardo oscuro
25 180-200	9YR 3/3-9.5YR 7/4	Pardo oscuro-Pardo muy claro
25 200-220	9YR 3/3-9YR 7/4	Pardo oscuro-Pardo muy claro
25 220-240	8.5YR 3/3-10YR 7/4	Pardo oscuro-Pardo muy claro
25 240-256	8.5YR 3/3	Pardo oscuro

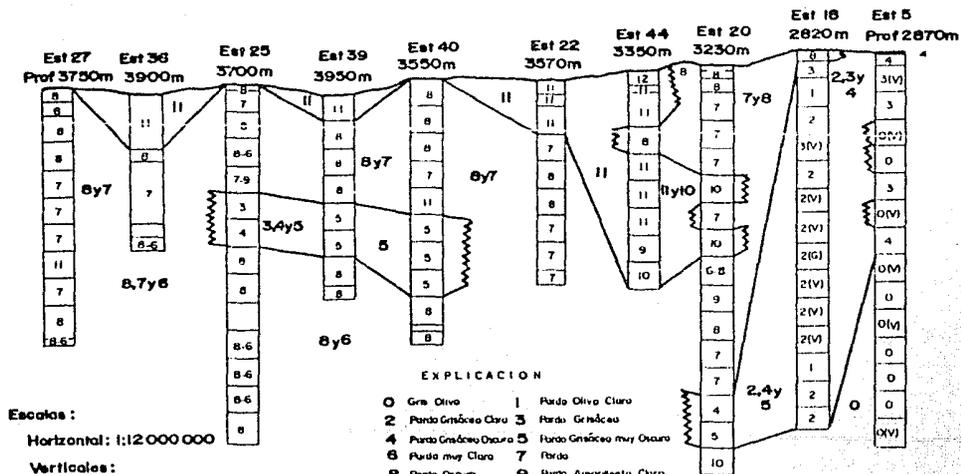
( Continúa ).....

TABLA 6.-COLOR DEL SEDIMENTO A PROFUNDIDAD  
( Continuación )

<u>ESTACION E</u> <u>INTERVALO</u>	<u>CLAVE</u>	<u>NOMBRE</u>
27 10-20	9YR 4/3	Pardo oscuro
27 20-40	9YR 4/3	Pardo oscuro
27 40-60	9YR 4/3	Pardo oscuro
27 60-80	9.5YR 4/3	Pardo
27 80-100	9YR 4/3	Pardo
27 100-120	9YR 4/3	Pardo
27 120-140	9YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
27 140-160	9YR 4/3	Pardo
27 160-185	9.5YR 3/3	Pardo oscuro
27 185-189	9.5YR 4/3-9YR 7/4	Pardo oscuro-Pardo muy claro
36 40-50	8.5YR 4/4	Pardo oscuro
36 50-95	10YR 4/3	Pardo
36 105-115	9YR 3/3-10YR 7/3	Pardo oscuro-Pardo muy claro
39 20-40	8.5YR 4/3	Pardo oscuro
39 40-60	8.5YR 3/4	Pardo oscuro
39 60-80	9YR 3/3	Pardo oscuro
39 80-100	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
39 100-120	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
39 120-140	9YR 3/3	Pardo oscuro
39 140-150	9.5YR 3/3	Pardo oscuro
40 20-40	8.5YR 4/2	Pardo oscuro
40 40-60	8.5YR 4/3	Pardo oscuro
40 60-80	10YR 4/3	Pardo
40 80-100	9YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
40 100-120	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
40 120-140	10YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
40 140-160	9YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
40 160-180	10YR 3/3	Pardo oscuro
40 180-195	8.5YR 5/2	Pardo oscuro
44 10-15	9.5YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
44 15-40	10YR 3/4	Pardo amarillento oscuro
44 40-60	8.5YR 4/3	Pardo oscuro
44 60-80	9YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
44 80-100	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
44 100-120	10YR 4/4	Pardo amarillento oscuro
44 120-140	10YR 6/4	Pardo amarillento claro
44 140-160	9.5YR 5/4	Pardo amarillento

FIGURA 10  
 COLOR DEL SEDIMENTO A  
 PROFUNDIDAD

Nivel Medio del Mar



Escala:

Horizontal: 1:12.000.000

Verticales:

Topografía: 1:1.000.000

Columnas: 1:26.666

EXPLICACION

- |    |                              |    |                           |
|----|------------------------------|----|---------------------------|
| 0  | Grn Olivo                    | 1  | Fardo Olivo Claro         |
| 2  | Fardo Grisáceo Claro         | 3  | Fardo Grisáceo            |
| 4  | Fardo Grisáceo Oscuro        | 5  | Fardo Grisáceo muy Oscuro |
| 6  | Fardo muy Claro              | 7  | Fardo                     |
| 8  | Fardo Oscuro                 | 9  | Fardo Amarillento Claro   |
| 10 | Fardo Amarillento            | 11 | Fardo Amarillento Oscuro  |
| 12 | Fardo Amarillento muy Oscuro | V  | Mosa Verde Oscuro         |
| G  | Mosa Grn Oscuro              |    |                           |

Tesis Profesional  
 UNAM, Fac. de Ingeniería  
 Gerardo Romérez, A., 1987

ción 5 en que es superficial hacia el oeste, otro horizonte pardo grisáceo se encuentra entre las estaciones 35, 39 y 40 a aproximadamente un metro de profundidad dentro del sedimento; los otros dos horizontes dominan la extensa porción oeste ( regiones B y C ) estando el horizonte pardo amarillento visiblemente asociado al vulcanismo submarino --- ( islas Revillagigedo al sur de las estaciones 22 y 44, y monte Justo-Sierra, nombre dado por Carranza. UNAM-CONACYT, 1987, directamente al sur de las estaciones 36 y 39, que están dentro de la depresión MIMAR ), mientras el horizonte pardo abarca toda la planicie abisal y laderas - al oeste de la dorsal mesoocéánica ( ver figura 3 ).

#### IV.2.2. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS.

En la tabla 7 se presenta la descripción de los frotis a profundidad, y la distribución de los diferentes constituyentes se muestra en las figuras 12, 13, 14, 15 y 16.

Los mismos constituyentes que componen al sedimento superficial - se encuentran en el sedimento a profundidad, solo se encontró un nuevo constituyente, los fragmentos de coral; es de apreciarse el gran contenido de  $\text{CaCO}_3$  ( principalmente en forma de testas de organismos planctónicos ) en los núcleos 5, 18 y 20, que incluso en el intervalo de 50 a 70cm del núcleo 5 llega a representar el 67% del total de la muestra. Este alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  respecto a los sedimentos superficiales - de las mismas columnas tiene implicaciones paleoceanográficas de mucho interés que quizá se puedan atribuir a cambios climatológicos durante las eras glaciales ( Mangini *et al*, 1982 ). Por otro lado, casi todas las muestras de sedimento se clasifican como arcillas pardas, solo algunas muestras de los núcleos de las estaciones 5, 18 y 20 son oozes - carbonatadas, y en la parte baja de la estación 5 el color es olivo.

La distribución de arenas, en por ciento en área, indica en general una disminución de éstas hacia el oeste a partir de la dorsal. Au-

TABLE 7.-DESCRIPCION DE LOS FROTIS A PROFUNDIDAD

Explicación:

V.V.	Vidrio volcánico	PAL.	Palagonita	QZ.	Cuarzo
MJSC.	Muscovita	M.P.	Minerales pesados	F.R.	Fragmentos de roca
M.A.	Minerales arcillosos	ZIOL.	Zeolitas	M.O.	Minerales opacos
OX.	Oxidos e Hidróxidos	F.C.	Fragmentos de coral	DIAT.	Diatomeas
RAD.	Radiolarios	FORA.	Foraminíferos	CIS.	Calcioferútilidos ( ? )
ESP.	Espículas de esponja	COCL.	Coccolitofóridos	SLIL.	Silicoflagelados
AR.	Arena	LIM.	Limo	ARC.	Arcilla
		*	Traza		

FROTIS ( EST. E INTERVALO )	CONSTITUYENTES																GRANULOMETRIA			
	V.V.	PAL.	QZ.	MJSC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZIOL.	M.O.	OX.	F.C.	DIAT.	RAD.	CIS.	FORA.	ESP.	COCL/ SLIL.	AR.	LIM.	ARC.
5 2-10*	3%	1%	4%	.5%	*	*	57%	.5%	2%	6%	-	8%	6%	.5%	-	1%	.5%/*	10%	25%	65%
5 10-30	3%	2%	3%	1%	-	2%	73%	*	2%	1%	-	6%	5%	-	*	1%	1%	5%	15%	80%
5 30-50	4%	2%	4%	2%	1%	5%	56%	*	2%	.5%	6%	-	2%	3%	2%	.5%	10%/-	10%	22%	68%
5 50-70	4%	2%	4%	4%	*	1%	10%	*	4%	1%	4%	2%	1%	1%	2%	-	60%/*	5%	35%	60%
5 70-90	3%	1%	5%	4%	*	3%	38%	.5%	3%	2%	3%	4%	6%	2%	*	.5%	25%/*	4%	30%	66%
5 90-110	5%	1%	6%	1%	*	1%	60%	1%	3%	2%	2%	8%	3%	1%	1%	-	5%	4%	21%	75%
5 110-130	6%	2%	6%	2%	*	2%	62%	1%	3%	1%	2%	7%	*	2%	*	-	4%	7%	27%	66%
5 130-150	5%	3%	4%	3.5%	-	2%	55%	.5%	3%	2%	1%	6%	7%	1%	*	*	7%	12%	32%	56%
5 150-170	4%	1%	5%	1%	*	1%	63%	.5%	2%	2%	1%	7%	5%	*	.5%	-	7%	7%	29%	64%
5 170-190	4%	1%	5%	2%	*	1%	61%	.5%	2%	1%	2%	7%	7%	*	.5%	-	6%	14%	20%	66%
5 190-210	2%	2%	4%	2%	-	2%	43%	2%	2%	2%	3%	14%	8%	1%	.5%	.5%	12%/-	11%	53%	56%
5 210-230	4%	1%	6%	2%	*	1%	60%	2%	3%	1%	2%	8%	7%	-	*	*	3%	6%	25%	69%
5 230-250	4.5%	.5%	3%	3%	*	2%	68%	2%	3.5%	1%	1%	2%	7%	-	-	.5%	1%	6%	20%	68%
5 250-270	5%	.5%	5%	.5%	*	2%	60%	1%	7%	1%	-	8%	8%	-	-	*	2%	5%	26%	69%
5 "NARIZ"	5%	1%	6%	4%	*	2%	60%	2%	1.5%	1.5%	2%	3%	6%	*	*	.5%	5%	5%	25%	70%
18 8-20	6%	3%	6%	2%	*	3%	52%	*	2%	1%	2%	11%	9%	*	*	-	2%	8%	31%	61%
18 20-40	2%	1%	6%	3%	*	2%	40%	1%	4%	1%	1%	6%	5%	2%	3%	-	22%	8%	33%	59%
18 40-60	6%	3%	6%	1%	*	4%	20%	1%	2%	1%	.5%	4%	4%	2%	.5%	-	35%/-	10%	34%	56%
18 60-80	4%	3%	6%	5%	*	3%	47%	*	1%	.5%	.5%	3%	6%	2%	2%	1%	16%/*	8%	25%	67%
18 80-100	6%	3%	4%	4%	-	1.5%	62%	2%	2%	1%	2%	-	5%	*	1%	.5%	6%	10%	26%	64%

+ Los límites de los intervalos representan la profundidad y están dados en centímetros.

( Continúa ).....

