



03086
1
2-*ej*

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado
del Colegio de Ciencias y Humanidades
Proyecto Académico Especialización, Maestría
y Doctorado en Ciencias del Mar

ANÁLISIS TEXTURAL Y MINERALÓGICO DE NODULOS
POLIMETÁLICOS Y SEDIMENTOS DEL PISO OCEÁNICO
DEL PACÍFICO EN LA PORCIÓN CENTRAL DE LA ZONA
ECONÓMICA EXCLUSIVA DE MÉXICO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(ESPECIALIDAD OCEANOGRAFÍA GEOLOGICA)
P R E S E N T A :
ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1 9 9 0



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 GENERAL

	Página
Indice General	i
Indice de Figuras	iii
Indice de Tablas	vi
Indice de Láminas	vii
RESUMEN	1
CAPITULO 1.-INTRODUCCION	2
Generalidades	3
Antecedentes	8
Objetivos	11
CAPITULO 2.-AREA DE ESTUDIO	12
Región A	12
Región B	12
Región C	15
Estratigrafía y Tectónica	15
CAPITULO 3.-METODOLOGIA	25
Análisis de nódulos polimetálicos	26
Análisis de sedimentos	31
CAPITULO 4.-CARACTERISTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE LOS NODULOS POLIMETALICOS	33
Características físicas internas y composicionales de los nódulos polimetálicos	41
Macroestructuras	41

Características físicas y texturales de los núcleos	51
Microestructuras y mineralogía de los nódulos	60
Estructuras secundarias y de reemplazamiento diagenético	70
CAPITULO 5.-CARACTERISTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE LOS SEDIMENTOS	82
Clasificación y descripción de sedimentos	82
Sedimentos superficiales	83
Color	83
Composición	86
Núcleos de sedimentos	94
Edad de los sedimentos	103
CAPITULO 6.-DISCUSION DE RESULTADOS	107
CAPITULO 7.--CONCLUSIONES	117
LITERATURA CITADA	121
AGRADECIMIENTOS	127

INDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Distribución global de nódulos polimetálicos (tomado de Heath, 1981).	6
Figura 2.1	Localización del Área de estudio (modificado de Carranza, 1987).	13
Figura 2.2	Área de nódulos polimetálicos de máximo interés comercial (tomado de Piper, <i>et al.</i> , 1979).	14
Figura 2.3	Morfoestructuras del fondo oceánico (modificado de Lugo, 1985) (Depresión MIMAR, tomada de Carranza, <i>et al.</i> , 1987).	17
Figura 2.4	Estratigrafía y características petrográficas usadas para el reconocimiento de las formaciones oceánicas del Pacífico Ecuatorial (modificado de Cook, 1975).	19
Figura 2.5	Sección estratigráfica de las formaciones oceánicas del Pacífico Ecuatorial (modificado de Cook, 1975).	20
Figura 2.6	Facies paleogeológicas del Pacífico Ecuatorial. Ver figura 2.5 para simbología y características (modificado de Cook, 1975).	21
Figura 2.7	Reconstrucción de los patrones de apertura oceánica durante el Mioceno (tomado de Handschumater, 1976).	22
Figura 3.1	Morfología de los nódulos regulares en función de su redondez y aplanamiento dentro de un plano perpendicular (de Pautot y Hoffert, 1984)	27
Figura 4.1	Características físicas externas de los nódulos (tomado de Carranza, <i>et al.</i> , 1987).	34
Figura 4.2	a) Clasificación de las formas de guijarros (Zingg, 1935). b) Ubicación de las formas de 58 nódulos con una tendencia hacia las formas esféricas.	39

Figura 4.3	Esquema de los principales tipos de núcleo y sus características mineralógicas (tomado de Martín-Barajas, 1989).	52
Figura 4.4	Estaciones en las que se colectaron nódulos y nivel de profundidad al que se colectaron (tomado de Rosales-Hoz, 1989).	71
Figura 5.1	Color del sedimento superficial (tomado de Ramírez-Argaez, 1987).	85
Figura 5.2	Facies sedimentaria de los sedimentos superficiales.	87
Figura 5.3	Distribución de las arcillas y limos en sedimentos superficiales.	88
Figura 5.4	Distribución de montmorillonita de la fracción arcillosa en los sedimentos superficiales (tomado de Lozano-Santa Cruz, <u>et al.</u> , 1988).	89
Figura 5.5	Distribución de los constituyentes biogénicos de la fracción limosa de los sedimentos superficiales (%).	91
Figura 5.6	Distribución de detritos de la fracción limosa de los sedimentos superficiales (%).	92
Figura 5.7	Distribución de los constituyentes autógenicos de la fracción limosa de los sedimentos superficiales (%).	93
Figura 5.8	Facies sedimentarias en la columna de sedimentos.	95
Figura 5.9	Distribución de la fracción arcillosa y los detritos de la fracción limosa en la columna de sedimentos.	97
Figura 5.10	Composición mineralógica de la fracción arcillosa (tomado de Lozano-Santa Cruz, <u>et al.</u> , 1988).	100
Figura 5.11	Distribución de constituyentes biogénicos en la fracción limosa en la columna de sedimentos.	101-102

Figura 5.12 Distribución de constituyentes autigénicos de la fracción limosa en la columna de sedimentos. 104-105

Figura 6.1 Morforelieves del piso oceánico del Pacífico Mexicano (modificado de Lugo, 1985). 108

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Localización de estaciones de muestreo.	16
Tabla 3.1 División de nódulos según su morfología (modificado del método Afernod, 1984).	28
Tabla 3.2 Aspecto superficial de los nódulos (tomado de Pautot y Hoffert, 1984)	28
Tabla 3.3 Descripción morfológica de nódulos (modificado de Pautot y Hoffert, 1984).	29
Tabla 3.4 Propiedades ópticas de los principales minerales de nódulos en secciones pulidas (modificado de Sorem y Fewkes. 1977).	30
Tabla 3.5 Facies sedimentarias de los sedimentos marinos asociados a nódulos de acuerdo al proyecto de Perforación del Mar Profundo (D.S.O.P.) (En Pautot y Hoffert, 1984).	32
Tabla 4.1 Características generales de los nódulos.	35
Tabla 4.2 Características físicas externas de los nódulos representativos superficiales y sepultados.	40
Tabla 4.3 Macroestructuras de los nódulos representativos superficiales y sepultados.	43
Tabla 4.4 Relación entre diámetros de capas de óxidos y el diámetro del núcleo de los nódulos representativos superficiales y sepultados.	53
Tabla 4.6 Microestructuras predominantes de los nódulos representativos superficiales y sepultados.	63
Tabla 4.7 Composición química de los nódulos superficiales (tomado de Rosales-Hoz, 1989).	72
Tabla 4.8 Composición química de los nódulos sepultados (tomado de Rosales-Hoz, 1989).	73
Tabla 4.9 Estructuras secundarias y de reemplazamiento diagenético de los nódulos representativos superficiales y sepultados.	76
Tabla 5.1 Color del sedimento superficial (según Ramírez-Argaez, 1987).	84

INDICE DE LAMINAS

	Página
Lámina 4.1 Algunos nódulos recuperados en la campaña oceanográfica MIMAR II.	37
Lámina 4.2 Características de los nódulos compuestos de diferentes capas o zonas de su corteza.	47
Lámina 4.3 Diferentes tipos de núcleos de nódulos polimetálicos	57
Lámina 4.4 Ejemplos de algunas microestructuras presentes en los nódulos.	67
Lámina 4.5 Microestructuras dominantes y estructuras de reemplazamiento en los nódulos.	79

RESUMEN

El presente trabajo es un estudio textural y composicional de los nódulos polimetálicos del Pacífico Mexicano, así como de sedimentos asociados a ellos. La finalidad de esta investigación es contribuir al conocimiento de los recursos minerales marinos de la Zona Económica Exclusiva de México.

Se analizaron un total de 78 nódulos superficiales y sepultados colectados en 35 núcleos obtenidos principalmente con un nucleador de gravedad durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II realizada por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, en enero-febrero de 1980.

A los nódulos polimetálicos se les analizaron sus texturas superficiales, macroestructuras, microestructuras y composición. Los sedimentos fueron analizados tanto texturalmente como composicionalmente. El estudio se basó en análisis petrográficos y minerográficos.

Los nódulos tanto superficiales como sepultados presentan formas regulares principalmente; su tamaño varía desde 1 cm hasta 13 cm con un promedio de 4 cm, con texturas predominantemente granulares y lisas.

La corteza de los nódulos está formada de una hasta tres capas con microestructuras dendríticas compuestas de óxidos cristalinos asociadas con un origen diagenético y microestructuras columnares de óxidos amorfos asociadas con un origen hidrogenético.

Las texturas lisas se asocian principalmente con microestructuras columnares y las texturas granulares con microestructuras dendríticas.

Los núcleos son principalmente fragmentos de nódulos producto de una fuerte erosión por corrientes de fondo y sedimentos semiconsolidados de origen vulcanosedimentario.

Los sedimentos son de origen: 1) volcánico (arcillas, pómez y otros detritos), 2) biogénicos (silíceo y calcáreo), y 3) autigénico (óxidos).

Los nódulos, tanto superficiales como sepultados, están asociados principalmente con sedimentos ricos en sílice, aunque algunos se encuentran asociados a lodos ricos en óxidos.

Los nódulos se encuentran distribuidos ampliamente en las planicies y lomeríos dentro del área de estudio, siendo la Depresión MIMAR una de las zonas de mayor interés económico por el alto contenido de nódulos que presenta.

CAPITULO 1.-INTRODUCCION

Desde el descubrimiento de nódulos de manganeso durante la expedición oceanográfica realizada por el H.M.S. Challenger entre 1872 y 1876, en el piso del Océano Pacífico (Rothe, 1983), han sido escasos los estudios que sobre nódulos se han reportado, inclusive después de la Segunda Guerra Mundial, época en la cual se desarrolla la tecnología necesaria para la investigación más formal de los fondos oceánicos.