TABLA 7.-DESCRIPCION DE LOS FROTIS A  
 PROFUNDIDAD  
 ( Continuación )

FROTIS ( LIST. E INTERVALO )	CONSTITUYENTES																COCL./ SIFL.		GRANULOMETRIA			
	V.V.	PAL.	OZ.	MUSC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZEOI.	M.O.	OX.	F.C.	DIAT.	RAD.	CLS.	FORA.	ISP.	AR.	LIM.	ARC.			
18 100-120	15%	1%	9%	3%	*	2%	51%	1%	2.5%	1.5%	.5%	3%	4%	*	1.5%	*	5%	/-	19%	21%	60%	
18 120-140	17%	2%	10%	3%	*	2%	51%	1%	2%	-	2%	4%	*	*	-	*	4%	/*	6%	30%	64%	
18 140-160	16%	5%	10%	2%	*	3%	45%	*	2.5%	.5%	1%	*	9%	*	2%	*	2%	/-	12%	30%	58%	
18 160-180	21%	2%	15%	1%	*	2%	36%	1%	3%	-	2%	2%	11%	*	*	*	4%	/-	13%	33%	54%	
18 180-200	7%	1%	4%	1%	*	.5%	57%	1.5%	1%	1%	1%	6%	5%	*	1%	*	12%	/1%	5%	22%	73%	
18 200-220	10%	5%	6%	1%	*	*	55%	2%	2%	2%	*	5%	12%	*	*	*	*/*	10%	25%	65%		
18 220-240	19%	3%	10%	3%	*	2%	25%	1%	4%	2%	*	10%	17%	*	*	*	4%	/*	14%	41%	45%	
18 240-260	21%	-	4%	3%	-	2%	37%	*	2%	*	5%	2%	4%	2%	5%	*	13%	/-	19%	26%	55%	
18 260-275	4%	-	4%	9%	-	3%	50%	.5%	3%	*	5%	-	5%	.5%	*	*	16%	/*	2%	30%	68%	
20 5-10	4%	1%	9%	9%	-	*	44%	1.5%	10%	3%	-	9%	8%	.5%	*	*	1%	/*	9%	35%	56%	
20 10-20	5%	2%	8%	4%	-	2%	38%	1%	4%	8%	-	9%	3%	1%	*	*	1%	14%	/*	3%	35%	62%
20 20-40	6.5%	-	4.5%	4%	*	*	65%	1%	1.5%	2.5%	-	6%	7%	*	-	-	1%	1%	/-	5%	27%	68%
20 40-60	8%	2%	6%	2%	*	*	57%	1%	1%	4%	-	12%	6%	*	-	-	1%	*/*	5%	30%	65%	
20 60-80	4%	3%	11%	1%	1%	1%	53%	2%	4%	2%	-	6%	12%	-	-	-	-	/-	9%	33%	58%	
20 80-100	5%	3%	9%	3%	3%	*	53%	.5%	3%	3%	-	4%	13%	-	-	-	-	/-	3%	31%	55%	
20 100-120	7%	1%	7%	2%	*?	1%	34%	1%	2%	2%	-	8%	11%	2%	-	1%	21%	/-	14%	33%	53%	
20 120-140	5%	2%	7%	3%	*	.5%	20%	1.5%	3%	1%	*	6%	8%	1%	-	-	4%	2%	/-	8%	33%	59%
20 140-160	5%	2%	6%	4%	-	*	24%	1%	5%	*	2%	-	5%	*	-	-	*	4%	2%	8%	24%	68%
20 180-200	9%	4%	7%	2%	-	.5%	50%	.5%	9%	7%	-	4%	6%	*	-	-	1%	/-	12%	36%	52%	
20 200-220	10%	4%	7%	3%	-	1%	63%	*	3%	3%	-	2%	2%	*	-	-	2%	/-	2%	28%	70%	
20 220-240	12%	6%	10%	1%	-	1%	42%	1%	10%	7%	*	2%	3%	*	*	*	5%	/-	18%	27%	55%	
20 240-260	10%	4%	11%	4%	-	*	54%	-	7%	10%	-	-	-	*	-	-	-	/-	2%	27%	71%	
20 260-280	5%	3%	11%	2%	2%?	1%	54%	-	11%	11%	-	-	-	-	-	-	-	/-	5%	30%	65%	
20 280-303	8%	7%	11%	2%	*	*	62%	*	6%	4%	-	-	-	*	-	-	-	/*	3%	28%	69%	
22 10-20	8%	6%	11%	1%	*	1%	50%	1%	5%	10%	-	3%	4%	-	-	-	-	/-	4%	42%	54%	
22 20-40	6%	5%	9%	1%	*	1%	55%	1%	6%	7%	-	4%	4%	-	-	1%	-	/-	7%	24%	69%	
22 40-60	15%	5%	9%	1%	*	-	55%	1%	7%	4%	-	-	3%	-	-	*	-	/-	10%	25%	65%	
22 60-80	10%	3%	10%	3%	-	*	60%	*	7%	7%	-	*	*	-	-	-	-	/-	12%	23%	65%	
22 80-100	9%	7%	13%	1%	*	*	60%	1%	7%	2%	-	-	*	-	-	*	-	/-	7%	20%	73%	

( Continúa ).....

TABLA 7.- DESCRIPCION DE LOS FROTIS A  
 PROFUNDIDAD  
 ( Continuación )

FROTIS		CONSTITUYENTES															COCL/		GUSANILARIA			
( 1ST. E	INTERVALO )	V.V.	PAI.	OZ.	MJSC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZLOL.	M.O.	OX.	F.C.	DIAT.	RAD.	CLS.	FORA.	LSP.	COCL/	SIFL.	AR.	LIM.	ARC.
22	100-120	7%	3%	9%	1%	*	*	66%	1%	7%	6%	-	-	*	-	-	*	-/-		8%	20%	72%
22	120-140	5%	3%	10%	1%	-	-	67%	1%	6%	7%	-	-	-	-	-	*	-/-		6%	20%	74%
22	140-150	8%	3%	12%	1%	*	-	65%	1%	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-/-		5%	23%	72%
25	20-40	6%	6%	10%	1%	-	-	59%	*	9%	9%	-	-	-	-	-	*	-/-		2%	26%	72%
25	40-60	4%	8%	8%	3%	*	-	66%	-	6%	5%	-	-	-	-	-	*	-/-		3%	22%	75%
25	60-80	6%	8%	10%	*	-	-	62%	-	7%	7%	-	-	-	-	-	-	-/-		6%	24%	70%
25	80-100	8%	10%	13%	*	-	-	53%	-	12%	4%	-	-	-	-	-	-	-/-		2%	26%	72%
25	100-120	8%	8%	10%	1%	*	1%	55%	-	8%	7%	-	-	-	-	-	-	-/-		1%	26%	73%
25	120-140	6%	7%	7%	*	-	-	60%	-	10%	10%	-	-	-	-	-	*	-/-		2%	26%	72%
25	140-160	7%	4%	8%	*	*	*	61%	-	10%	10%	-	-	-	-	-	-	-/-		1%	30%	69%
25	180-200	6%	8%	17%	1%	*	*	44%	-	14%	10%	-	-	-	-	-	-	-/-		10%	36%	54%
25	200-220	8%	8%	9%	*	*	3%	62%	-	5%	5%	-	-	-	-	-	-	-/-		3%	29%	68%
25	220-240	5%	8%	13%	1%	-	1%	51%	-	10%	11%	-	-	-	-	-	-	-/-		4%	35%	61%
25	240-265	6%	9%	10%	2%	-	*?	56%	-	8%	9%	-	-	-	-	-	-	-/-		4%	34%	62%
27	10-20	6%	6%	12%	3%	*	1%	48%	1%	5%	18%	-	*	*	-	-	*	-/-		1%	39%	60%
27	20-40	4%	3%	8%	8%	-	-	55%	1%	4%	10%	-	2%	5%	-	-	*	*/-		8%	36%	56%
27	40-60	5%	7%	8%	1%	-	-	60%	1%	8%	10%	-	-	-	-	-	*	-/-		5%	30%	65%
27	60-80	6%	8%	9%	3%	*	-	58%	1%	4%	11%	-	*	*	-	-	*	-/-		7%	30%	63%
27	80-100	9%	8%	9%	2%	*	-	56%	*	4%	12%	-	*	*	-	-	*	-/-		7%	33%	60%
27	100-120	8%	5%	10%	2%	*	-	55%	1%	6%	13%	-	*	*	-	-	-	-/-		4%	33%	63%
27	120-140	7%	8%	11%	2%	*	-	54%	*	6%	12%	-	*	*	-	-	-	-/-		3%	32%	65%
27	140-160	7%	6%	9%	1%	*	*	61%	*	5%	11%	-	-	-	-	-	*	-/-		6%	27%	67%
27	160-185	6%	8%	8%	5%	*	*	62%	*	5%	11%	-	-	-	-	-	*	-/-		3%	27%	70%
27	185-189	8%	6%	15%	*	*	-	59%	2%	3%	4%	-	-	-	-	-	3%	-/-		5%	31%	64%
36	40-50	9%	5%	8%	2%	*	-	50%	1%	5%	6%	-	7%	6%	-	-	1%	-/*		13%	26%	61%
36	50-95	11%	9%	12%	1%	-	-	51%	*	6%	10%	-	-	*	-	-	*	-/-		4%	36%	60%
36	105-115	6%	6%	6%	*	61?	-	70%	*	4%	2%	-	-	-	-	-	-	-/-		4%	25%	71%

( Continúa ).....

TABLA 7. - DESCRIPCION DE LOS FROTIS A  
 PROFUNDIDAD  
 ( Continuación )

FROTIS ( EST. E INTERVALO )	CONSTITUYENTES																	COCL/ SLFL.	GRANILOMETRIA		
	V.V.	PAL.	QZ.	MUSC.	M.P.	F.R.	M.A.	ZFOL.	M.O.	OX.	F.C.	DIAT.	RAD.	CLS.	FORA.	ESP.	AR.		LIM.	ARC.	
39 20-40	7%	5%	5%	1%	-	1%	51%	1%	5%	15%	-	4%	4%	-	*	1%	-/-	5%	35%	60%	
39 40-60	8%	3%	6%	1%	-	-	53%	1%	7%	14%	-	3%	4%	-	-	*	-/-	4%	33%	63%	
39 60-80	7%	6%	8%	1%	*	*	52%	*	9%	16%	-	-	1%	-	-	-	-/-	3%	35%	62%	
39 80-100	4%	5%	6%	*	-	*	49%	*	12%	23%	-	-	1%	-	-	*	-/-	4%	37%	59%	
39 100-120	6%	5%	7%	*	*	*	51%	*	10%	21%	-	*	*	-	-	*	-/-	4%	33%	63%	
39 120-140	4%	8%	6%	*	-	*	52%	*	7%	23%	-	-	*	-	-	-	-/-	2%	36%	62%	
39 140-150	7%	4%	7%	*	*	-	54%	*	8%	20%	-	-	*	-	-	-	-/-	2%	32%	66%	
40 20-40	4%	4%	10%	*	*	*	52%	3%	8%	7%	-	6%	5%	-	-	1%	-/*	7%	28%	65%	
40 40-60	8%	4%	8%	1%	-	*	49%	1%	5%	17%	*	2%	4%	-	-	1%	-/*	2%	36%	62%	
40 60-80	10%	5%	10%	1%	*	*	51%	1%	5%	15%	-	-	2%	-	-	*	-/-	4%	36%	60%	
40 80-100	7%	5%	8%	*	*	*	45%	*	15%	20%	-	-	*	-	-	*	-/-	4%	40%	56%	
40 100-120	8%	6%	8%	1%	*	-	39%	1%	25%	12%	-	-	*	-	-	*	-/-	4%	44%	52%	
40 120-140	15%	4%	10%	*	-	*	37%	*	19%	14%	-	*	*	-	-	*	-/-	5%	43%	52%	
40 140-160	11%	5%	7%	1%	-	-	45%	*	11%	20%	-	-	-	-	-	*	-/-	4%	43%	53%	
40 160-180	8%	4%	5%	5%	*	-	58%	*	12%	7%	-	-	1%	-	-	*	-/*	2%	35%	63%	
40 185-195	8%	4%	5%	1%	*	*?	60%	1%	10%	10%	-	*	1%	-	-	*	-/-	3%	34%	61%	
44 10-15	3%	3%	5%	2%	1%	*	53%	2%	4%	4%	-	15%	5%	-	-	2%	-/1%	8%	26%	66%	
44 15-40	4%	3%	4%	4%	*	2%	44%	2%	2%	3%	*	12%	10%	2%	*	3%	5%	10%	30%	60%	
44 40-60	4%	2%	6%	2%	*	2%	50%	2%	2%	4%	*	11%	8%	-	-	3%	4%	5%	34%	61%	
44 60-80	4%	2%	5%	*	*	*	60%	1%	2%	5%	-	13%	6%	-	-	2%	*/*	2%	33%	65%	
44 80-100	10%	4%	10%	1%	*	*	35%	1%	4%	7%	-	14%	12%	-	-	2%	-/*	15%	30%	55%	
44 100-120	12%	1%	9%	1%	*	*	57%	1%	2%	2%	-	7%	7%	-	-	1%	-/*	6%	26%	68%	
44 120-140	5%	4%	8%	1%	*	*	52%	2%	3%	1%	-	11%	9%	-	-	2%	*/2%	7%	29%	64%	
44 140-160	4%	4%	8%	1%	*	*	51%	1%	2%	2%	-	18%	5%	-	-	2%	-/2%	7%	34%	59%	

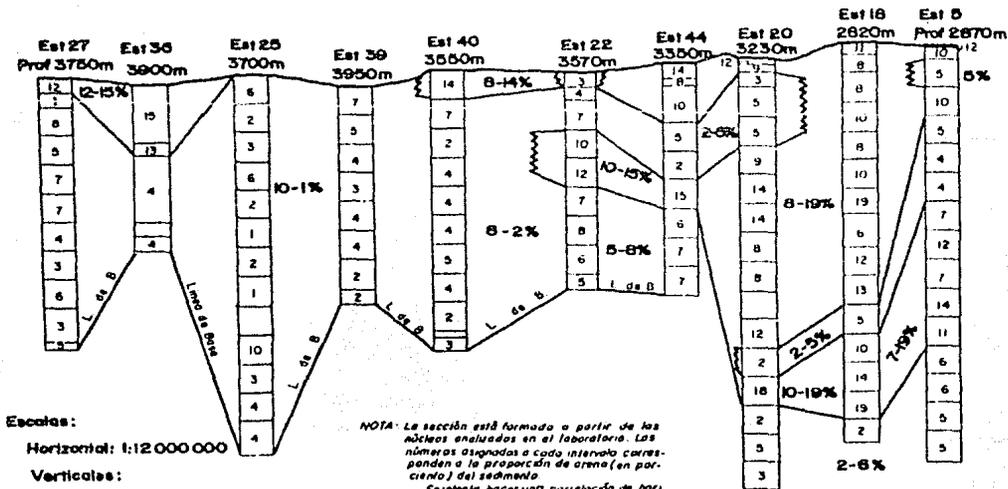
mentos en el por ciento de arena se aprecian alrededor de las islas Revillagigedo y el monte submarino Justo Sierra ( directamente al sur de la depresión MEMAR ), y en la estación 27 ( Figura 11 ).

La proporción de minerales arcillosos a lo largo de la sección -- mostrada en la figura 12 es errática, aunque se reconocen dos horizontes principales, uno superficial que se ensancha hacia el oeste, con valores mínimos bajos, y uno subyacente con valores mínimos más altos, los valores máximos de ambos horizontes no difieren mucho. Además, hacia el este de la sección los valores más bajos en contenido de minerales arcillosos coinciden con altos contenidos de coccolitofóridos en el sedimento, en lo que parece es un reflejo de la batimetría en el área de estudio, pues los altos contenidos de  $\text{CaCO}_3$  en los primeros núcleos se deben a la posición de estos sedimentos con respecto al punto de -- compensación de carbonatos al momento de su depósito. La distribución errática de los minerales arcillosos pone en evidencia su facilidad de transporte y multiplicidad de orígenes ( descarga continental, retransporte por corrientes marinas de fondo, alteración de minerales detríticos in situ como en el caso de los feldespatos y el vidrio volcánico ).

En la figura 13 se indica la distribución a profundidad del vidrio volcánico y palagonita, se reconocen dos horizontes bien diferenciables que se prolongan a lo largo de toda la sección, uno es superficial y tiene un contenido de vidrio volcánico y palagonita bajo ( de 3% a 10% ), en el subyacente aumenta la proporción de estos componentes ( de 8% a 23% ). Considerando una tasa de sedimentación baja y aproximadamente constante ( en el laboratorio de Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología se determinaron las tasas de sedimentación en tres núcleos, el 18, 33 y 44, que resultaron ser de 1.09, 2.72 y 1.31 cm por cada 1000 años respectivamente, UNAM-CONACYT, 1987 ), Se distinguen dos períodos de actividad volcánica, uno superior de baja actividad y uno inferior de

FIGURA II  
 PROPORCION DE ARENAS A  
 PROFUNDIDAD

Nivel Medio del Mar



Escala:

Horizontal: 1:12 000 000

Verticales:

Topografía: 1:1 000 000

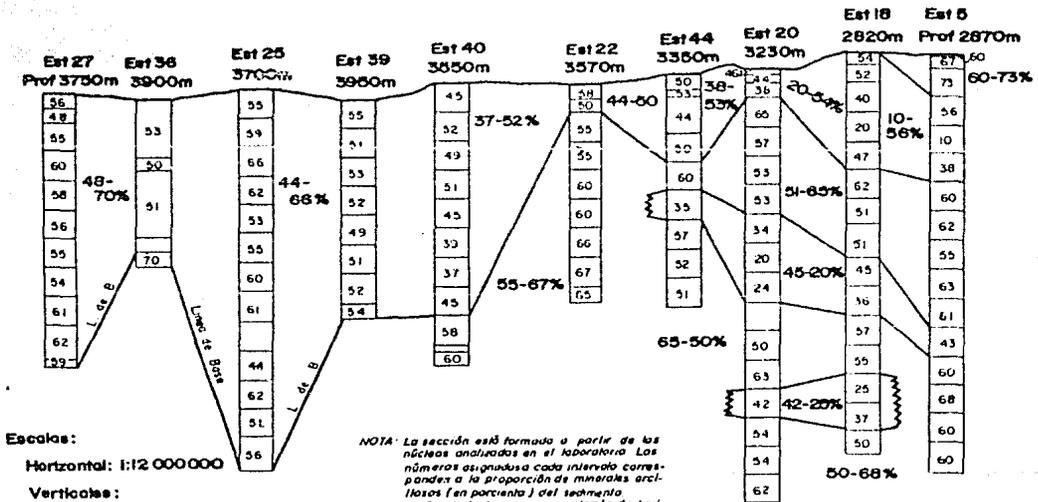
Columnas: 1:26.666

NOTA: La sección está formada a partir de los núcleos analizados en el laboratorio. Los números asignados a cada intervalo corresponden a la proporción de arena (en porcentaje) del sedimento.  
 Se intentó hacer una correlación de horizontes a lo largo de la sección.

Tesis Profesional  
 UNAM, Fac. de Ingeniería  
 Gerardo Ramírez Argüés, 1987.

FIGURA 12  
 PROPORCION DE MINERALES  
 ARCILLOSOS A PROFUNDIDAD

Nivel Medio del Mar



Escala:

Horizontal: 1:12 000 000

Verticales:

Topografía: 1:1 000 000

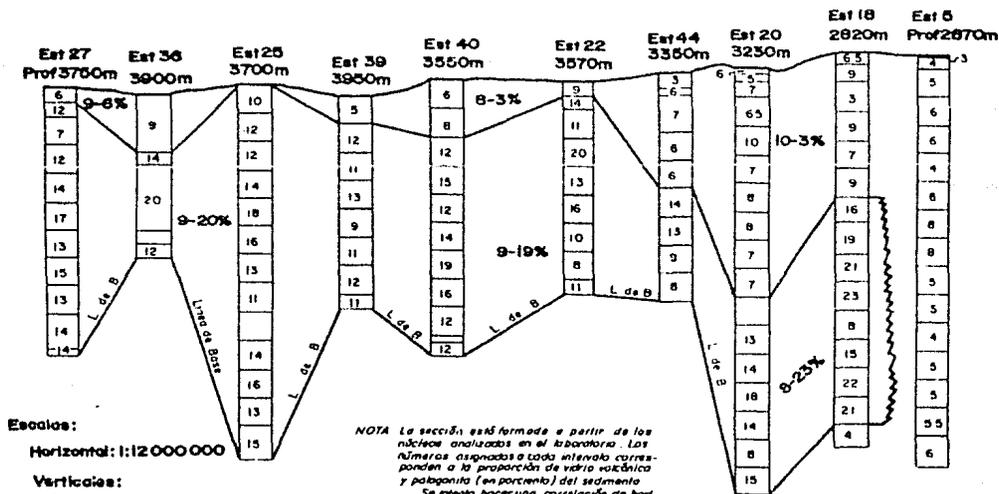
Columnas: 1:26.666

NOTA: La sección está formada a partir de los núcleos analizados en el laboratorio. Los números asignados a cada intervalo corresponden a la proporción de minerales arcillosos (en porcentaje) del sedimento. Se muestra también una correlación de horizontes a lo largo de la sección.

Tesis Profesional  
 UNAM, Fac de Ingeniería  
 Gerardo Romfrez Argóez, 1987

FIGURA 13  
 PROPORCION DE VIDRIO VOLCANICO Y PALAGONITA A PROFUNDIDAD

Nivel Medio del Mar



Escala:

Horizontal: 1:12 000 000

Verticales:

Topografía: 1:1 000 000

Columnas: 1:26.666

NOTA: La sección está formada a partir de los núcleos analizados en el laboratorio. Los números asignados a cada intervalo corresponden a la proporción de vidrio volcánico y palagonita (en porcentaje) del sedimento. Se intentó hacer una correlación de horizontes a lo largo de la sección.

Tesis Profesional  
 UNAM, Fac. de Ingeniería  
 Gerardo Ramírez Argüez, 1987

mayor actividad, sin embargo, las tasas de sedimentación no son constantes en el fondo marino, pero suponer una tasa de sedimentación baja y constante puede dar una idea aproximada de lo que ocurre regionalmente a reserva de lo que posteriormente pueda agregarse. Un cambio en el régimen de sedimentación podría ser otra posibilidad viable para explicar el cambio en la proporción del vidrio volcánico y la palagonita en el sedimento ( Mangini et al., 1982 ).

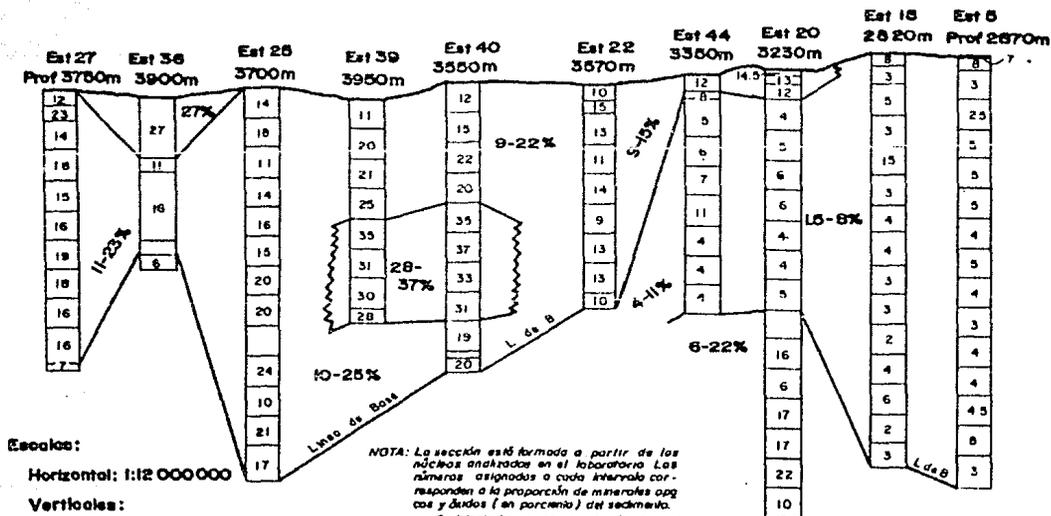
La distribución del cuarzo en el sedimento a profundidad ( figura 14 ) es muy semejante a la del vidrio volcánico y la palagonita, aunque los horizontes reconocidos están defasados con respecto a los horizontes de vidrio y palagonita y se reconocieron en lugar de dos cuatro horizontes, el superficial tiene bajas concentraciones de cuarzo, el subyacente altas, y debajo de este aparecen otros dos horizontes uno de baja concentración y otro de alta. Se pueden encontrar más similitudes que diferencias entre las distribuciones de cuarzo y vidrio volcánico-palagonita a profundidad lo que inclina a pensar en una afinidad genética entre estos constituyentes.