En la década de los 70s. (Tixeront, 1978), a través de la creación de consorcios, tales como: Ocean Mining Associates (1974); Kenecott Exploration Corporation (1974); Ocean Management Incorporates (1975); Deep Ocean Mining Corporation (1977); entre otros. Países como Estados Unidos, Francia, Japón, Alemania, Holanda y otros países desarrollados han invertido capital de riesgo para la exploración de los fondos marinos, empezándose así, un estudio intensivo sobre el origen de los nódulos de manganeso a nivel internacional

Como resultado de las investigaciones de nódulos en diferentes partes del mundo se han llegado a establecer algunas características generales de los nódulos, así como sus relaciones con el sedimento, el flujo de metales hacia el fondo marino y los mecanismos de transferencia de metales hacia los nódulos. Actualmente estos consorcios están tratando de crear mecanismos de extracción de nódulos del fondo marino, al igual que su metalurgia (Emerson et al., 1980; Jhanke et al., 1982). En años recientes a los nódulos de manganeso se les conoce como nódulos polimetálicos, ya que entre sus elementos se tiene Mn, Co, Ni, Cu y Fe.

Por otra parte, el Departamento de Asuntos Económicos, Sociales e Internacionales de las Naciones Unidas (ONU, 1980), proporcionó información sobre las investigaciones realizadas por estos consorcios y los programas nacionales de Francia y Japón a través de la Asociación Francesa para el Estudio y la Búsqueda de

Nódulos (APERIOD) y la Asociación de Minerales del Océano Profundo (DONA). En base a las extensas exploraciones del fondo marino realizadas por dichos consorcios, se han podido identificar posibles yacimientos de nódulos, que podrán explotarse como minas de "Primera Generación" en la región septentrional del Océano Pacífico, cuya explotación dependerá de las condiciones de mercado, y no, por la capacidad técnica, que ya ha sido desarrollada en la exploración, explotación y tratamientos metalúrgicos de los nódulos.

Generalidades.

Los nódulos polimetálicos se pueden definir de manera general como agregados en forma de capas concéntricas de metales (Mn, Cu, Fe, Co y Ni principalmente), incorporados diagenéticamente o hidrogenéticamente, a partir de un núcleo que puede ser de sedimentos semi-consolidados, detriticos, autigénético, piedra pómez, dientes de tiburón, fragmentos de nódulos, etc., con una diversidad de tamaños, formas y texturas.

Los nódulos de acuerdo con Heath (1981), presentan formas muy variadas y aún cuando pueden ser esféricos, las formas discoidales o irregulares son mucho más comunes. En algunos casos la forma está controlada por la forma del núcleo, aunque generalmente la forma está gobernada por el crecimiento irregular de las capas de oxihidróxido de ferromanganeso.

El tamaño de los nódulos es variable, su promedio de tamaño se encuentra entre 4 y 5 cm de diámetro, sin embargo, se han encontrado nódulos mayores de 30 cm (Heath, 1981). Así mismo también existen micronódulos de forma concrecional de 1 mm de talla aproximadamente.

La textura superficial de los nódulos, según Pautot y Hoffert (1984), puede ser: lisa (con granos menores a 1 mm de diám.), granular (granos entre 1 y 5 mm de diám.), y mamilares (granos mayores a 5 mm de diám.).

Un mismo nódulo puede presentar dos o tres texturas debidas

quizás a diferentes procesos durante el depósito como pueden ser los procesos deposicionales, la remoción por corrientes de fondo o la actividad de organismos o de bacterias. (Greenslate, 1974; Heath, 1981).

Las capas concéntricas que forman los nódulos están formadas principalmente por capas amorfas o criptocristalinas de manganato, oxihidróxidos de Fe y Mn, y arcillas, revelando que muchos nódulos son estructural, química y mineralógicamente heterogéneos como resultado de la historia compleja de su crecimiento (Sorem y Fewkes, 1977).

El reciente uso del microscopio electrónico de alta resolución y la selección de técnicas de difracción (Turner y Buseck, 1979) han proporcionado una gran cantidad de información sobre el contenido químico y mineralógico de los nódulos. Se sabe que están constituidos principalmente por Vernardita (MnO_2), Todorokita [(Ca, Na, K, Ba, Mn^{2+})₂ $Mn_5O_{10} \cdot H_2O$ = 10 A° Manganita], Birnesita [(Ca,Na) (Mn^{3+} , Mn^{4+})₂ $O_{14} \cdot 3H_2O$ = 7A° Manganita), además de oxihidróxido férrico amorfo, con elementos incorporados como Co, Cu y Ni, cuya estructura química no ha sido determinada directamente (Burns y Burns, 1977), la concentración de estos elementos depende de otros parámetros físico-químicos que hacen que la composición química sea muy compleja.

Dymond et al. (1984) han demostrado que la mineralogía de los nódulos está en función de los procesos de acreción que se dan durante la formación del nódulo, los cuales pueden ser: por precipitación hidrogénica (acumulación directa de óxidos a partir del agua de mar) que produce MnO_2 , por diagénesis óxica (por procesos físico-químicos en los sedimentos) que produce todorokita que es rica en Cu y Ni, y por diagénesis subóxica que produce una todorokita inestable que se transforma a birnesita por deshidratación.

Por otro lado, los minerales de hierro que se han reportado en los nódulos polimetálicos son: Goetita ($FeOOH$), Lepidocrocita (Fe_2O_3), Hematita (Fe_2O_3), en fases criptocristalinas, entre otros (Johnson y Glasby, 1988).

Los nódulos polimetálicos tienen una amplia distribución en el piso marino, estando asociados principalmente a sedimentos pelágicos con rangos de sedimentación menores a 7 mm por mil años. Los nódulos son raros o totalmente ausentes en los depósitos hemipelágicos del talud continental o de planicies abisales con sedimentos turbidíticos (Heath, 1981) (figura 1.1). La mayoría de los sedimentos asociados con los nódulos son de grano muy fino, como las arcillas pelágicas altamente oxidadas que en algunas ocasiones presentan una abundancia de testas de radiolarios o de diatomeas y que constituyen lodos silíceos (Horn et al., 1972).

Mero (1985) puntualizó que los depósitos con abundancia de nódulos se encuentran más frecuentemente en las áreas donde los rangos de sedimentación son bajos, esto es, en áreas donde los sedimentos están compuestos principalmente por arcillas pelágicas u ooze silíceos, pero también se dan altas concentraciones donde la sedimentación es inhibida como resultado de la acción de las corrientes (Cronan, 1977). Los nódulos están raramente asociados con sedimentos terrígenos, probablemente porque los nódulos incipientes están sepultados por los enormes flujos de material proveniente de los continentes (Horn et al., 1972) o quizás porque los núcleos no están disponibles (Cronan, 1977).

Los nódulos están usualmente ausentes, o son escasos donde los sedimentos corresponden a ooze calcáreos. Este efecto parece deberse a la reducción del manganeso en estado divalente debido a una alta tasa de sedimentación y a la descomposición de la materia orgánica de estos sedimentos (Arrhenius, 1963).

En algunas áreas el piso oceánico está cubierto por costras delgadas de manganeso, pero pobres en Cu y Ni por lo cual no se les considera parte de los recursos mineros (Frazer, 1980).

La abundancia de los nódulos que se encuentran sobre el piso oceánico tienden a disminuir hacia las capas de sedimentos más profunda, llegando hasta los cuatro metros donde tienden a desaparecer (Cronan y Tooms, 1987). Un número de teorías pueden ser la explicación de la concentración relativamente alta de nódulos en la interfase agua-sedimento o dentro de los primeros

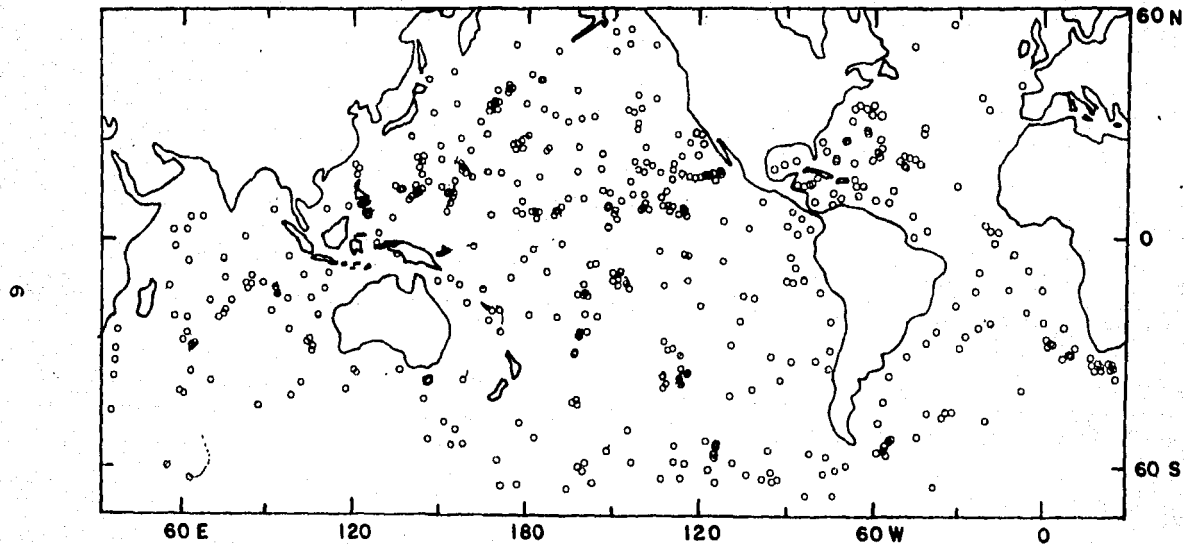


Figura 1.1 Distribución Global de Nódulos Polimetálicos (Tomado de Heath, 1978).

centímetros del sedimento, sin embargo estas incluyen la ascendente difusión del manganeso reducido y una permanencia de los nódulos superficiales debida a la acción de la fauna bentónica (Glasby, 1977, Menard, 1964) ó a las corrientes marinas profundas (Cronan y Tooms, 1987).

Heath (1981) hace una síntesis de los procesos que se pueden dar en la formación de los nódulos polimetálicos, siendo necesario tomar en cuenta dos consideraciones: 1) origen de los metales y 2) mecanismos de concentración de esos metales.

1) Como origen de metales se pueden considerar los siguientes:

a) Metales en solución aportados al océano a través de los ríos (Turekian et al, 1979).

b) Aprovechamiento de elementos a partir de la nueva corteza oceánica por sistemas hidrotermales en los centros de expansión (Corliss, 1971).

c) Diagénesis anóxica de metales traza en sedimentos hemipelágicos con transporte de Fe y Mn hacia zonas oxidantes (Lynn y Bonatti, 1985; Lyle, 1982).

d) Diagénesis oxidante de metales traza en sedimentos pelágicos (Callender y Bouser, 1980).