La proporción de minerales opacos y óxidos ( e hidróxidos complejos ) a profundidad mostrada en la figura 15 arroja algunos resultados importantes, sobre todo si se compara la distribución de estos constituyentes con la distribución del color del sedimento a lo largo de la sección, en las dos distribuciones se distinguen dos paquetes, uno al oeste y otro al este con diferente color y diferentes concentraciones de óxidos y minerales opacos, la comparación es bastante ilustrativa de lo que pudiera ser la división de ambientes en el área de estudio.- El paquete al este con bajos contenidos de óxidos y minerales opacos indicaría ambientes más reductores y con poca circulación de aguas, y el paquete oeste con altas proporciones de estos constituyentes indicaría una circulación más enérgica de las aguas de fondo; además, en el paquete al este hay una ligera predominancia de los minerales opacos sobre los óxidos ( e hidróxidos complejos ), y en el paquete al oeste-



**FIGURA 15**  
**PROPORCIÓN DE MINERALES**  
**OPACOS Y OXIDOS A PROFUNDIDAD**

Nivel Medio del Mar



Tesis Profesional  
 UNAM, Fac. de Ingeniería  
 Gerardo Ramírez Argóez, 1967

se invierte esta relación, aunque a veces ésta no es tan clara.

La distribución de radiolarios y diatomeas a profundidad se muestra en la figura 16, en esta figura se observa una disminución en el contenido de éstos organismos a medida que el sedimento es más profundo, y que está mejor plasmada en la parte occidental; las bases de casi todos los núcleos presentan un intervalo distintivo sin fauna, que quizá se deba a procesos diagenéticos, en concreto, disolución selectiva de sílice, ya que no afecta al cuarzo. Sin embargo, otras explicaciones se pueden manejar: acción de organismos consumidores de testas, o no depósito de organismos. Este intervalo representa una incógnita, pero parece más razonable pensar que se trata de un cambio diagenético sobre el sedimento. Otro punto de interés es la baja concentración de organismos en la estación 36 que pudiera deberse al mismo proceso. En cuanto a la relación radiolarios:diatomeas existe un ligero predominio de los primeros hacia el oeste y viceversa.

#### IV.3. ANALISIS SEDIMENTOLOGICO DE NUDULOS Y QUIMICA DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES.

Se incluyen aquí algunos de los resultados del análisis sedimentológico de nódulos poliretálicos obtenidos por personal del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología asociado al proyecto UNAM-CONACYT dentro del subproyecto de Geología y Sedimentología. Los resultados se presentan en la tabla 8 y su discusión amplia se encuentra en el informe preeliminar de dicho proyecto ( UNAM-CONACYT, 1986b ). Observando la tabla 8 la característica de más interés es la textura de los nódulos, que se supone puede estar controlada por las corrientes de fondo ( textura lisa ), la acción bacteriana ( textura granular ) o acreción no orgánica. La textura de los nódulos de la región B es predominantemente granular mientras la de los nódulos en la región C es lisa, solo en las estaciones 36, 38 y 39 hay abundancia de ejemplares con textura



TABLA 2.-ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DE NÓDULOS \* 1

NÓDULO #	ESTACION #	TAMAÑO Ø	DENSIDAD gr/cm <sup>3</sup>	COLOR CLAVE * 2	TEXTURA * 4
1	19	-7.00	1.79	2.5Y 2/0 negro	Botroidal
2	19	-6.50	1.69	2.5Y 2/0 negro	Botroidal
3	20	-5.75	1.95	2.5YR 2/0 negro	Rugosa
4	21	-5.50	2.01	2.5Y 2/0 negro	Rugosa
5	21	-4.50	1.70	2.5Y 2/0 negro	Rugosa
6	22	-4.75	1.94	2.5Y 2/0 negro	Granular
7	22	-4.75	1.90	2.5Y 2/0 negro	Granular
8	22	-4.25	1.81	2.5Y 2/0 negro	Granular
9	22	-6.00	1.86	2.5Y 2/0 negro	Lisa * 3
10	22	-5.00	2.15	2.5Y 2/0 negro	Rugosa
11	22	Roto	1.90	2.5Y 2/0 negro	Lisa
12	27	-3.50	2.33	2.5YR 2/0 negro	Rugosa
13	27	-3.00	2.00	2.5YR 2/0 negro	Lisa
14	27	-3.50	2.00	2.5YR 2/0 negro	Lisa
15	27	-2.50	2.22	2.5YR 2/0 negro	Lisa
16	27	-4.00	2.06	2.5YR 2/0 negro	Lisa
17	27	-3.25	2.28	2.5YR 2/0 negro	Lisa
18	27	-3.00	2.14	2.5YR 2/0 negro	Lisa
19	27	-3.25	2.00	2.5YR 2/0 negro	Lisa
20	27	-3.00	1.90	2.5YR 2/0 negro	Lisa
21	27	-2.75	1.70	2.5YR 2/0 negro	Lisa
22	28	-4.00	2.11	2.5Y 2/0 negro	Lisa
23	28	-4.00	1.94	2.5Y 2/0 negro	Lisa
24	28	-4.00	1.65	2.5Y 2/0 negro	Lisa
25	28	-4.00	1.77	2.5Y 2/0 negro	Lisa
26	28	-4.00	2.15	2.5Y 2/0 negro	Lisa
27	28	-4.00	2.00	2.5Y 2/0 negro	Lisa
28	28	-4.00	2.11	2.5Y 2/0 negro	Lisa
29	28	-4.00	1.46	2.5Y 2/0 negro	Lisa

\* 1 Tomado del tercer informe técnico a CONACYT del proyecto MIMAR

\* 2 Color y clave del color de acuerdo a las tablas de Munsell ( 1975 )

\* 3 La textura indicada sobre la línea corresponde a la textura de la parte superior del nódulo y viceversa

\* 4 De acuerdo al CMLC, 1984.

( Continúa ).....



TABLA 8.-ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DE NODULOS  
( Continuación )

<u>NODULO</u> #	<u>ESTACION</u> #	<u>TAMAÑO</u> Ø	<u>DENSIDAD</u> gr/cm <sup>3</sup>	<u>COLOR</u> <u>CLAVE</u>	<u>TEXTURA</u>
60	39	-5.00	1.85	2.5Y 2/0 negro	<u>Lisa</u>
61	39	-4.75	1.97	2.5Y 2/0 negro	<u>Granular</u>
62	39	-4.50	2.08	7.5YR 2/0 negro	<u>Lisa</u>
63	39	-4.50	1.86	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
64	39	-4.25	1.87	7.5YR 2/0 negro	<u>Lisa</u>
65	39	-3.00	1.60	7.5YR 2/0 negro	<u>Lisa</u>
66	39	-4.25	1.80	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
67	39	-4.75	2.02	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
68	39	-4.50	1.87	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
69	39	-4.50	1.55	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
70	39	-4.25	1.89	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
71	39	-4.00	1.77	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
72	39	-4.00	1.90	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
73	40	-6.00	1.88	2.5Y 2/0 negro	<u>Botroidal</u>
74	45	-5.50	1.81	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
75	45	-4.75	1.86	7.5YR 2/0 negro	<u>Rugosa</u>
76	45	-4.75	1.92	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
77	45	-4.75	1.93	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>
78	45	-4.50	1.94	7.5YR 2/0 negro	<u>Granular</u>

granular; estos cambios deben tener alguna explicación ambiental, quizá influenciada por la topografía y circulación del agua profunda. La presencia de nódulos con textura lisa en su parte superior y granular en su parte inferior se explica por la acción de disolución-precipitación microscópica en la parte baja del nódulo ( sobre el sedimento ), y el alisamiento de la superficie superior por corrientes de fondo --- ( UNAM-CONACYT, 1986b ). Otras características como el tamaño y el color son bastante uniformes, mientras que la variación de la densidad de los nódulos se podría explicar por la disolución del núcleo, ya que en nódulos grandes ( y por tanto antiguos ) la densidad es baja, las densidades altas en nódulos jóvenes y por lo tanto pequeños se explica por la presencia de núcleos pesados y grandes en proporción con el tamaño del nódulo ( UNAM-CONACYT, 1986b ).

Algunos resultados del análisis químico de sedimentos de la campaña MINAR II que son de interés se discuten a continuación:

El contenido de materia orgánica disminuye hacia el oeste, los valores promedio de materia orgánica para las regiones A, B y C son ---- 1.138%, 0.369% y 0.264% respectivamente. La concentración de Cu en el sedimento aumenta hacia el oeste, los valores promedio para las regiones A, B y C son 187 ppm, 330 ppm y 415 ppm respectivamente; los valores de Ni y Cr no varían mucho, en la región A hay 327 ppm de Ni y 44 ppm de Cr ( eliminando un valor anómalo de Cr de 204 ppm en la estación 16 el promedio es de 32 ppm ), en la región B hay 403 ppm de Ni y 36 de Cr y en la región C hay 333 ppm de Ni y 37 de Cr. El contenido de otros elementos metálicos en el sedimento también se incluye, los valores de Sn y Zn son más altos en la región A, lo cual quizá se deba a la acción hidrotermal sobre la dorsal, el Mg y el Ba no presentan tendencias detectables, y hay un ligero enriquecimiento de Al en la región C ( UNAM-CONACYT, 1986b ).

Según Bostrom ( 1969 ) la relación  $Al/Al+Fe+Mn$  indica si un sedimento de mar profundo es depositado bajo condiciones normales o por so

luciones hidrotermales enriquecidas en ciertos metales, el límite entre estos dos casos es cuando la relación vale 0.4, valores más altos indican depósito en aguas marinas normales, y valores más bajos que el límite indican un enriquecimiento por soluciones hidrotermales. La relación antes definida fué aplicada a los resultados de contenido de metales en los sedimentos de la campaña MEMAR II; solo tres estaciones, las número 11, 13 y 14 arrojaron valores por debajo de 0.4; la relación disminuye de valor en el centro de la región A para después elevar sus valores en la región B, en la región C nuevamente decrecen los valores de la relación pero nunca llegan a ser tan bajos como 0.4 ( UNAM-CONACOM 1986b ). La disminución del valor de la relación en la región C quizá se deba a un cierto aporte de soluciones hidrotermales desde las montañas submarinas cercanas, pero quizá el enriquecimiento provenga de la dorsal como se verá más adelante.

\*\*\*\*\*

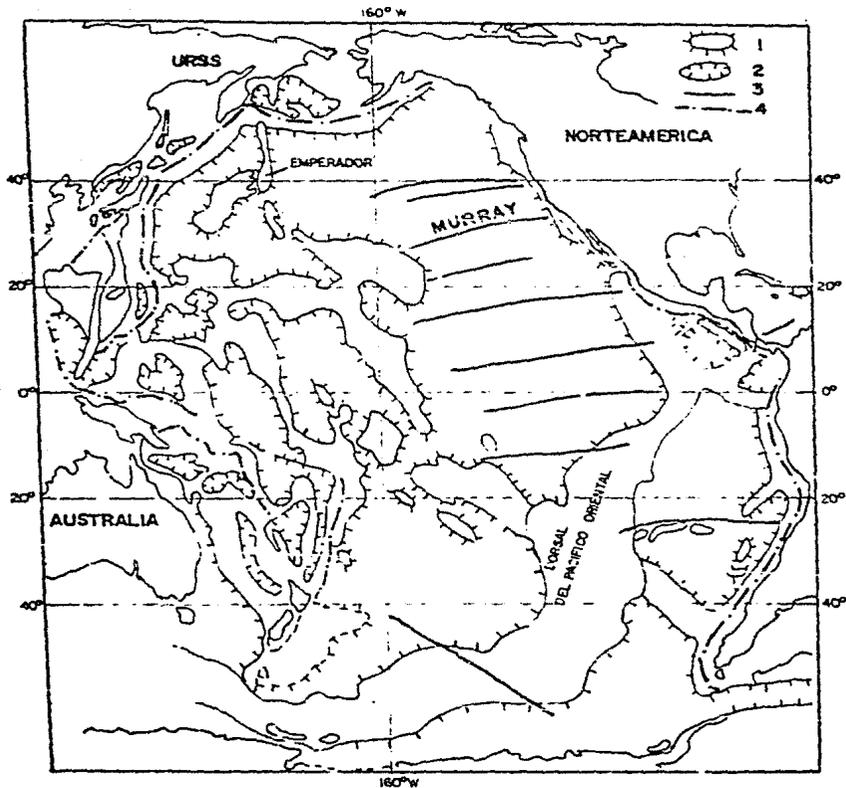
## CAPITULO V: TECTONICA Y SEDIMENTACION.

### V.1. MARCO TECTONICO.

Rudnik et al ( 1982 ) realizaron un estudio petrográfico y químico de las columnas expuestas en los escarpes de las fracturas Emperador ( de dirección noroeste-sureste ) y Murray ( de dirección este-oeste ). Las secuencias estudiadas pertenecen a la serie toleítica, y presentan lavas almohadilladas en la cima, doleritas con enjambres - de diques subyaciendo a las lavas almohadilladas, y gabros con metamorfismo de esquisto verde en la base; a pesar de la similitud petrográfica de las columnas expuestas en ambas zonas de fractura las texturas y mineralogía de las rocas varían; en la zona de fractura Emperador no hay evidencia de alteración tectónica, en cambio, en la zona de fractura Murray perteneciente al sistema de fallas transformantes de la dorsal del Pacífico oriental hay evidencias mineralógicas y texturales de alteración tectónica, lo anterior indica diferentes orígenes de las dos zonas de fractura, pero además es esencial para la comprensión de la tectónica del Pacífico norte.

El pacífico norte se divide tectónicamente en dos dominios, y el límite entre estos dominios es precisamente la zona de fractura Emperador. El dominio al oeste de esta zona de fractura es más antiguo y complejo que el dominio al este, que es más joven y está controlado tectónicamente por la dorsal del Pacífico oriental; el área de estudio está comprendida dentro de este último dominio, es decir, se encuentra al oriente de la zona de fractura Emperador ( Rudnik et al, 1982 ).

Una ojeada a la topografía del fondo oceánico del Pacífico nororiental revela alineamientos predominantes de dirección este-oeste como se puede apreciar en el plano batimétrico a detalle de la campaña MIMAR II ( UNAM-CONACYT, 1986a ); inclusive la isla Clarión visitada durante la campaña está formada por cuerpos volcánicos alineados en di



**ESQUEMA DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES DEL  
LECHO DEL OCEANO PACIFICO.**

1. Elevaciones, 2. Depresiones, 3. Fracturas, 4. Trincheras.

( Tomado de Lugo, 1966 )

rección este-oeste ( UNAM-CONACYT, 1986a ), esta dirección coincide con la orientación del sistema de fallas transformantes de la dorsal del Pacífico oriental ( a la cual pertenece la fractura Murray ), e indica el control de éstas sobre la tectónica del fondo marino en el Pacífico nororiental.

El sistema de fallas transformantes de la dorsal del Pacífico oriental divide a ésta en una serie de segmentos perpendiculares a cada pareja de fallas transformantes, que a su vez los limitan. El estudio de estos segmentos longitudinalmente ha arrojado una nueva luz sobre la estructura de la dorsal. Anteriormente se pensaba que a lo largo de todo un segmento de dorsal no existían variaciones en su estructura y procesos; actualmente, el estudio de estos segmentos " a lo largo " de muestra que existe una variabilidad en ellos.

Francheteau y Ballard ( 1983 ) hacen un estudio de las variaciones de la dorsal del Pacífico a 21°N, 13°N y 10°S y encuentran que en el centro de los segmentos de la dorsal la profundidad es menor ( hay un alto topográfico ). este alto coincide con la mayor actividad hidrotermal, el mayor flujo de calor, el mayor fracturamiento, y una predominancia de los flujos de lava sobre las lavas almohadilladas; por el contrario, cerca de los bordes del segmento, sobre las fallas transformantes, se localizan las mayores profundidades, la actividad hidrotermal es nula, el flujo de calor es bajo, el sistema de fracturas a lo largo de la dorsal es menos denso y predominan las lavas almohadilladas sobre los flujos de lava; ellos explican estas variaciones con un modelo de dorsal en donde reconocen una cámara magnética directamente debajo de cada alto topográfico, la dorsal del Pacífico está entonces dividida en cámaras magnéticas limitadas por fallas transformantes.

Thompson et al ( 1985 ) reconocen también este modelo, pero introducen el término de centro de acreción traslapado como límite entre cámaras magnéticas no separadas por fallas transformantes, encuentran -- que cada cámara magnética tiene una diferente composición, y a partir

de esto reconocen diferentes cámaras magmáticas en un solo segmento de dorsal.

Hamelin et al ( 1983 ) a partir de la correlación entre isótopos de Pb y Sr, sus relaciones y la topografía a lo largo de las dorsales del Pacífico oriental y del atlántico medio corroborarán el modelo de dos capas, según el cual el manto está dividido en dos capas. el material de las dorsales se originaría de la capa superior del manto y el de las islas oceánicas ( y montañas submarinas ) de la capa inferior: en base a sus resultados indican que los altos topográficos corresponden a puntos calientes originados desde el manto inferior, lo que de alguna manera coincide con lo expuesto por Francheteau y Ballard ( --- 1983 ) y Thompson ( 1985 ) en el sentido de que la cámara magmática de cada segmento se profundizaría, es decir se ensancharía, por debajo de los altos topográficos. La teoría de los puntos calientes para explicar el vulcanismo submarino fuera de la dorsal es un hecho similar al que se intenta aplicar a las dorsales, en donde las cámaras magmáticas pequeñas aportan el material expulsado en estos aparatos ( Fornari et al, 1983 ).

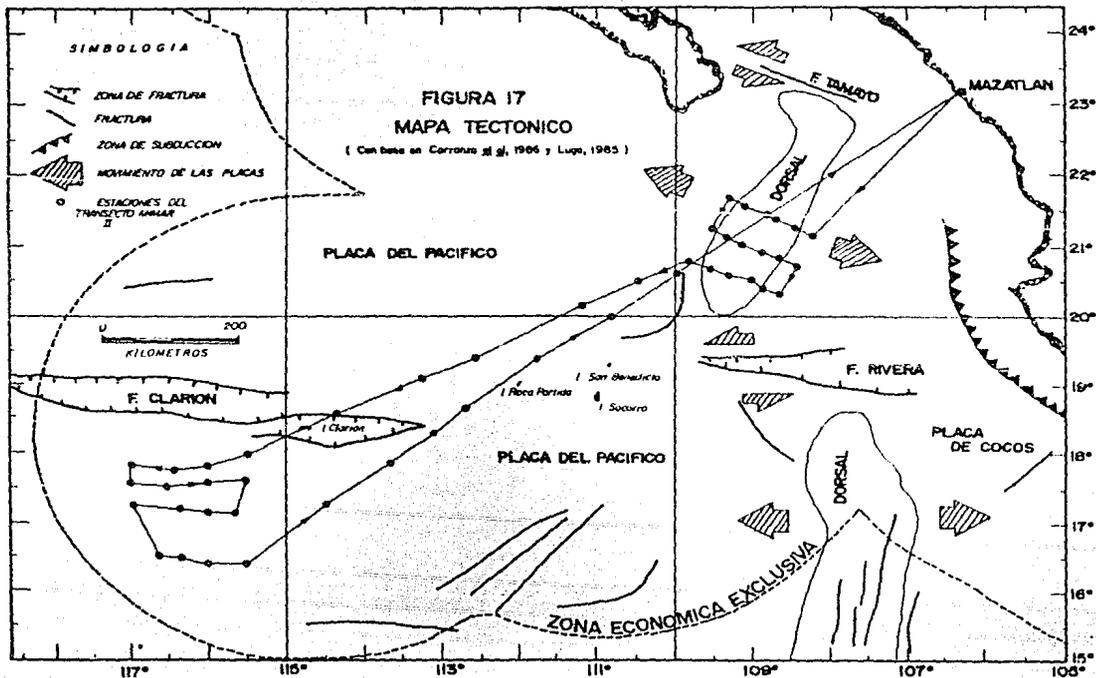
Sin embargo hay evidencia de que la cámara magmática central de las dorsales es poco profunda por lo menos en su parte superior. Juteau et al ( 1980 ) y Spiess et al ( 1980 ) a partir del reconocimiento petrológico de magmas toleíticos no diferenciados ( primitivos ) sobre la dorsal del Pacífico oriental llegan a esta conclusión.

Alrededor de los 21°N la dorsal del Pacífico oriental en sección se presenta como una elevación angosta en donde no esta bien delineado el graben axial, sin embargo, se puede reconocer este con una observación a detalle del relieve submarino ( Francheteau y Ballard, 1983 ).- Las diferencias morfológicas en sección entre la dorsal a esta latitud y secciones de dorsal a otras latitudes, y en otras dorsales, están intimamente ligadas a la tasa de expansión de la dorsal, es decir, a diferentes velocidades de expansión se reconocen diferentes perfiles.

Con más detalle, a 21°N la sección de la dorsal del Pacífico oriental se compone en la parte central de una zona de lomeríos elongados - de lavas almohadilladas y sin acumulación sedimentaria ( zona neovolcánica ), que mide aproximadamente un kilómetro de ancho, y que incluye varias chimeneas hidrotermales. Hacia los extremos del graben axial se encuentra una zona fuertemente fisurada que presenta una serie de grabens y horsts ( montes abisales formados por fallamiento, Macdonald y Luyendyk, 1985 ), el graben axial mide de unos tres a cinco kilómetros de ancho y es asimétrico. En la parte externa de la dorsal, fuera del graben axial, existen otras dos zonas, una interna formada por escarpes de unos veinte metros, separados por unos cien metros de ladera débilmente inclinada hacia la parte externa de la dorsal, en la última zona el relieve casi ha desaparecido bajo la cubierta sedimentaria, -- que se ha ido ensanchando hacia las planicies abisales, y casi todas -- las fallas son inactivas ( Francheteau et al, 1980; Carranza et al, -- 1986; Macdonald y Luyendyk, 1985; Luyendyk y Macdonald, 1985 ).

Con lo anteriormente expuesto se puede tener una visión bastante aproximada de la estructura de la dorsal del Pacífico oriental. En la figura 17 se presenta la distribución de los principales rasgos tectónicos del área de estudio.

Una de las características más espectaculares del vulcanismo submarino, que representa además una fuente primordial de elementos metálicos en las cuencas oceánicas son las chimeneas hidrotermales. La morfología y evolución de estos centros exhalativos están ampliamente tratadas por Hékinan et al ( 1985 ), quienes a partir de los datos colectados en la dorsal del Pacífico este entre los 20° de latitud norte y los 20° de latitud sur trazan su esquema. Estos autores reconocen cuatro etapas de evolución de las chimeneas en una vida promedio de 100 - años, la primera etapa se caracteriza por la descarga de aguas muy claras a baja temperatura ( menos de 30°C ), después, en la segunda etapa aumenta la actividad hidrotermal y se forma una chimenea blanca, en es



ta etapa la vida alrededor de la chimenea es abundante, en la tercera etapa se llega a un climax de temperatura y ocurre el depósito de sulfuros en gran escala ( chimenea negra ), por último, en la cuarta etapa la actividad decrece realizándose el llenado de cavidades a bajas temperaturas. Lo importante de estos centros exhalativos es que el 98% de la descarga hidrotermal no se deposita in situ, sino que enriquece de metales a las aguas y sedimentos marinos.

Kenneth et al ( 1982 ) mediante una nueva técnica de análisis químico in situ de aguas profundas indican que en una chimenea hidrotermal la concentración de oxígeno y azufre en el agua está directamente relacionada con el consumo de estos elementos por la macrofauna, mientras que el consumo de oxígeno y azufre por microorganismos y precipitación inorgánica es muy bajo, también encuentran una correlación entre la cantidad de sílice disuelto en el agua y la temperatura. La investigación resalta la importancia de los macroorganismos en el consumo de oxígeno y azufre hidrotermales con respecto al consumo de estos elementos por microorganismos y por precipitación inorgánica.