Por otro lado, los mecanismos de concentración son:

a) Transporte vertical por asentamiento de partículas (Mc.Cave, 1978).

b) Precipitación de oxihidróxidos a partir de las aguas de fondo (Heath, 1981).

c) Difusión vertical ascendente de metales disueltos en aguas intersticiales por un gradiente de concentración que produce una difusión de estos metales hacia el piso oceánico (Heath, 1981).

d) Reacciones autigénicas en sedimentos superficiales por alteración de partículas detríticas de origen volcánico principalmente, las cuales que producen algunos minerales que están presentes en los nódulos, como son: zeolitas, minerales arcillosos, cuarzo autigénico y los mismos óxidos de manganeso. (Burns y Burns, 1977).

e) Actividad bacteriana en sedimentos superficiales y sobre nódulos que al parecer juega un papel importante, ya sea en la deposición de manganeso sobre los nódulos *in situ* ó influyen en la acumulación de otros metales. (Ehrlich, 1971).

f) Actividad de microfauna epibentónica sobre nódulos que contribuyen al crecimiento del nódulo por producir una estructura más dura sobre la cual se puede depositar más oxihidróxido (Greenslate, 1974.).

g) Incorporación preferencial de metales disueltos, esto es que existe una relación entre la Todorokita y el MnO_2 con el contenido de Cu, Ni y Co presente en los nódulos polimetálicos (Barnes, 1967).

h) Volcanismo local en el piso oceánico. A través de sistemas hidrotermales que son una fuente de metales hacia los océanos y a los nódulos (Corliss et al., 1978).

Se puede decir que además de las fuentes de aporte de metales y los mecanismos de concentración, la formación de los nódulos esta en función de otros factores (Cronan, 1980), tales como son: 1) grado de oxidación del ambiente de depósito, 2) presencia de agentes que generen la formación de un núcleo, 3) naturaleza y edad del sustrato, 4) velocidad de sedimentación, 5) corrientes de fondo, y 6) actividad de organismos, entre otros.

Antecedentes.

Para su desarrollo, México requiere de un inventario de recursos naturales marinos renovables y no renovables. Esto permitirá plantear un mejor aprovechamiento de dichos recursos.

Los nódulos polimetálicos representan un recurso marino con un potencial económico de gran importancia por la diversidad de minerales estratégicos (Fe, Cu, Co, Ni, etc.), además, si se toma en cuenta que los recursos minerales sobre continente son cada vez más difíciles de obtener y su demanda va en aumento, será necesario comenzar la explotación de la riqueza mineral del mar.

Por lo que es vital que México empiece a conocer su potencial minero submarino.

En 1985, se inicio en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología con patrocinio de CONACyT, el proyecto UNAM-CONACyT (Clave PCCBBNA-022127) titulado : "Investigación sobre el origen procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica Exclusiva de México", (Carranza-Edwards, 1987).

Dentro de este proyecto, Rosales-Hoz (1989) ha realizado estudios sobre el origen, procesos y distribución de los nódulos polimetálicos, encontrando que son varios los procesos que dan origen a los nódulos, siendo la diagénesis uno de los principales mecanismos de aporte de elementos hacia los nódulos. Además, los procesos hidrotermales que se llevan en las inmediaciones de la Dorsal del Pacífico Oriental a 21 Norte están contribuyendo con aportes de elementos metálicos hacia los nódulos y los sedimentos, sobre todo en las regiones cercanas a la dorsal, ya que hacia el oeste se observa una mayor influencia de procesos hidrogenéticos.

Otros trabajos, también realizados dentro de este proyecto, comprenden diferentes estudios relacionados con los nódulos polimetálicos y sedimentos, como son:

Los estudios realizados por Rodríguez-Uranga (1989), quien menciona que metales como Cu, Co, Ni, Sn, Fe, Mg, Pb, Zn y Ba muestran una relación con la actividad hidrotermal del Pacífico Oriental y quizás a causa de las corrientes marinas estos metales en solución son transportados a la zona de nódulos entre las fracturas Clarión y Clipperton, donde también existen metales de origen hidrogenico (Al, Fe, Mn).

Rámirez-Argaez (1987), efectúa un análisis composicional y textural de los sedimentos superficiales del área de estudio, así como de algunos núcleos de sedimentos, estableciendo, las posibles fuentes de aporte de los sedimentos, las cuales son: la actividad biológica del Plancton y la actividad volcánica.

Martínez-López (1989), analiza mediante estudios micropaleontológicos, el límite Holoceno-Pleistoceno encontrando una variación de mayor a menor profundidad en los sedimentos de este límite con respecto a su posición geográfica (30 cm en la Dorsal del Pacífico Oriental y 12 cm al SW de la Isla Clarión, Méx.)

Lozano-Santa Cruz *et al.* (1988), realiza un estudio sobre la distribución de los minerales arcillosos de los sedimentos del Pacífico Central Mexicano, estableciendo los límites de distribución de la montmorillonita asociada al vulcanismo básico en el área de estudio.

Carranza *et al.* (1987) describe y analiza la abundancia y características físicas externas de los nódulos recolectados en la porción central del Pacífico Mexicano, donde además se encontró una depresión denominada MIMAR con una abundancia de nódulos polimetálicos, cuyo primer cálculo arroja una cifra de 89 millones de toneladas de nódulos dentro de esta depresión.

Objetivos.

Esta investigación tiene el propósito de contribuir al conocimiento de los recursos minerales marinos de la Zona Económica Exclusiva de México, planteándose los siguientes objetivos:

1) Establecer la distribución horizontal (geográfica) y vertical (estratigráfica) de los nódulos polimetálicos y sedimentos asociados.

2) Determinar las características texturales y mineralógicas de los nódulos y sedimentos asociados que permitan conocer la génesis de los nódulos.

3) A través del análisis de las estructuras internas de los nódulos, de su composición mineralógica y de las diferencias morfológicas de los nódulos establecer mecanismos de formación de los mismos.

4) Estimar la importancia potencial de los nódulos polimetálicos del sector central de la Zona Económica Exclusiva en el Pacífico Mexicano.

CAPITULO 2. - AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se divide en tres regiones, las cuales presentan las siguientes características:

Región A.

Comprende el centro de expansión oceánica donde se han encontrado emanaciones de soluciones hidrotermales, que dan origen a las chimeneas hidrotermales del paralelo 21 N dentro de la Dorsal del Pacífico Oriental (Grupo Cyamex, 1980).

Estas emanaciones de soluciones hidrotermales de esta región, según Carranza et al. (1986), son las posibles fuentes de algunos elementos metálicos como Cu, Zn y Fe, que van a constituir parte de los nódulos que se han encontrado cerca de la zona de expansión del Pacífico a una profundidad entre 3000 y 4000 m (figura 2.1).

Región C.

Dentro del Proyecto UNAM-CONACyT, Clave PCCBBNA-022127, se escogió la región situada al SW de la Isla Clarión, a la que se le denominó región C, tomando en cuenta la zona de interés económico, ubicada entre las fracturas Clarión y Clipperton (figura 2.2) (Frazer, 1980, ONU, 1980) y de acuerdo con los datos proporcionados por la AAPG (1984), donde se puede observar que alrededor de esta región C, se han reportado concentraciones de más del 10% de nódulos cubriendo el piso oceánico dentro de la Zona Económica Exclusiva de México.

Corliss et al. (1978), menciona que los volcanes submarinos son una fuente de aporte de elementos hacia los nódulos, por lo que es importante el estudio de esta región, ya que se encuentra rodeada por cuatro volcanes submarinos (figura 2.1).

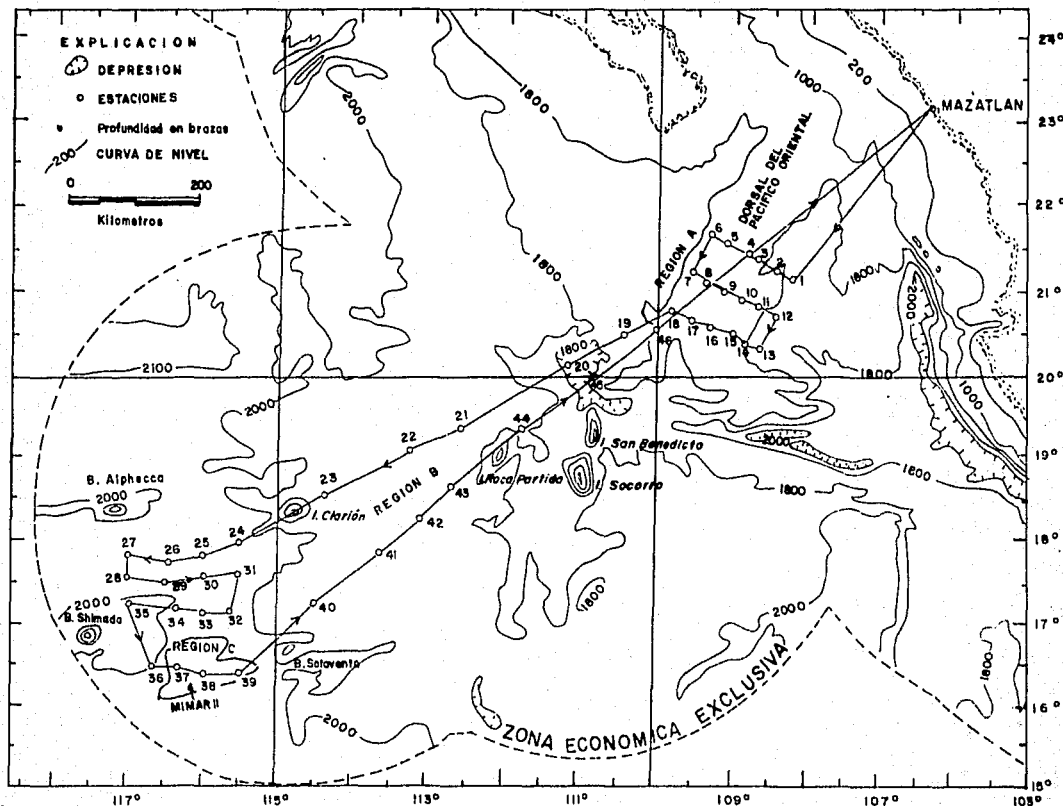


FIGURA 2.1 - LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO (Modificado de Carranza-Edwards, 1986).