## V.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA CIRCULACION OCEANICA EN EL AREA DE ESTUDIO.

Reid ( 1982 ) describe la circulación marina en el Pacífico oriental y reconoce un flujo de calor hacia el oeste a partir de la dorsal del Pacífico entre 10° y 20° de latitud sur, este flujo se encuentra entre una masa de agua a profundidad media ( entre los 1000 y 2000 m de profundidad ), de baja salinidad, que viene del sur, y una masa de fondo de alta salinidad, cálida, que se origina desde el casquete polar norte, se desplaza hacia el sur y profundiza hasta tocar fondo en el ecuador; como ninguna de las masas de agua limitantes tiene la suficiente energía para aportar el calor existente en la masa intermedia - el autor propone que este se origina de la dorsal.

Storrel ( 1982 ) estudia la masa de agua intermedia arriba mencionada y la reconoce como una " pluma " de  $^3\text{He}$  ( el  $^3\text{He}$  es un isótopo -- que se origina del manto y es químicamente inerte, en este caso actuaría como un trazador de las aguas hidrotermales originadas en el centro de la dorsal del Pacífico oriental entre los  $10^\circ$  y  $20^\circ$  de latitud sur ), el movimiento hacia el oeste de esta " pluma " es un movimiento generado por el desequilibrio termodinámico de esta masa de agua con su entorno, es decir, su propio calor genera su movimiento; agrega además que matemáticamente, las condiciones en la dorsal del Pacífico entre los  $10^\circ$  y  $20^\circ$  de latitud norte son similares, y el modelo desarrollado para la dorsal en el sur es muy probable que se repita para la dorsal entre los  $10^\circ$  y  $20^\circ$  de latitud norte.

Con lo anterior se puede tener un esquema de la circulación de aguas en el área de estudio. Los principales flujos en base a Reid ---- ( 1982 ) y Storrel ( 1982 ) serían uno al oeste y otro al sur; sin embargo ninguno de los dos toca fondo en el área de estudio y su relación es desconocida, además, las corrientes de fondo deben determinar en buena medida la distribución de sedimentos sobre el piso oceánico, que es lo que a fin de cuentas más interesa. Queda pues por establecer la circulación de fondo, la respuesta quizá se encuentre en el estudio de los propios sedimentos, Mangini et al ( 1982 ) indican la variabilidad en el depósito de sedimentos para el Pacífico oriental; la sedimentación está controlada por rasgos locales ( como la topografía ), pero también por variaciones en los regímenes de acumulación y erosión, el fondo del Pacífico se puede considerar un sistema no estacionario en donde hay una redistribución constante de sedimentos; esta idea se ajusta bastante bien con la idea de que las corrientes marinas de fondo aparecen en esta zona como turbulencias más o menos aleatorias; o de otra manera; no hay una corriente general de fondo en la zona ( José -- Barberán, comunicación personal ). Desgraciadamente no existen suficientes datos oceanográficos en la zona que permitan afirmar contundente--

mente lo antes expuesto.

La circulación oceánica puede ser la clave del aporte sedimentario, pero también las estructuras tectónico-volcánicas, que de alguna manera influyen en ella, y que por otra parte son fuentes de sedimentos.

El transporte químico por difusión a través de una delgada película de agua no turbulenta ( y estacionaria ) que se localiza en la interfase agua-sedimento es un hecho demostrado ( Santschi et al., 1983 ) que puede ser importante en el aporte de elementos metálicos y/o en su redistribución.

### V.3. CONTROLES DE LA SEDIMENTACION.

La afirmación de que el mar es un sistema complejo en donde existen una multiplicidad de procesos se viene a confirmar cuando se trata de hacer un análisis de procedencia; no es posible determinar un patrón de distribución de sedimentos, pero sí varios patrones relativamente independientes. Como anteriormente se apuntó el vidrio volcánico y la palagonita tienden a concentrarse en donde la actividad volcánica es más intensa ( en las regiones A y C de la campaña ) y el cuarzo está homogéneamente distribuido, esto puede indicar la inestabilidad del vidrio con respecto al cuarzo; el vidrio volcánico se alteraría primero a palagonita y después a minerales arcillosos, sugiriendo que también hay una redistribución del vidrio volcánico pero enmascarada por su alteración. Por otro lado, el origen del vidrio es claramente volcánico-submarino como se puede apreciar por su distribución alrededor de las zonas de más vulcanismo. Los minerales opacos, óxidos e hidróxidos complejos de origen autigénico están íntimamente ligados a las condiciones del ambiente de depósito. Mientras que su origen está determinado por procesos tales como descarga hidrotermal, intemperismo submarino de la corteza oceánica y/o disolución a partir de sedimentos ( Cronan,

1980 ), su acumulación depende de la disponibilidad de oxígeno en el fondo marino y entonces de las corrientes oceánicas: de esta forma se descubre la existencia de corrientes relativamente fuertes en las regiones B y C mientras que en la región A decrece la circulación de aguas, pues el contenido de óxidos decrece y el color se torna de pardo en pardo grisáceo e incluso olivo ( estación 5 ). Otros datos corroboran esta zonificación de ambientes: la disminución de materia orgánica en el sedimento hacia el oeste y la presencia de nódulos polimetálicos en la parte occidental. Se puede distinguir entonces un ambiente más oxidante hacia el oeste y uno más reductor hacia el este del área de estudio. Los organismos planctónicos están ligados a la circulación oceánica, el hecho de que su concentración en el sedimento sea muy variable en la región C pudiera deberse a lo errático de esta circulación, y a nivel local a la influencia de la topografía submarina en el depósito de sedimentos, sin embargo, el contraste de concentraciones en la región C es un punto oscuro en la interpretación. El contenido errático de minerales arcillosos en el sedimento permite suponer una redistribución de estos y también su multiplicidad de orígenes.

A profundidad los patrones de acumulación son semejantes, pero aparece un nuevo punto de especulación; mientras las condiciones físico químicas del ambiente de depósito no parecen haber sufrido cambios en el tiempo, incluso los cambios diagenéticos no son evidentes pues el sedimento a diferentes profundidades es muy semejante ( a excepción de la posible disolución de sílice orgánico producto quizá de un aumento en la acidez del sedimento ), se reconocen variaciones en la concentración del vidrio volcánico y del cuarzo representadas por dos horizontes continuos a lo largo de la sección, uno superior con bajas concentraciones y uno inferior más enriquecido, que pudieran representar dos estados de vulcanismo, el superior más intenso que el inferior; sin embargo Mangini et al ( 1982 ) mediante estudios isotópicos con  $^{230}\text{Th}$  y  $^{231}\text{Pa}$  reconocen un cambio en la sedimentación hace 70 000 años ( rela-

cionado con el fin del estado interglacial número 5 ) cuando decrece-- la velocidad de flujo de las aguas de fondo y aumenta la tasa de sedi- mentación general, otros cambios semejantes muy probablemente ocurrie- ron durante la historia de depósito de los sedimentos estudiados, por ejemplo Rhem ( 1983 ) reconoce un hiatus en los sedimentos cercanos a las islas Hawaii al nivel del Eoceno temprano. las diferencias de con- centración de vidrio volcánico ( y palagonita ) y cuarzo se explica-- rán entonces como un cambio en la sedimentación por variaciones del -- clima ( y de las condiciones del ambiente de depósito ), y no por dife- rencias en la cantidad aportada de estos constituyentes al sedimento; evidencias de estos cambios climáticos en las eras glaciales serían -- los altos contenidos de testas carbonatadas en algunos núcleos tomados sobre la dorsal, que indicarían descensos del nivel del mar en los in- tervalos en que se depositaron carbonatos.

También los elementos metálicos exhiben varios patrones de acumu- lación. Además, su concentración en el área de estudio está por arriba de su concentración normal en los sedimentos marinos.

El Fe y el Mn ( componentes principales de los óxidos e hidróxi-- dos complejos ) deben su presencia en el sedimento a las condiciones - fisicoquímicas en el área de depósito ( pricipalmente al grado de oxi- dación del ambiente ); se sabe que el Fe y el Mn entrampados en la su- perficie del sedimento bajo condiciones anaeróbicas son reducidos e in- corporados a la columna de agua, de igual forma, en condiciones oxidan- tes precipitan de nuevo ( Cronan, 1980; Chen y Guminson, 1986. etc. ). El origen del aporte del Fe y el Mn a las aguas marinas es una incógni- ta, el flujo hidrotermal y la lixiviación de basaltos pueden ser la -- fuente principal de estos elementos ( Carranza et al, 1986 ).

Otros elementos de origen hidrotermal aquí incluidos no coinciden en sus patrones de distribución; mientras la concentración de cobre au- menta hacia el oeste, el zinc se concentra en la región A, esto tal vez se deba a sus diferentes solubilidades. Se puede tomar el patrón del -

cobre como una prueba del aporte de la dorsal hacia el oeste de soluciones hidrotermales a través del agua marina, porque el flujo hidrotermal a través del basamento y la capa sedimentaria es muy local ( Becker y Herzen, 1983 ); esto podría apoyar la idea de la " pluma " de origen hidrotermal porque la dorsal es la única fuente de cobre conocida en la zona. Por último, el aluminio, ligeramente enriquecido en la región C puede deber su distribución a la afinidad que tiene con el vidrio volcánico del que se deriva ( Varnavas y Papaioannou, 1983 ), y a su íntima relación con los minerales arcillosos.

Se puede con lo expuesto aquí proponer un esquema de los aportes y procesos de distribución sedimentarios.

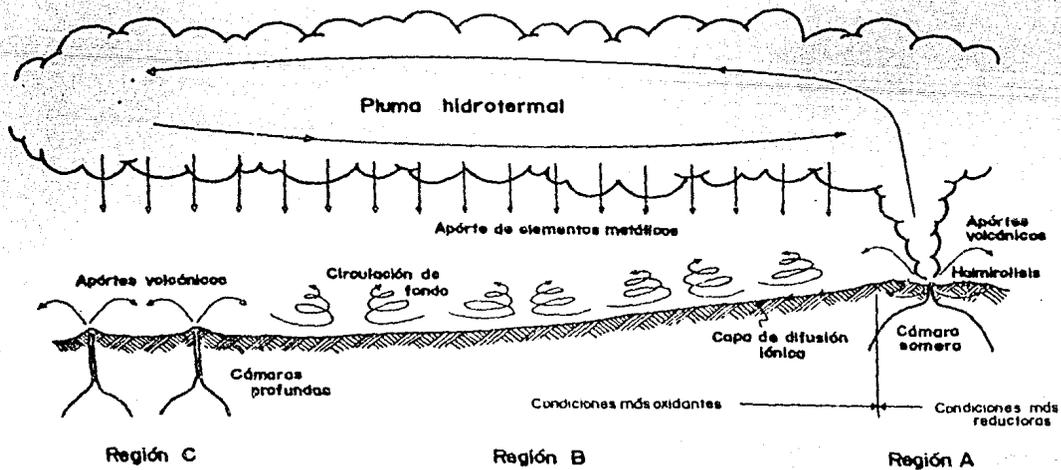
A partir de la dorsal se crearía un flujo de aguas de origen hidrotermal cargadas de elementos metálicos, que por desequilibrio termodinámico se movería al oeste, creando una especie de banda sin fin, es decir, habría un flujo al oeste y otro en sentido contrario por debajo del primero, hacia el este; el modelo de este movimiento está fundamentado matemática y -físicamente ( Stommel, 1982 ). El desequilibrio termodinámico se iría diluyendo hacia el oeste, por lo que la masa de agua se desprendería paulatinamente de los elementos metálicos hacia abajo, y enriquecerían los sedimentos en el área de estudio. En las aguas de fondo existiría una constante redistribución de sedimentos por turbulencias, pero en la interfase agua-sedimento habría una difusión de Fe y Mn hacia las áreas favorables para su precipitación. Por otro lado, el aporte volcánico inicialmente afectaría las áreas cercanas a su actividad, pero la redistribución de elementos por corrientes de fondo se encargaría de transportar los detritos a grandes distancias. La relación de Bostrom (  $Al/Al+Fe+Mn$  ) para sedimentos quizá indique un aporte hidrotermal de las montañas submarinas en la región C, más local, pero el hidrotermalismo en las cuencas abisales es un fenómeno poco conocido fuera de las dorsales, y la relación de Bostrom podría no ser tan efectiva.

La figura 18 es una representación esquemática del modelo arriba-explicado.

\*\*\*\*\*

FIGURA 18  
ESQUEMA DE LOS PROCESOS DE APORTE Y DISTRIBUCION  
DE SEDIMENTOS EN EL AREA DE ESTUDIO

Tesis Profesional  
UNAM, Fac. de Ingeniería  
Gerardo Ramírez Argüés, 1987



## CAPITULO VI: RECURSOS MINERALES DEL MAR.

Una visión panorámica de lo que son los recursos minerales del mar la da Cronan ( 1980 ), quien recopila lo que hasta entonces se conocía de ellos.

La fisiografía de los fondos marinos influye en la distribución de los yacimientos minerales del mar, en este punto también se puede consultar a Lugo ( 1980 ), quien indica los yacimientos encontrados en cada megaestructura del fondo marino ( plataforma, talud, planicie abisal, etc. ).

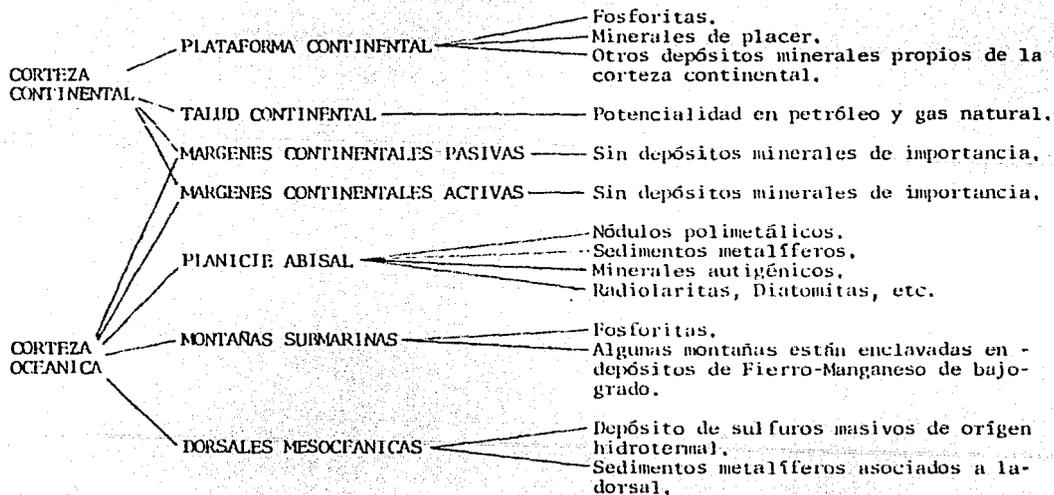
La exploración de los mares permite conocer el perfil batimétrico del fondo del mar, que a grandes rasgos es característico de todos los océanos, y está compuesto por una serie de megaestructuras; la teoría de la tectónica de placas es una poderosa herramienta para entender el porqué de este perfil, que a continuación se describe:

A partir de la línea de costa, hacia el mar, se extiende la plataforma y después el talud continentales, que son una continuación del continente por debajo del nivel del mar. Entre esta corteza continental y la corteza oceánica existe una zona de transición en donde se mezclan los dos tipos de corteza; las márgenes continentales representarían esta zona, y pueden ser pasivas o activas. Más allá de las márgenes continentales, hacia mar adentro, se localiza la corteza oceánica que consiste de una extensa planicie abisal atravesada por las dorsales meso-célicas y poblada por numerosas montañas volcánicas submarinas.

En cada megaestructura del fondo marino varían los procesos de acumulación sedimentaria y como consecuencia se tienen yacimientos típicos para cada una. La distribución de los yacimientos minerales del mar se esquematiza en la tabla 9.

Los placeres son depósitos minerales formados por la concentración mecánica de minerales detríticos en un ambiente subacuático, usualmente la fuente de aporte de los minerales detríticos son las rocas ig--

TABLA 9.- RECURSOS MINERALES DEL MAR \*



\* Tomado de Cronan ( 1980 ).

neas, ya sea que dichos minerales se encuentren como accesorios de estas rocas, o dentro de vetas asociadas a estas. Los minerales detríticos han tenido que sobrevivir al interperismo, erosión y transporte. Ejemplo de los minerales de placer son el oro, platino, diamante, casiterita, ilmenita, rutilo, circón, monazita, granate, magnetita y corundó ( Cronan, 1980 ). Los placeres marinos están virtualmente confinados a la línea de costa, playas y sitios cercanos a estas ( Cronan, -- 1960 ). Las arenas y gravas para construcción se incluyen dentro de estos depósitos, o también se les puede nombrar agregados.

Los minerales autigénicos se forman directamente sobre el ambiente de depósito en un medio subacuático, y resultan de las reacciones químicas entre las fases disueltas en el agua ( en este caso marina ), o de la alteración de fases sólidas preexistentes en sedimentos subacuáticos. Debido a que se forman in situ tienen una gran importancia para reconocer las condiciones fisicoquímicas de su formación ( y por ende las de su ambiente ). Estos minerales son las zeolitas, barita, carbonatos, sales, feldespatos, etc.; además de las fosforitas, nódulos polimetálicos y sedimentos metalíferos que se pueden considerar acumulaciones autigénicas ( Cronan, 1960 ).

Las fosforitas son un depósito sedimentario compuesto principalmente de minerales fosfáticos. su principal mineral es una variedad de apatito, el colofano, que aparece en una gran variedad de formas en el ambiente marino ( mamilar, laminar, peletoidal, nodular, etc. ). Las fosforitas submarinas generalmente ocurren a profundidades menores de mil metros, y en zonas de surgencia ricas en nutrientes y fosfatos que favorecen una gran productividad biológica.

Los nódulos polimetálicos son concreciones que se componen de un núcleo, a partir del cual se forman costras concéntricas de óxidos de ferro-manganeso de espesor variable; las encrustaciones de Fe-Mn son costras que recubren afloramientos marinos, y que se cree tienen un origen similar.

Los nódulos polimetálicos fueron estudiados primero en la expedición Challenger ( 1873-1876 ). o sea que su conocimiento data de más de un siglo. El origen de los nódulos polimetálicos involucra tres problemas, primero su fuente, segundo, el mecanismo por el cual sus elementos son transportados hasta el sitio de depósito, y tercero, el meccnismo de precipitación y crecimiento de estos. Se reconocen varias fuentes de aporte para la formación de los nódulos; a partir del agua marina ( para su posterior precipitación " hidrógena " ), fuentes hidrotermales, " halmirólisis " o intemperismo submarino de material basáltico del piso oceánico, y redistribución diagenética en la columna de sedimentos; se acepta que generalmente varias fuentes en conjunto aportan los elementos para la formación de nódulos, es decir, son poligenéticos. El aporte cósmico de elementos a los nódulos generalmente se considera insignificante. En cuanto al transporte, hay varios meccanismos que se considera entran en juego para el proceso de formación de los nódulos polimetálicos, como la circulación oceánica y la difusión ionica; en el transporte las partículas de Fe y Mn se encuentran en solución y suspensión, su precipitación se debe a procesos fisicoquímicos y biológicos ( adsorción, precipitación inorgánica, acción bacteriana, etc. ).

Todos los depósitos marinos de tipo sedimentario ricos en Fe, Mn y muchos otros elementos, encontrados en asociación con los puntos de actividad volcánica submarina se conocen como sedimentos metalíferos; se encuentran pues asociados a las dorsales mesoceánicas y montañas -- submarinas; sin embargo, el agua marina y otras fuentes diferentes a la volcánica tienen también importancia en su formación. Los sedimentos metalíferos son poligenéticos en cuanto que pueden derivarse de -- más de una fuente, las cuales son: material terrígeno proveniente de los continentes, precipitados del agua marina normal, procesos biogénicos, intemperismo submarino de las rocas oceánicas, precipitados a partir de soluciones hidrotermales y contribuciones magmáticas.



a cabo actualmente en varias partes del planeta; principalmente se explotan los recursos costeros, y los recursos del mar profundo empiezan a ser una posibilidad en el corto plazo ( Carranza, 1987 ), todo depende del desarrollo de la tecnología, y de las necesidades mundiales a futuro.

\*\*\*\*\*

## CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los sedimentos recolectados en la campaña MIMAR II se clasifican como arcillas pardas, aunque también hay algunos coques y arcillas de color olivo.

El estudio de estos sedimentos pone de manifiesto que no existe un único proceso sedimentario a lo largo del área de estudio, sino que son varios los procesos que determinan la distribución de sedimentos en el piso oceánico, y que además existen varias fuentes de aporte sedimentario. Sin embargo nunca hay que perder de vista que los múltiples procesos que existen en el fondo marino no son eventos independientes, sino que el resultado de la interacción de estos procesos determina los patrones de distribución sedimentaria.

Algunos constituyentes del sedimento, así como las variaciones de concentración que presentan a lo largo del área de estudio, fueron esenciales para el reconocimiento de las distintas fuentes de aporte sedimentario. Por ejemplo, el vidrio volcánico y la palagonita, productos del vulcanismo submarino aumentan su concentración en el sedimento en los sitios más cercanos a la actividad volcánica, pero en sitios alejados de esta actividad existen estos constituyentes en buena proporción, esto indica que hay un retrabajamiento de ellos. La uniforme y a veces errática distribución geográfica de minerales arcillosos ( también considerados en parte autógenos ), de cuarzo y de organismos silíceos muestra que un retrabajamiento constante es la pauta del ambiente sedimentario en el mar profundo. Si no ocurriera el retrabajamiento se hubieran encontrado patrones diferentes de los que se observaron, que dependerían de la naturaleza de cada constituyente.

A diferencia, los minerales autógenos del sedimento, y algunos elementos metálicos contenidos en él marcan un patrón de distribución distinto al de los anteriores constituyentes, que parece estar controlado por las condiciones oxidantes del medio de depósito. Mientras es-

tos elementos son removidos de algunos sitios por las condiciones reductoras ( en otros casos su fuente puede ser volcánica ), se depositan en otros sitios con condiciones oxidantes.

La distribución sedimentaria en sección muestra también cambios en su régimen. El reconocimiento de dos horizontes de vidrio volcánico, uno superficial de alta concentración y otro profundo de baja concentración indica un cambio en el ritmo de la actividad volcánica, o un cambio en el ritmo de sedimentación; de la misma forma, la presencia de un horizonte basal con escasa fauna pelágica puede ser producto de la disolución del sílice amorfo a cierta profundidad de enterramiento. Sin embargo, no se aprecia otra variación significativa de los constituyentes a profundidad, y entonces parece ser que el ambiente sedimentario no ha variado gran cosa a lo largo de toda la columna.

En conclusión, se tienen varias influencias ( fuentes de sedimentos ), y las corrientes marinas son las que determinan en buena parte la distribución de sedimentos ( sobre todo en la concentración de arcillas, óxidos e hidróxidos complejos, cuarzo y organismos planctónicos ), pero el vulcanismo modifica la constitución de los sedimentos cercanos a su actividad, y además introduce modificaciones en la masa de agua.

Mientras se postulan varias fuentes de sedimentos el medio de distribución es el agua marina, pero el agua marina es un complejo sistema que involucra varias masas de agua, que no son estacionarias, sino que dependen de su interrelación y de la continuación de las condiciones que les dan origen.

Es entonces la circulación marina un problema clave en la comprensión del ciclo sedimentario en los océanos.

Para el área de estudio se puede sugerir un esquema que es tentativo, basado en los resultados del análisis de sedimentos y en referencias bibliográficas; este esquema trata de describir los procesos sedimentarios marinos que afectan el área y que permiten la existencia de nódulos polimetálicos y sedimentos metalíferos asociados.