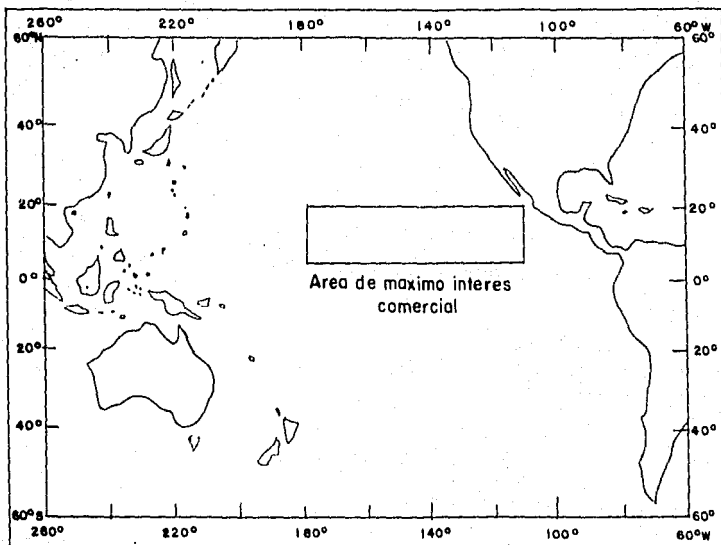


FIGURA 2.2 - AREA DE NODULOS POLIMETALICOS DE MAXIMO INTERES COMERCIAL. (Tomado de Piper et al, 1979. En Rosales-Hoz, 1989).

Region B.

Finalmente para poder establecer una posible relación entre la región A (zona de expansión y posible fuente de elementos metálicos presentes en los nódulos) y la región C (zona de concentración de nódulos), se estudió la región llamada B (figura 2.1), donde además se efectuó un reconocimiento geológico de la Isla Clarión.

La región A (figura 2.3) comprende la zona de la Dorsal del Pacífico Oriental en los alrededores del paralelo 21, con un muestreo de 18 estaciones; la región B abarca el área de las Islas Revillagigedo y una porción de la Cordillera de los Montes Matemáticos con un total de 12 estaciones, la Región C comprende la zona entre la Isla Clarión, Banco Alphecca, Banco Shimada y Banco Sota vento, con 16 estaciones de muestreo.

El área de estudio total se localiza entre los paralelos 18° y 22° de latitud norte y los meridianos 108° y 117° de longitud oeste entre profundidades de 2380m y 3970m (Tabla 2.1).

Morfológicamente de acuerdo con Lugo Hubp (1986) el área de estudio se encuentra dentro de las siguientes morfo-estructuras: Dorsal del Pacífico Oriental (Región A), Laderas y superficies de Meseta con Montañas de más de 1000 m de altura (Región B en su parte oriental); Planicies Abisales con Lomerios y Montañas (Región B, en su parte occidental) y Planicie Abisal ondulada con Lomerios (Región C) (figura 2.3).

Estratigrafía y Tectónica.

A partir de los núcleos obtenidos dentro del Proyecto de Perforación de los Fondos Marinos, se ha podido obtener suficiente información para definir y reconocer una secuencia de unidades estratigráficas a unas 500 m.n. aproximadamente al SW del área de estudio, las cuales se pueden extrapolar a la zona de investigación. Al respecto Cook (1978) define cuatro formaciones

TABLA 2.1 Localización de las estaciones de muestreo

Estación	Latitud norte	Longitud oeste	Profundidad
1	21 12.8	108 12.7	2520
2	21 16.2	108 11.8	3150
3	21 22.2	108 40.6	2380
4	21 26.6	108 47.9	2800
5	21 34.7	109 06.8	2870
6	21 41.0	109 19.4	3080
7	21 15.4	109 33.0	3010
8	21 09.7	109 20.4	2870
10	20 56.6	108 53.4	2800
11	20 48.6	108 40.4	2880
12	20 43.9	108 27.0	3245
13	20 20.4	108 39.2	3080
14	20 24.3	108 52.1	3080
15	20 31.1	109 05.8	3010
16	20 37.9	109 19.9	2870
17	20 41.4	109 33.2	2880
18	20 48.1	109 48.2	2820
19	20 31.2	110 31.2	3220
20	20 10.0	111 10.4	3230
21	19 25.1	112 36.8	3490
22	19 06.1	113 17.2	3570
23	18 34.4	114 22.2	3550
24	18 00.0	115 30.0	3450
25	17 50.1	116 00.0	3700
26	17 46.1	116 27.9	3700
27	17 51.1	116 59.9	3750
28	17 34.6	116 59.7	3750
29	17 32.5	116 30.8	3650
30	17 35.8	116 00.0	3750
31	17 36.5	115 29.8	3750
32	17 09.1	115 41.2	3700
33	17 09.9	116 01.6	3750
34	17 11.2	116 20.8	3750
35	17 17.0	117 00.0	3700
36	16 30.9	116 40.6	3900
37	16 29.9	116 20.5	3970
38	16 26.4	115 56.3	3950
39	16 22.3	115 31.0	3950
40	17 18.0	114 29.9	3650
41	17 52.7	113 43.3	3500
43	18 38.3	112 43.1	3350
44	29 23.6	111 47.3	3350
45	20 00.2	110 48.6	3150

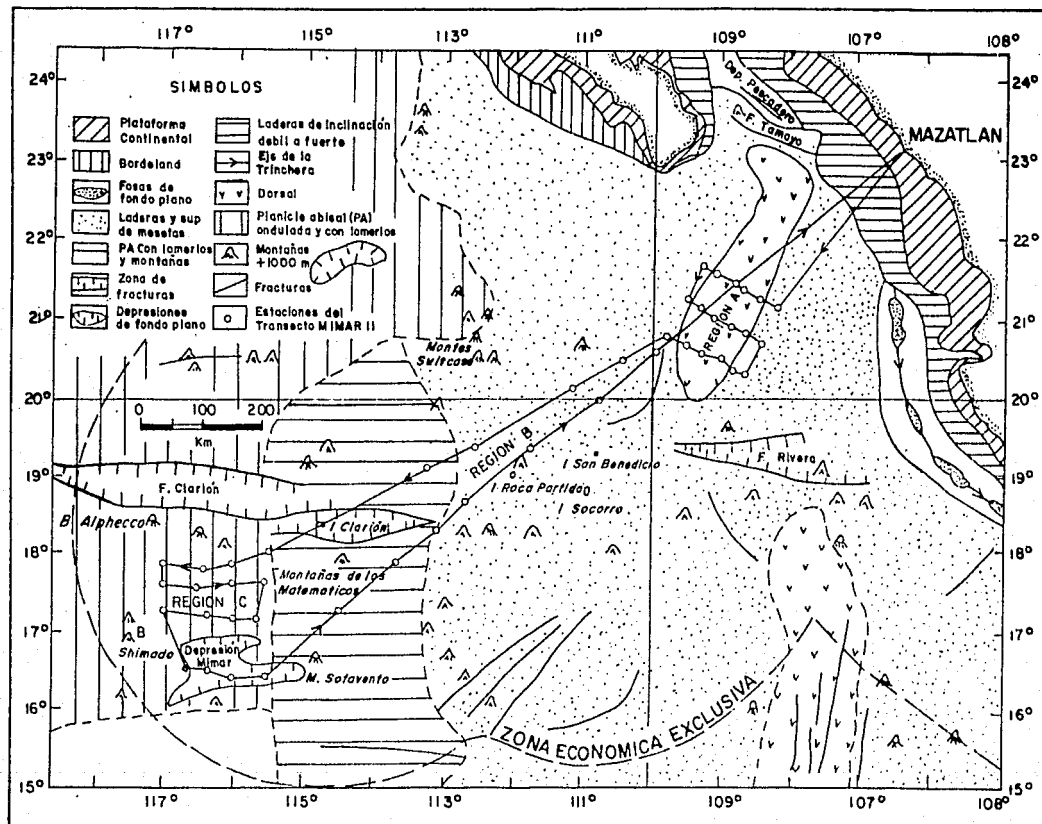


FIGURA 2.3 - MORFOESTRUCTURAS DEL FONDO OCEANICO (Modificado de Lugo, 1985).
(Depresión Mimar, tomado de Carranza et al, 1987).

oceánicas para el Pacífico Ecuatorial: 1) " Line Islands", 2) Marquesas, 3) San Blas y 4) Clipperton. (figura 2.4).

Estas formaciones oceánicas sedimentarias se definen por sus cambios de color, mineralogía, textura y estratificaciones. Estratigráfica y paleogeográficamente cubren desde el Terciario hasta el reciente del Pacífico Ecuatorial (figura 2.5).

De acuerdo con Cook (1975), esta sección estratigráfica muestra la historia geológica de los sedimentos depositados en el Terciario, desde el Eoceno representado por la Formación "Line Islands" con dos regimenes de sedimentación prevalcientes: Uno al este vulcanogénico y el otro pelágico hacia el oeste.

Hacia la parte superior la secuencia estratigráfica cambia progresivamente desde la Formación Oceánica Marquesas (Oligoceno), altamente calcárea, hasta la Formación Clipperton más silicea en sus dos unidades que presenta esta formación a) Unidad de color variado (Mioceno Medio y Tardío) y b) Unidad Cíclica y/o de cozes de radiolarios (Plioceno-Cuaternario). Considerándose también la Formación San Blas (Mioceno Temprano) (figura 2.6).

El modelo general de sedimentación de estas formaciones en base a su litología y a su distribución paleogeológica (figura 2.6) desde el Mioceno Medio, plantea que la depositación de los sedimentos en el piso oceánico del Pacífico, se da lugar en aguas progresivamente más profundas debido a los movimientos de la zona de abertura oceánica hacia el este.

También, es posible que patrones litológicos similares puedan darse por una simple subsidencia del piso oceánico de manera progresiva y regional ó por cambios de posición de surgencias y corrientes oceánicas con respecto al tiempo (Cook, 1975).