La influencia hidrotermal de la dorsal en los sedimentos se extiende por muchos kilómetros; puesto que los sedimentos recolectados en la campaña MIMAR II están enriquecidos en metales, y no se conoce una fuente tan importante de algunos elementos metálicos en el área ( como el Cu y el Zn ), se reconoce una " pluma " hidrotermal que enriquece a estos sedimentos. Otros elementos metálicos como el Fe y el Mn se pueden originar a partir de la " halmirólisis " de basaltos, y entonces son más independientes del suministro hidrotermal.

La circulación en las aguas de fondo no es conocida, y es por decirlo así menos segura postular su movimiento. El movimiento turbulento y aleatorio considerado aquí para las aguas de fondo se basa en una opinión bastante reservada ( José Barberán, comunicación personal ), - en el análisis de varios núcleos ( Mangini et al, 1982 ) y en la interpretación de los resultados del presente trabajo. Además, el flujo de una corriente circumpolar hacia el sur ( Reid, 1982 ) no se pudo integrar al esquema ( quizá si pasa por debajo de la " pluma " habría un arrastre hacia el sur de los elementos que de la " pluma " caen ).

El esquema propuesto en el capítulo V es susceptible de ser modificado o negado en base a posteriores investigaciones.

Hay varias formas de determinar la viabilidad del modelo. En este sentido se recomienda, para confirmar el flujo hidrotermal hacia el oeste, un análisis de la concentración de  $^3\text{He}$  en el agua marina a diferentes profundidades; como el  $^3\text{He}$  es un elemento inerte que proviene del manto, actúa como un trazador de aguas hidrotermales; una anomalía a cierta profundidad en la concentración de este isótopo daría la clave del posible flujo a partir de la dorsal hacia el oeste ( y tal vez también al este ). Otra forma de conocer, ahora las corrientes marinas sobre todo de fondo es el uso de corrientómetros, desgraciadamente estos aparatos son muy caros, se necesitan muchos, y un estudio de estacionalidad necesita de mucho tiempo, incluso varios años, pues hay que diferenciar entre un flujo permanente y uno pasajero.

Por otro lado, el uso de la ecosonda y un muestreo más profundo, permitirán precisar aspectos sobre la evolución del Pacífico mexicano en un mayor lapso de tiempo geológico, Es importante hacer un estudio paleontológico de los sedimentos de la campaña MIMAR II.

Por último, una vez recomendados los estudios particulares que podrían complementar este esfuerzo, se ha de recomendar un mayor énfasis en la investigación marina, no solo en el Pacífico de México sino también en las aguas del Golfo y en el Caribe mexicano, para conocer y aprovechar en un futuro la riqueza mineral del mar que pertenece por ley a la nación mexicana. Es ingenuo pensar que esto se realice si no se aumenta el apoyo a la investigación marina, es necesario pues que recursos económicos y humanos se desvíen al estudio y comprensión de los mares mexicanos.

\*\*\*\*\*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Dr. Arturo Carranza Edwards, quien tuvo a bien dirigir este trabajo de tesis, su ayuda y recomendaciones para que mi trabajo resultara lo mejor posible dentro de lo que mis limitaciones - permiten. Por las mismas razones agradezco la ayuda que me brindaron - los ingenieros Antonio E. Márquez García y Eduardo A. Moráles de la -- Garza, quienes fueron además unos compañeros durante mi trabajo en el ICyL.

A los ingenieros Miguel Vera Ocampo y Jorge Nieto Obregón, así co mo a la Dra. Palmira Brunner Liebshard y al Dr. José Lugo Hubp les doy mis más sinceras gracias por tomarse la molestia de ser mis sinodales - y por las valiosas recomendaciones que me sugirieron en la redacción - final del manuscrito.

A Eduardo Rodríguez que me proporcionó algunos datos del análisis químico de los sedimentos de la campaña MIMAR II que aquí incluyo, le agradezco esta valiosa ayuda que en mucho reforzó al presente trabajo - de tesis.

Agradezco también a la Lic. Yolanda Fornelas por su ayuda en la - realización de las fotomicrografías que aquí aparecen; y a la Lic. Mar tha Eugenia García por acceder a enseñarme algunas de las técnicas de - laboratorio que utilicé.

Quiero por último agradecer el apoyo que me brindaron mis padres, mis abuelos, mis hermanos y mis amigos, compañeros y maestros; sin el - cual este esfuerzo no habría sido posible.

\*\*\*\*\*

## BIBLIOGRAFIA

- Becker, K., and R. P. Von Herzen, 1983. Heat flow on the western flank of the east Pacific rise at 21° N. Journal of Geophysical Research, 88 ( B12 ): 1057-1066.
- Boström, K., M. N. A. Peterson, O. Joensuu, and D. E. Fisher, 1969. Aluminium poor ferromanganese sediments on active ocean ridges. - Journal of Geophysical Research, 74: 3261-3270.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, M. G. Villaseñor-Cabral, R. Lozano-Santa Cruz, y Y. Hornelas-Orozco, 1986. Sulfuros metálicos submarinos al sur de la península de Baja California, México. Ann -- Inst. Cien. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México, 13 ( 1 ): 287-296.
- Carranza-Edwards, A., 1987. Perspectivas de los recursos minerales del mar en el México del siglo XXI. Primer Simposio nacional sobre el desarrollo histórico de las investigaciones oceanográficas en México, organizado por la comisión de investigaciones oceanográficas. México D. F.
- CNEXO ( Centre National pour l'exploration des océans ), 1984. Les nodules du Pacifique central dans leur environnement géologique, Campagnes COPANO-1979. Serie: Resultants des campagnes a la mer, No. 26, 202 p.
- Cronan, D. S., 1980. Underwater minerals. Academic Press, Londres, 362 p.
- Chen, B., and Gumsion, 1986. Sediment-water interactions and mineral-cycling in reservoirs, Resúmen No. 2037, ASFA II, 16:10.
- Fornari, D. J., W. B. F. Ryan, and P. J. Fox, 1983. Sea Marc 1 side-scan sonar imaging near the east Pacific rise. EOS TRANS AM, --- 64 ( 31 ): 482-483.
- Francheteau, J., and R. D. Ballard, 1983. The east Pacific rise near - 21°N, 13°S and 20°S: inferences for along-strike variability of axial processes of the mid-ocean ridge. Earth and Planetary Science letters, 64: 93-116.

- Francheteau, J., C. Riffaud, F. Spiess, J. Tebeyer, X. Le Pichon, P. --  
Choukroune, T. Juteau, D. Needham, C. Rangin, M. Séguret, R. Ballard,  
P. J. Fox, W. Normark, A. Carranza, D. Córdoba, y J. Guerrero, --  
1980. Nacimiento de un océano. CONACYT ( Ed. ), México D. F., 84 p.
- Hamelin, B., B. Dupré, and C. J. Allegre, 1984. Lead-strontium isotopic  
variations along the east Pacific rise and the mid-Atlantic rise:  
a comparative study. Earth and Planetary Science Letters, 64: 340-  
350.
- Hékinian, R., J. Francheteau, and R. D. Ballard, 1985. Morphology and-  
evolution of hidrothermal deposits at the axis of the east Pacific  
rise. Oceanologica Acta, 8 ( 2 ): 147-155.
- Juteau, T., J. P. Eissen, J. Francheteau, D. Needham, P. Choukroune, C.  
Rangin, M. Séguret, R. D. Ballard, P. J. Fox, W. R. Normark, A. -  
Carranza, D. Córdoba, y J. Guerrero, 1980. Homogeneous basalts --  
from the east Pacific rise at 21°N: steady state reservoirs at mo-  
derately fast spreading centers. Oceanologica Acta, 3 ( 4 ): 487-  
503.
- Kenneth, S. J., C. L. Beebles, C. M. Sakamoto-Arnold, and J. J. Chil-  
dress, 1986. In situ measurements of chemical distribution in a -  
deep-sea hydrothermal vent field. Science, 231 ( 4742 ): 1139-1141.
- Lugo-Hubp, J., 1985. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. Eol.  
del Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México, ( 15 ): 9-39.
- Lugo-Hubp, J., 1986. Las estructuras mayores del relieve terrestre. --  
Univ. Nal. Autón. México ( Ed. ), México D. F., 133 p.
- Luyendyk, B., and K. C. Macdonald, 1985. A geological transect across-  
the crest of the east Pacific rise at 21°N latitude made from the  
deep submersible Alvin. Resumen No. 2135, ASFA II, 16: 58.
- Macdonald, K. C., and B. Luyendyk, 1985. Investigation of faulting and  
abysal hill formation on the flank of the east Pacific rise ( 21°  
N ) using Alvin, Resumen No. 2133, ASFA II, 16: 57.
- Mangini, A., J. Dominik, D. J. Muller, y P. Stoffers, 1982. Pacific --  
deep circulation: a velocity increase at the end of the interglacial  
stage 5?. Deep Sea Research, 29 ( 12A ): 1517-1530.

- Martín-Barajas, A., 1980. Distribución de minerales pesados en placeres de playa en una porción del litoral de los estados de Guerrero y Oaxaca. VII Sem. Int. sobre exploración geológica minera, C. R. M., 185-211 p.
- Rehm, E., 1983. Coarse-grained volcanic detritus in deep-sea sediments of the northeastern equatorial Pacific. Marine Geology, 51: 347--361.
- Reid, J.L., 1982. Evidence of an effect of heat flux from the east Pacific rise upon the characteristics of the mid-deep waters. Geophysical Research Letters, 9 ( 4 ): 381-384.
- Rudnik, G. B., YE, N. Melankholina, D. I. Kudryavstev, O. S. Lemova, - V. G. Safonov, y O. A. Schmidt, 1982. Composition of oceanic crust in the Emperor and Murray fracture zones, Pacific ocean. Geotectonics, 16 ( 3 ): 171-178.
- Santschi, P. H., P. Bower, U. P. Nyffeler, A. Arevedo, and W. S. Broecker, 1983. Estimates to the resistance of chemical transport posed by the deep-sea boundary layer. Limnol. Oceanogr., 28 ( 5 ): 899-912.
- Spiess, F. N., K. C. Macdonald, T. Atwater, R. Ballard, A. Carranza, D. Córdoba, C. Cox, V. M. Díaz García, J. Francheteau, J. Guerrero, - J. Hawkins, R. Haymon, R. Hessler, T. Juteau, M. Kastner, R. Larson, B. Luyendyk, J. D. Macdougall, S. Miller, W. Normark, J. Orcutt, and C. Rangin, 1980. East Pacific rise; hot springs and geophysical experiments. Science, 207 ( 4458 ): 1421-1433.
- Stommel, H., 1982. Is the south Pacific helium-3 plume dynamically active?. Earth and Planetary Science Letters, 61: 63-67.
- Thompson, G., W. B. Bryan, R. Ballard, K. Hamuro, and W. G. Melson, -- 1985. Axial processes along a segment of the east Pacific rise, - 10°-20°N. Nature, 318: 429-433.
- Universidad de Cambridge, de 1983 a 1986. ASFA II ( Aquatic Sciences - and Fisheries Abstracts, Part II ).

- UNAM-CONACyT, 1985. Investigación sobre origen, procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica-Exclusiva de México. A. Carranza-Edwards, Coordinador responsable. Primer Informe. ( Julio, 1985 ). Inst. Cienc. del Mar y Limnol., - Univ. Nal. Autón. México. ( Inédito ).
- UNAM-CONACyT, 1986a. Investigación sobre origen, procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica-Exclusiva de México. A. Carranza-Edwards, Coordinador responsable. Tercer Informe. ( Julio, 1986 ). Inst. Cienc. del Mar y Limnol., - Univ. Nal. Autón. México. ( Inédito ).
- UNAM-CONACyT, 1986b. Investigación sobre origen, procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica-Exclusiva de México. A. Carranza-Edwards, Coordinador responsable. Informe Preeliminar. ( Noviembre, 1986 ). Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. de México. ( Inédito ).
- UNAM-CONACyT, 1987. Investigación sobre origen, procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica-Exclusiva de México. A. Carranza-Edwards, Coordinador responsable. Cuarto Informe. ( Enero, 1987 ). Inst. Cienc. del Mar y Limnol., - Univ. Nal. Autón. México. ( Inédito ).
- Varnavas, S. P., y Papaioannou, 1983. Metal accumulation rates in east Pacific rise metalliferous sediments. Marine Geology, 52: 227-239.

\*\*\*\*\*