El área de estudio tectónicamente está relacionada con los patrones de abertura del piso oceánico que se dan desde el Mioceno y que se han logrado obtener en base a datos batimétricos y observaciones magnéticas (Handschumacher, 1976), teniendo así: (figura 2.7)

a) Hace 26 m.a., la cordillera Farallón-Pacífico está en

FORMACION OCEANICA	COLORES DOMINANTES	TIPOS DE ESTRATOS	CARACTERISTICAS
UNIDAD CICLICA	PARDO AMARILLENTO AMARANADO-GRISACEO	LAMINACIONES ESTRATOS DELGADOS DE 5-25 CM. DE COLORES INTERES - TRATIFICADOS	INTERESTRAVITICACION CICLICA DE CAPAS DELGADAS PARDAS Y AMARANADAS
CLIPPER TON UNIDAD DE COLORES VARIOS	VERDE PALIDO, BLANCO-GRISAZULADO	ESTRATOS DE 5-100 CM. LAMINACION DE CAPAS PURPURAS	BAJO % DE $CaCO_3$ ALTO % DE RADIOLARIOS
SAN BLAS	NEGRO VERDOSO VERDE OSCURO GRIS OLIVO	5-10 CM DE ESPESOR INTENSA ACTIVIDAD ORGANICA	ABUNDANTES MINERALES ARCILLOSOS VERDE OSCURO, MAS MONTMORILLONITA Y PIROCLASTICOS
MARQUESAS	BLANCO BLANCO AZULADO GRIS CLARO	25-200 CM DE ESPESOR CON VARIAS LAMINACIONES	ALTO % DE $CaCO_3$ BAJO % DE RADIOLARIOS
LINE ISLAND	PARDUSCO PARDO AMARILLENTO PALIDO NARANJA PALIDO	LAMINACIONES CAFE OSCURO HACIA LA BASE, DENSITAS DE MANGANESO, CON GALERIAS	COMUNEMENTE PARDO OSCURO LA BASE, ESTRAVITICACION ENVE SOBRE BASALTO

FIGURA 2.4 ESTRATIFRAFIA Y CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS USADAS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LAS FORMACIONES DEL PACIFICO ECUATORIAL (TONADO DE COOK, 1975)


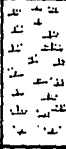
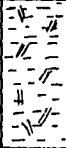
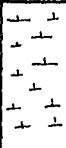





FORMACION OCEANICA		SECCION GRAFICA Y LITOLOGICA	EPOCA	M. DE A.	
COLUMBIANA	UNIDAD CICLICA Y/U OCEZES DE RADIOLARIOS		COSES ARCILLOSOS DE RADIOLARIOS Y NANOFOSILES PARDOS, INTERESTRATIFICADOS CON COSES NANOFOSILES -RADIOLARIOS Y FORAMINIFEROS ANARANJADOS-	CUATERNARIO	0
			LAMINACION Y ESTRATOS DELGADOS	PLIOCENO	5
	UNIDAD ABIARRADA		NANOFOSILES GRIS AZULADO, AMARILLO VERDOSO Y OCEZES DE RADIOLARIOS Y NANOFOSILES LAMINADOS DE ESPESOR DELGADO	TAR-	18
				BIO	
	SAN BLAS		MONTROPILLONITA VOLCANICA VERDE OCEZES DE NANOFOSILES -RADIOLARIOS OCEZES DE NANOFOSILES -FORAMINIFEROS ESTRATIFICACION MASIVA	NE-	15
BIO					
MARQUESAS		"CHALK" DE NANOFOSILES BLANCO Y ANARANJA MUY PALIDO. "CHALK" DE NANOFOSILES -RADIOLARIOS ESTRATIFICACION MASIVA	TEN-	20	
			PRA-		
LINE ISLAND		LOBOLITA DE OXIDO DE Mn Y FIERRO ARDIZO, ARCILLA DE NANOFOSILES PARDOS; LAMINACIONES; DENDRITAS DE Mn HACIA LA BASE	NO	25	
			BIO		
LINE ISLAND		LOBOLITA DE OXIDO DE Mn Y FIERRO ARDIZO, ARCILLA DE NANOFOSILES PARDOS; LAMINACIONES; DENDRITAS DE Mn HACIA LA BASE	TEN-	35	
			PRA-		
LINE ISLAND		LOBOLITA DE OXIDO DE Mn Y FIERRO ARDIZO, ARCILLA DE NANOFOSILES PARDOS; LAMINACIONES; DENDRITAS DE Mn HACIA LA BASE	TO-	40	
LINE ISLAND		LOBOLITA DE OXIDO DE Mn Y FIERRO ARDIZO, ARCILLA DE NANOFOSILES PARDOS; LAMINACIONES; DENDRITAS DE Mn HACIA LA BASE	TAR-		
LINE ISLAND		LOBOLITA DE OXIDO DE Mn Y FIERRO ARDIZO, ARCILLA DE NANOFOSILES PARDOS; LAMINACIONES; DENDRITAS DE Mn HACIA LA BASE	BIO		

FIGURA 2.3 SECCION ESTRATIGRAFICA DE LAS FORMACIONES OCEANICAS DEL PACIFICO ECUATORIAL (MODIFICADO DE COOK, 1975)

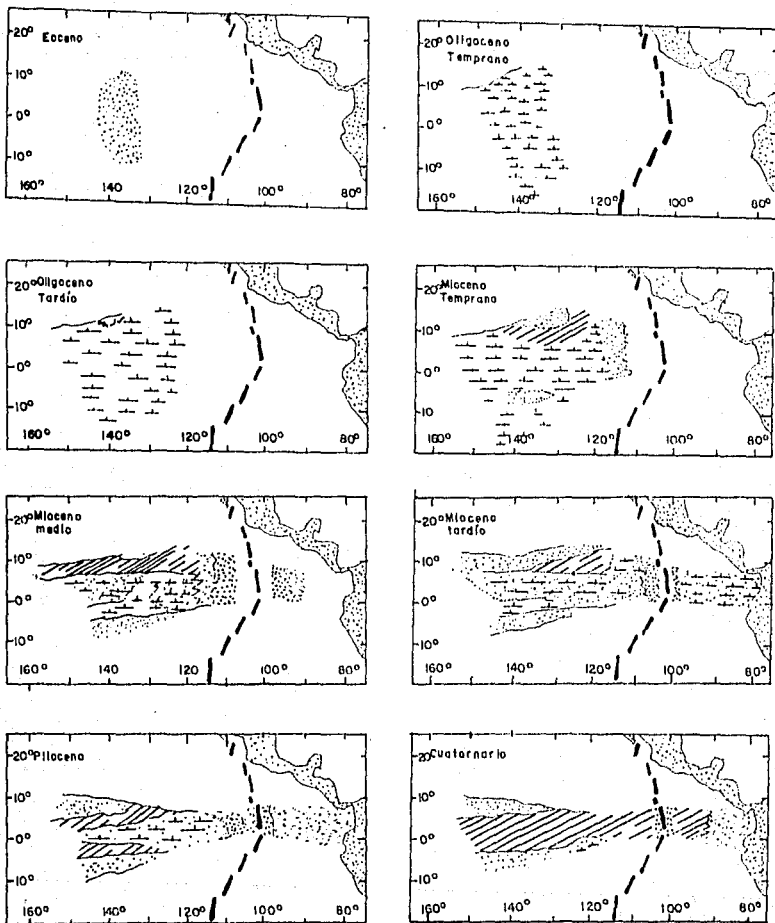


Figura 2.6 Facies paleogeológicas del Pacífico Ecuatorial (Modificado de Cook, 1975).
Ver figura 2.5 para simbología y características.

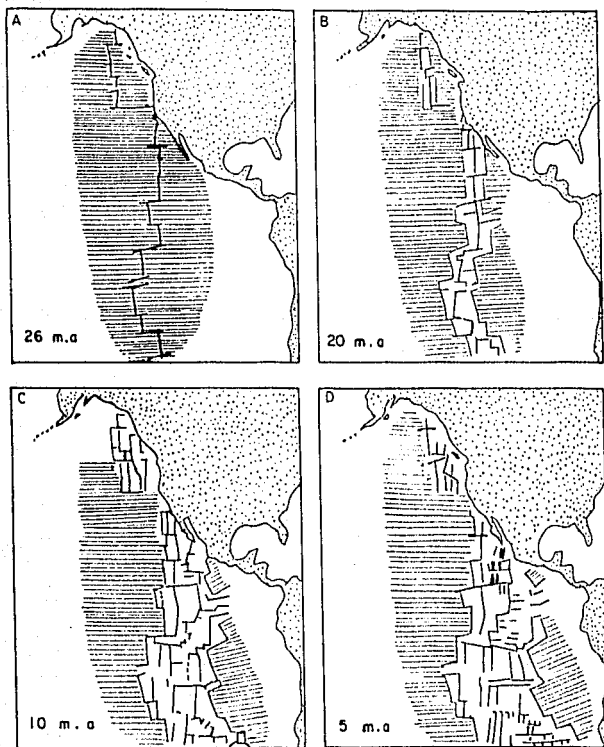


FIGURA 2.7 - RECONSTRUCCION DE LOS PATRONES DE ABERTURA OCEANANICA DURANTE EL MIOCENO. (TOMADO DE HANDSCHUMATER, 1976)

colisión con la Placa Americana (Sistemas de trincheras Farallón-América)(figura 2.7 a),

b) Hace ~ 20 m.a., una rotación en el sentido de las manecillas del reloj, ocurrida en la porción sur de la cordillera Farallón-Pacífico desarrolló la cordillera Galápagos (figura 2.7 b).

c) Hace ~ 10 m.a., se rompe la parte continental, al sur de lo que es Baja California actualmente (figura 2.7 c).

d) Hace ~ 5 m.a., se desarrolla el sistema de abertura Golfo de California-San Andrés-Juan de Fuca; se presenta un salto hacia el este de la Dorsal del Pacífico Oriental de su posición original en la cordillera de los Montes Matemáticos (figura 2.7 d).

Particularmente en el área de estudio, la Dorsal del Pacífico Oriental tiene una tasa de abertura entre 6 y 18 cm por año (CYAMEX, 1980), alrededor de los 21° N está situado el último sector bien definido de la Dorsal, antes de que se interne en el Golfo de California; entre las zonas de fractura Rivera y Tamayo (figura 2.3).

La cresta de la Dorsal está caracterizada en 21° N, por presentar una convexidad de 5 km de ancho, cortada por un valle axial poco profundo con presencia de chimeneas hidrotermales. La cresta está formada por lavas de menos de 100,000 años de edad y está situada a 2600 m de profundidad. La corteza más joven ocupa una banda estrecha hacia el centro del valle (Grupo Cyamex, 1980).

Ramírez (1987) menciona que las zonas de fractura Rivera y Clarión, la Isla Clarión y el Archipiélago Revillagigedo trazan un alineamiento bastante continuo de dirección este-oeste, la misma dirección que tiene el sistema de fallas transformantes a lo largo de la Dorsal del Pacífico Oriental.

Rosales-Hoz (1989) caracteriza dentro del Área de Estudio, a la región de la dorsal principalmente por presentar mayores concentraciones de materia orgánica así como de Fe y Zn, y ausencia o valores bajos en la concentración de Al, Co y Mn en los sedimentos. En la Región C se encontró los valores más altos de Fe, Cu, Ni, Ti y Mn en los sedimentos superficiales.

Lozano-Santa Cruz, et al.(1989), establecen a través de la distribución de arcillas, el dominio de la montmorillonita de influencia volcánica (Dorsal del Pacifico Oriental e Islas Revillagigedo) y el dominio de las illitas asociadas a zonas de menor influencia volcánica.

Oceanográficamente, las corrientes de fondo que se presentan en el área de estudio de acuerdo a estudios geostroficós, de temperatura y densidad de las masas de agua (Gurikova, 1986), e indirectamente por la distribución de elementos como Fe y Zn, orientada hacia el oeste de la fuente de origen (Dorsal del Pacifico Oriental), haciendo suponer que la circulación de corrientes de fondo presentan una dirección de este a oeste para esta región (Ramírez, 1987; Rodríguez, 1989).

CAPITULO 3. -METODOLOGIA

Este trabajo se efectuó a partir de muestras de nódulos y sedimentos colectados durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, del 26 de enero al 10 de febrero de 1986, con una red de 45 estaciones (figura 2.1), establecida de acuerdo a los antecedentes bibliográficos del área (Carranza, 1986)

En la obtención de muestras se utilizó un Nucleador de Caja (tipo Reineck), construido en el Centro de Instrumentos de la UNAM, con el fin de obtener una mayor área y volumen de sedimentos y nódulos sin alterar, además de un Nucleador de Gravedad de tubo PVC de 3 m de longitud y 4" de diámetro, conocido como Tepule.

Se obtuvieron 5 muestras de sedimentos con nucleador de caja y 37 con Tepule (Carranza-Edwards, 1986), 16 de las cuales presentaron nódulos, con una recuperación de 78 nódulos en total.

En el nucleador de caja las submuestras de sedimentos se tomaron a cada 10 cm en sentido vertical y en el Tepule los intervalos muestreados eran de 20 cm. En ambos casos se tomaban también muestras si se observaban diferencias en el tipo de sedimento.

En cuanto a los nódulos recolectados se procedió a describirlos, medirlos, pesarlos y preservarlos para su posterior análisis químico y mineralógico de acuerdo a la clasificación morfológica de nódulos polimetálicos utilizada por la Asociación Francesa para el Estudio y Búsqueda de Nódulos (AFERNOD), conocida como Método AFERNOD, descrita por Pautot y Hoffert (1984) y Saguez (1986).

A bordo se describieron los núcleos de sedimento tomando en consideración su color comparándolos con las tablas de color Munsell y mediante "frotis" en láminas delgadas se describió su textura y mineralogía (Carranza, 1986).

Finalmente los nódulos y sedimentos fueron refrigerados a 6 °C, para su posterior análisis en el laboratorio.

Análisis de Nódulos Polimetálicos.

El estudio sistemático de los nódulos comprendió la morfología, macroestructuras, microestructuras y mineralogía.

La morfología de los nódulos se determinó a partir de los parámetros físicos externos, los cuales son: 1) Textura superficial, 2) Tamaño y 3) Forma basándose en el método AFERNOD (figura 3.1; tabla 3.1, 3.2 y 3.3), que ha sido utilizado en la descripción morfológica de los nódulos polimetálicos del Pacífico y del Océano Índico.

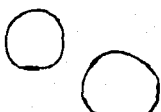








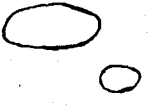
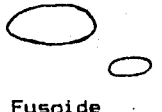

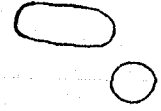
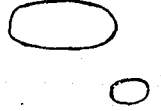
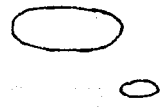

El tamaño de los nódulos se determinó con la utilización de un vernier y de un tamiz de acrílico con aberturas desde -7.0 (128mm) a -2.0 (4mm).

Además a los nódulos se les determinó la densidad ($d = \text{masa} / \text{volumen}$), calculando el volumen del nódulo a partir del volumen desplazado de agua, y la masa del nódulo (peso en seco).

Las macroestructuras de los nódulos se analizaron a partir de secciones transversales de estos, utilizando microscopio binocular estereoscópico de 20 aumentos, observándose:

- 1.- La relación entre el tamaño del nódulo y el tamaño del núcleo (largo, ancho y espesor).
- 2.- La disposición y el espesor de las capas concéntricas de los diferentes óxidos.
- 3.- La forma y el tipo de núcleos.
- 4.- El grado de alteración o reemplazamiento del núcleo.
- 5.- Descripción de fracturas.

Las microestructuras de los nódulos se estudiaron mediante la realización de superficies pulidas de una sección transversal, utilizando un microscopio petrográfico y metalográfico (luz inducida y reflejada), así como un microscopio estereoscópico binocular, tratando de describir las relaciones volumétricas y geométricas de las diferentes sustancias mineralógicas que componen a los nódulos, utilizando los términos descritos por Sorell y Foster (1972) (tabla 3.4).

	 Esferoidal	 Geoidal	 Lenticular	 Discoidal
R	 Ovoide	 Ovaloide	 Ovaloide Aplanada	 Ovaloide Plano
E	 Fusiforme	 Fusoide	 Fusoide Aplanado	 Fusoide Plano
D	 Cilindrico	 Cilindroide	 Bagueta	 Laminar
O				
N				
D				
E				
Z				

APLANAMIENTO

Fig. 3.1 MORFOLOGIA DE LOS NODULOS REGULARES EN FUNCION DE SU REDONDEZ Y APLANAMIENTO DENTRO DE UN PLANO PERPENDICULAR, (PAUTOT Y HOFFERT, 1984).

**TABLA 3.1 DIVISION DE NODULOS SEGUN SU MORFOLOGIA
(MODIFICADO DEL METODO AFERNOD
EN PAUTOT Y HOFFERT, 1984)**

- NODULOS SIMPLES.
- NODULOS FORMADOS POR UNION:
 - NODULOS UNIDOS.
 - NODULOS COALESCENTES (INTERPENETRADOS).
- RESTOS PROVENIENTES DE UNA FRAGMENTACION SOBRE EL FONDO
(RESTOS ANTIGUOS) O DE UNA FRAGMENTACION DURANTE EL
MUESTREO (RESTOS RECIENTES).
- COSTRAS O INCRUSTACIONES DE ASPECTO ESCORIACEO.

**TABLA 3.2 ASPECTO SUPERFICIAL DE LOS NODULOS
(PAUTOT Y HOFFERT, 1984)**

- | | |
|-----------|-------------------------------------|
| -LISA | GRANOS MENORES DE 1 MM DE DIAMETRO. |
| -GRANULAR | GRANOS ENTRE 1 Y 5 MM DE DIAMETRO. |
| -MAMILAR | GRANOS MAYORES DE 5 MM DE DIAMETRO. |

**TABLA 3.3 DESCRIPCION MORFOLOGICA DE LOS MODULOS
MODIFICADO DE (PAVOT-HOFFER, 1984)**

MODULOS REGULARES	Mono-nodulos de forma simple y simetrica.
MODULOS UNIDOS	Mono-nodulos de forma regular unidos puntualmente.
COALESCENTES	Estado de crecimiento mas avanzado al de nodulos unidos, existiendo una interpenetracion de dos o mas nodulos de forma regular.
MODULOS IRREGULARES	Formas irregulares que pueden presentar un borde ecuatorial.
MODULOS EN PLACAS	Nodulos donde el aplanamiento es mas importante que la redondez.
RESTOS ANTIGUOS	Nodulos fracturados in situ pero que han sido recubiertos por el fenomeno de incrustamiento.
ESTERILES	Fragmento de roca, pomez, placas de sedimentos endurecidos, restos organicos, etc.

TABLA 3.4 Propiedades ópticas de los principales minerales de nódulos en secciones pulidas (modificado de Sorem y Fewkes, 1977)

mineral	color	propiedades
<p>Todorokita (Mn,Ca)- (Mn₃ O₇ 2H₂O)</p> <p>Birnesita (Na,Ca)- Mn₇ O₁₄ 2 H₂O)</p> <p>(la Todorokita no puede ser distinguida de la birnesita con el microscopio metalográfico)</p>	De blanco a gris	<p>Raramente orientado, con intercrecimientos, apariencia fibrosa en algunas partes. Anisotrópico, colores gris azulosos a negro azulado. Dureza Talmage B.</p>
Material amorfo opaco (hidróxidos impuros de Mn y Fe)	Blanco a gris	<p>Masivo, grano fino, amorfo. Color y reflectividad varia con la composición, senciblemente isotrópico. Blanco con un buen pulimiento. Dureza Talmage B+</p>

La mineralogía de los nódulos se basó principalmente en microscopio petrográfico y metalográfico, con apoyo de microscopio electrónico de barrido y el analizador de Rayos X (Kevex,7000) además de apoyo con difracción de rayos X . Identificándose además algunas características de reemplazamiento y alteración de óxidos.

Análisis de Sedimentos.

El estudio de los sedimentos fue realizado a partir del análisis "frotis" en láminas delgadas de las 35 estaciones muestradas en las tres regiones del área de estudio, casi en su totalidad núcleos de 3m de longitud , utilizando el microscopio petrográfico y se hicieron estimaciones visuales semicuantitativas del por ciento de los lodos (limos y arcilla), así como de los principales constituyentes mineralógicos de los sedimentos, lo que permite establecer la Facies sedimentaria, de acuerdo a la tabla utilizada por el Proyecto de perforación del mar profundo (D.S.D.P)(tabla 3.5) de los sedimentos muestreados en el area de estudio.

**Tabla 3.5 FACIES SEDIMENTARIAS DE LOS AMBIENTES MARINOS
ASOCIADAS A LOS MODULOS DE ACUEDO AL PROYECTO
DE PERFORACION DEL MAR PROFUNDO (D.S.D.F.)
(EN PRUOT Y NOFFERT, 1984)**

X H.F.C.	H.F.S.	FACIES SEDIMENTARIAS
< 10	< 10	Lodo
< 10	10-30	Lodo silíceos
< 10	30-60	Oozes silíceos lodosos
< 10	> 60	Oozes silíceos
10-30	< 10	Lodo calcareo con microfósiles silíceos
10-30	10-30	Lodo silíceo calcareo
30-60	< 10	Marga con microfósiles silíceos
30-60	10-30	Marga rica en microfósiles silíceos
30-60	30-60	Oozes silíceos margosos
> 60	> 50% N	Oozes calcareos con dominancia de nano-- placton
> 60	N=F	Oozes calcareos de foraminíferos y nano-- placton

CAPITULO 4. -CARACTERISTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE LOS NODULOS POLIMETALICOS.

Durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II, se recolectaron nódulos polimetálicos en las regiones B y C del área de estudio. Estas regiones comprenden las siguientes morfoestructuras descritas por Lugo Hubp (1985):1) laderas y superficies de mesetas, 2) planicies abisales onduladas y con lomerios y 3) planicies abisales con lomerios y montañas.

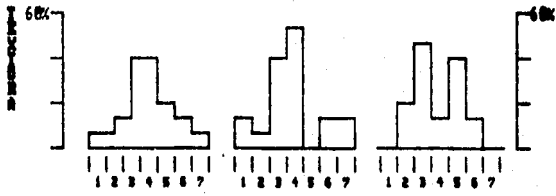
Los nódulos fueron colectados utilizando un nucleador de caja y principalmente un nucleador de gravedad de gran diametro (4"), en un intervalo de 2700 a 4000 m; obteniéndose nódulos en la zona de interfase agua-sedimento y sepultados en los sedimentos, a diferentes intervalos, siempre menores de 3 m (longitud máxima del nucleador).

En la tabla 4.1 y lámina 4.1 se muestran las características físicas externas, y de recolección de los 78 nódulos polimetálicos encontrados durante la Campaña, 56 de estos se encontraban en la superficie del fondo oceánico, y 22 sepultados.

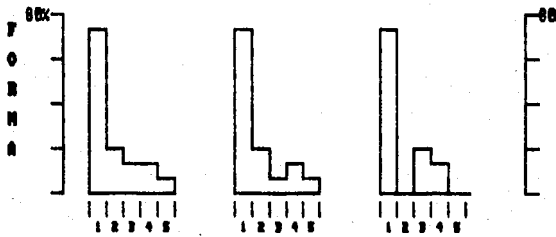
La textura superficial, forma, densidad y tamaño de los nódulos se encuentran representados en forma de histogramas en la fig.4.1 (Carranza et al., 1987), tanto del total, como de los nódulos superficiales y sepultados por separado, obteniéndose la siguiente información:

El tamaño de los nodulos varia desde -7.0ϕ (128mm) hasta -2.75ϕ (6.7mm); el tamaño promedio de los nódulos sepultados es de -5ϕ (32 mm) a -5.5ϕ (45mm) y en los nodulos superficiales es de -4.5ϕ (22mm) a -4ϕ (16mm), aunque se tiene una diversidad de tamaños tanto en los superficiales como en los sepultados.

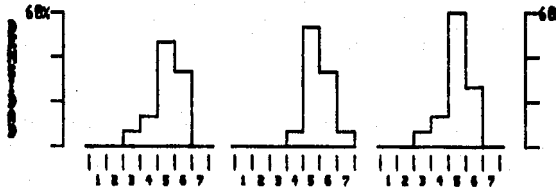
La forma predominante de los nódulos superficiales y sepultados es la regular, pero existe una mayor cantidad de formas irregulares en los superficiales, mientras que en los sepultados abundan los fragmentos de nódulos tanto irregulares como regulares además de los nódulos interpenetrados. Las formas regulares más comunes son: los ovoides, elipsoides, lenticulares y geoides



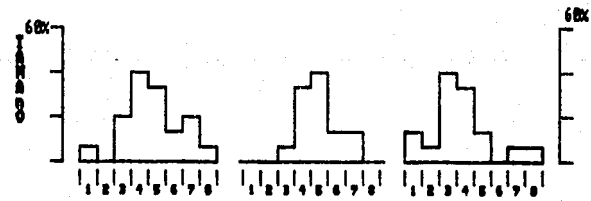
- 1) BOTRIODAL 2) RUGOSA 3) GRANULAR 4) LISA
 5) LISA-RUGOSA 6) LISA-GRANULAR 7) RUGOSA-GRANULAR



- 1) REGULAR 2) IRREGULAR 3) INTERPENETRADOS 4) UNIDOS



- 1) 0.75 A 1.00 2) 1.00 A 1.25 3) 1.25 A 1.50 4) 1.50 A 1.75
 5) 1.75 A 2.00 6) 2.00 A 2.25 7) 2.25 A 2.50



- 1) 30.0 A 34.0 2) 34.0 A 38.0 3) 38.0 A 42.0 4) 42.0 A 46.0
 5) 46.0 A 50.0 6) 50.0 A 54.0 7) 54.0 A 58.0 8) 58.0 A 62.0 CM MM

TOTAL DE NODULOS 78 NODULOS SUPERFICIALES 56 NODULOS SEPULTADOS 22

FIGURA 4.1 CARACTERISTICAS FISICAS EXTERNAS DE LOS NODULOS

(Tomado de Carrenza et. al , 1987)

TABLA 4.1 CARACTERISTICAS GENERALES
DE LOS MODULOS

NUMERO DE MODULO	ESTACION	NUCLEADOR	NIVEL cm	TAMANO phi	PESO gr	DENSIDAD g/cm ³	TEXTURA	FORMA	OBSERVACIONES
1	19	CAJA	0	-7.00	1705.00	1.79	BOTROIDAL	REGULAR	ESFEROIDE
2	19	CAJA	0	-6.50	878.6	1.69	BOTROIDAL	REGULAR	ESFEROIDE
3	20	GRAVEDAD	190	-5.75	156.10	1.95	RUGOSA	REGULAR	GEODE CON PROTUBERANCIA BASAL
4	21	GRAVEDAD	140	-5.50	121.00	2.01	RUGOSA	REGULAR	OVIDE TRUNCADO
5	21	GRAVEDAD	0	-4.50	8.30	1.18	RUGOSA	INTERPENETRADO	COMPUESTA DE DOS MODULOS
6	22	CAJA	0	-4.75	27.20	1.94	GRANULAR	REGULAR	GEODE APLANADO CON MARCAS DE ORGANISMOS
7	22	CAJA	0	-4.75	22.30	1.90	GRANULAR	REGULAR	GEODE APLANADO
8	22	CAJA	0	-4.25	12.10	1.81	GRANULAR	REGULAR	REGULAR
9	22	GRAVEDAD	70	-6.00	214.30	1.86	LISA/RUGOSA	FRACTURADO	ASPECTO MAMILAR EN LA PARTE SUPERIOR
10	22	GRAVEDAD	70	-5.00	68.20	2.13	LISA/RUGOSA	REGULAR	FORMA OVIDE, FRACTURADO
11	22	GRAVEDAD	70	ROTO	133.10	1.90	LISA/RUGOSA	SIN FORMA	TOTALMENTE FRACTURADO
12	27	GRAVEDAD	0	-3.50	2.80	2.33	LISA	INTERPENETRADO	OVALOIDE PLANA, ESTRUCTURA SEPTARIA
13	27	GRAVEDAD	0	-3.00	1.30	2.0	LISA	REGULAR	BAGUETA, ESTRUCTURA SEPTARIA
14	27	GRAVEDAD	0	-3.50	2.00	2.00	LISA	REGULAR	OVALOIDE APLANADO, ESTRUCTURA SEPTARIA
15	27	GRAVEDAD	0	-3.00	0.60	2.22	LISA	REGULAR	OVIDE, ESTRUCTURA SEPTARIA
16	27	GRAVEDAD	0	-4.00	3.40	2.06	LISA	REGULAR	OVIDE UNIDO, ROTO
17	27	GRAVEDAD	0	-3.00	1.60	2.28	LISA	INTERPENETRADO	COMPUESTO DE TRES MODULOS
18	27	GRAVEDAD	0	-3.00	1.50	2.14	LISA	INTERPENETRADO	DOS MODULOS OVIDES, ESTRUCTURA SEPTARIA
19	27	GRAVEDAD	0	-3.00	1.60	2.00	LISA	IRREGULAR	FRAGMENTO ANGULOSO
20	27	GRAVEDAD	78	-3.00	0.95	1.90	LISA	REGULAR	OVALOIDE APLANADA
21	27	GRAVEDAD	110	-3.00	0.85	1.70	LISA	REGULAR	UNIDO
22	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	8.45	2.11	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
23	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	7.40	1.94	LISA	REGULAR	OVALOIDE
24	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	4.95	1.85	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
25	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	6.20	1.17	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
26	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	4.30	2.15	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
27	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	4.40	2.00	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
28	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	7.40	2.11	LISA	REGULAR	OVALOIDE (ROTO)
29	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	7.20	1.46	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
30	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	7.00	2.00	LISA	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
31	28	GRAVEDAD	10-45	-5.00	12.80	1.96	LISA	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
32	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	11.70	1.95	LISA	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
33	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	11.80	1.96	LISA	REGULAR	OVIDE (FRAGMENTO)
34	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	4.90	1.96	LISA	REGULAR	FUSOIDE PLANA
35	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	3.60	1.80	LISA	REGULAR	FUSOIDE
36	28	GRAVEDAD	10-45	-4.00	3.40	1.88	LISA	REGULAR	LENTICULAR
37	31	GRAVEDAD	0	-3.00	0.89	0.88	RUGOSA	IRREGULAR	FRAGMENTO ANTIGUO, CON LODO CONSOLIDADO
38	32	GRAVEDAD	0	-5.00	19.10	1.91	RUGOSA/GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
39	32	GRAVEDAD	30	-5.00	19.90	1.99	GRANULAR	INTERPENETRADO	SE APRECIA EN DOS MODULOS OVIDES

TABLA 4.1 CARACTERISTICAS GENERALES
DE LOS MODULOS

NUMERO DE MODULO	ESTA CION	NUCLEADOR	NIVEL m	TAMANO phi	PESO gr	DENSIDAD g/cm ³	TEXTURA	FORHA	OBSERVACIONES
40	33	GRAVEDAD	100	-5.00	75.35	1.88	LISA/RUGOSA	REGULAR	OVALOIDE
41	33	GRAVEDAD	100	-5.00	59.50	1.98	LISA/RUGOSA	REGULAR	FRAGMENTO LENTICULAR ANTIGUO
42	33	GRAVEDAD	100	-5.00	57.10	1.90	LISA/RUGOSA	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
43	33	GRAVEDAD	100	-5.00	48.80	1.95	LISA/RUGOSA	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
44	33	GRAVEDAD	100	-5.00	30.30	2.02	LISA/RUGOSA	REGULAR	GEOIDAL (FRAGMENTO)
45	33	GRAVEDAD	150	-5.00	23.60	2.14	LISA/GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR
46	33	GRAVEDAD	150	-5.00	22.90	1.92	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
47	33	GRAVEDAD	150	-5.00	17.30	1.92	GRANULAR	REGULAR	OVOIDE (FRAGMENTO)
48	33	GRAVEDAD	175	-5.00	65.90	1.88	LISA/GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR
49	36	GRAVEDAD	0	-5.00	18.70	1.87	GRANULAR	REGULAR	OVOIDE
50	36	GRAVEDAD	0	-5.00	20.40	2.04	GRANULAR	REGULAR	OVOIDE (FRAGMENTO MUY DELEZNABLE)
51	36	GRAVEDAD	0	-4.00	12.50	2.08	GRANULAR	REGULAR	OVOIDE (FRAGMENTO MUY DELEZNABLE)
52	36	GRAVEDAD	103		17.90	1.49	GRANULAR	IRREGULAR	MUY FRAGMENTADO
53	37	GRAVEDAD	90	-6.00	331.30	2.07	RUGOSA	REGULAR	GEOIDE
54	38	GRAVEDAD	0	-5.00	47.50	1.90	GRANULAR/RUGOSA	REGULAR	GEOIDE (FRAGMENTO DELEZNABLE), HUELLAS DE ORGANISMOS
55	38	GRAVEDAD	0	-4.75	26.50	2.03	GRANULAR	IRREGULAR	DELEZNABLE CON HUELLAS DE ORGANISMOS
56	38	GRAVEDAD	0	-4.75	20.80	2.08	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
57	38	GRAVEDAD	0	-4.25	9.40	1.88	GRANULAR	IRREGULAR	FRAGMENTO
58	38	GRAVEDAD	0	-4.25	7.80	1.95	GRANULAR	IRREGULAR	FRAGMENTO
59	38	GRAVEDAD	0	-3.75	3.20	1.77	GRANULAR	REGULAR	OVALOIDE APLANADO
60	39	GRAVEDAD	0	-5.00	65.00	1.85	LISA/GRANULAR	IRREGULAR	HUELLAS DE ORGANISMOS
61	39	GRAVEDAD	0	-4.75	23.77	1.97	LISA/GRANULAR	IRREGULAR	FRAGMENTO
62	39	GRAVEDAD	0	-4.50	17.70	2.08	LISA/GRANULAR	REGULAR	OVALOIDE
63	39	GRAVEDAD	0	-4.50	12.10	1.86	GRANULAR	IRREGULAR	HUELLAS DE ORGANISMOS
64	39	GRAVEDAD	0	-4.25	15.00	1.87	LISA	REGULAR	OVALOIDE
65	39	GRAVEDAD	0	-3.00	0.80	1.60	LISA	IRREGULAR	FRAGMENTO
66	39	GRAVEDAD	0	-4.25	7.20	1.80	GRANULAR	REGULAR	OVALOIDE (FRAGMENTO)
67	39	GRAVEDAD	20	-4.75	20.20	2.02	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
68	39	GRAVEDAD	20	-4.50	16.90	1.87	GRANULAR	IRREGULAR	FRAGMENTO
69	39	GRAVEDAD	20	-4.50	12.40	1.55	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
70	39	GRAVEDAD	20	-4.25	12.30	1.89	GRANULAR	IRREGULAR	FRAGMENTO
71	39	GRAVEDAD	20	-4.00	6.20	1.77	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR
72	39	GRAVEDAD	20	-4.00	5.70	1.90	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR (FRAGMENTO)
73	40	GRAVEDAD	0	-6.00	365	1.88	ROTODIAL	REGULAR	ESFEROIDE
74	45	GRAVEDAD	0	-5.50	129.10	1.81	GRANULAR/RUGOSA	REGULAR	OVALOIDE, DELEZNABLE, HUELLAS DE ORGANISMOS
75	45	GRAVEDAD	0	-4.75	33.60	1.86	GRANULAR	INTERPENETRADO	ESFEROIDE Y FUSOIDE UNIDOS
76	45	GRAVEDAD	0	-4.75	21.20	1.92	GRANULAR	REGULAR	LENTICULAR, HUELLAS DE ORGANISMOS BIEN CONSERVADOS
77	45	GRAVEDAD	0	-4.75	20.30	1.93	GRANULAR	INTERPENETRADO	TRES MODULOS UNIDOS (ESFEROIDE-OVALOIDE)
78	45	GRAVEDAD	0	-4.50	21.40	1.94	GRANULAR	IRREGULAR	DELEZNABLE CON HUELLAS DE ORGANISMOS

(figura 3.1), las formas irregulares son principalmente fragmentos de nódulos. Las formas esféricas son escasas y corresponden a los nódulos de mayor tamaño (nódulos Nos.1 y 2, ver tabla 4.1). Por otro lado, los nódulos no. 11 (est.22) y 52 (est.36), debido a que están totalmente fragmentados y sin apariencia nodular, pueden tratarse de aglutinaciones o costras de óxido de manganeso (Raab y Meylan, 1977).

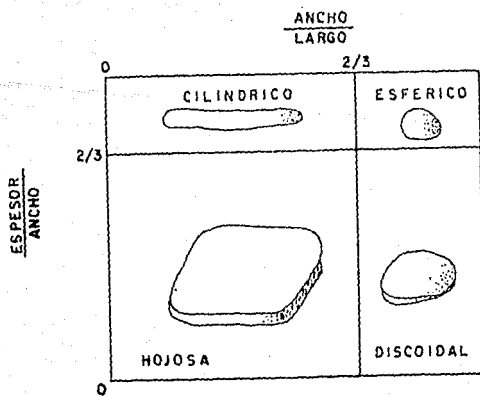
La Densidad varía entre 1.75 y 2.25 gr/cm³ en más del 85% del total de los nódulos, siendo mayor la densidad en los nódulos superficiales que en los sepultados, posiblemente se deba a alteraciones mineralógicas del núcleo de los nódulos sepultados que en ocasiones llega a desaparecer dejando un hueco lo que provoca la disminución en la densidad.

-Las texturas superficiales predominantes de los nódulos analizados son: granular y lisa, tanto en los nódulos superficiales como en los sepultados. Se distinguieron 4 tipos de textura superficial: 1) botroidal o mamilar (granos mayores a 5mm), 2) rugosa (granos de 2 a 5 mm), 3) granular (granos entre 1 y 2 mm) y lisa (menores de 1mm). (Modificado de Pautot et Hoffert, 1984). En ocasiones los nódulos presentan más de una clase de textura.

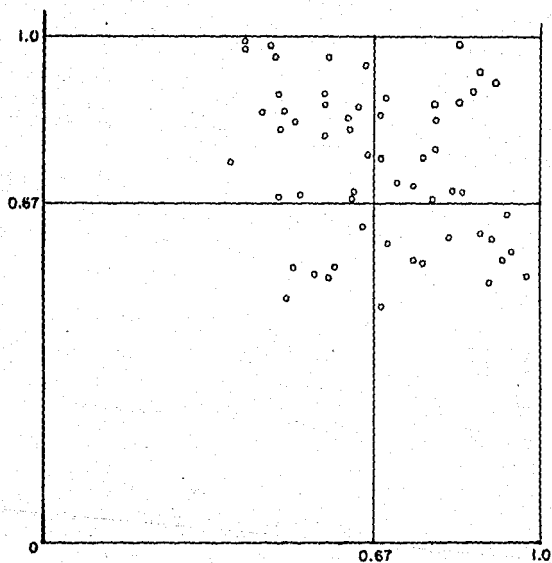
Los nódulos sepultados presentan texturas granular y lisa/granular principalmente, mientras que en los nódulos superficiales predominan las texturas lisa y granular.

La forma de los nódulos también se analizó de acuerdo al esquema de Zingg (1935), utilizado principalmente para guijarros, el cual se basa en la relación de los ejes principales largo, ancho y espesor, en este caso de los nódulos (fig 4.2) El análisis de este esquema muestra una tendencia de los nódulos hacia las formas esféricas, aunque el 38% se encuentra en el rango de los nódulos discoidales, el 31% en esféricos, el 21% son cilíndricos y en un 10% presentan formas hojosas.

Para efectuar un análisis más particular de los nódulos se seleccionaron algunos representativos de casi todas las estaciones que los presentaron. La tabla 4.2 presenta las características físicas externas de los nódulos superficiales y sepultados, mostrando una diversidad en tamaños, formas y texturas de estos



a)



b)

Figura 4.2

a) Clasificación de formas de guijarros (Zingg, 1935).

b) Ubicación de las formas de 58 nódulos superficiales y sepultados con una tendencia hacia las formas esféricas.

TABLA 4.2.- CARACTERISTICAS FISICAS EXTERNAS DE NODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo Número	Est. cm	Int. cm	Tamaño phi mm	Densidad gr/Cms	Morfología	Textura sup.
02	19	sup.	-7.0 128	1.6	esferoide	butroidal
06	22	sup.	-4.75 26	1.9	geoide apl.	granular
08	22	sup.	-4.25 19	1.8	ovoide	granular
13	27	sup.	-3.00 80	2.0	bagueta	lisa
28	28	sup.	-4.00 18	2.1	ovaloide	lisa
30	28	sup.	-4.00 18	2.0	frag.ovoide	lisa
51	36	sup.	-4.25 19	2.0	frag.ovoide	granular
60	39	sup.	-5.00 32	1.8	irregular	lisa/gran.
73	40	sup.	-6.00 64	1.8	esferoide	butroidal
74	45	sup.	-5.50 45	1.8	ovaloide	gran/rug.
78	45	sup.	-4.5 22	1.9	irregular	granular
03	20	190	-5.75 83	1.9	geoide	rugosa
04	21	140	-5.5 45	2.0	ovoide	rugosa
10	22	78	-5.0 32	2.1	frag.oval	lisa/rug.
39	32	30	-4.5 22	1.9	interpen.	granular
40	33	100	-5.0 32	1.8	ovaloide	li/gran/r
41	33	100	-5.25 38	1.9	lenticular	gran/rug
47	33	150	-4.5 22	1.9	frag.ovoide	granular
53	37	90	-6.0 64	2.0	geoide	rugosa
70	39	20	-4.25 19	1.8	irregular	granular

entre las estaciones muestreadas. Se puede apreciar que a partir de un metro de profundidad, dentro de la columna de sedimento, los nódulos sepultados presentan una textura rugosa dominante, lo que puede indicar la existencia de disolución de los nódulos bajo condiciones físico-químicas homogéneas del sedimento, en comparación con las superficiales, las cuales presentan condiciones particulares para cada estación.

Características físicas internas y composicionales de los nódulos polimetálicos.

Macroestructuras.

Son estructuras mayores que forman los óxidos y que se describen en cortes de los nódulos y son observadas utilizando microscopios estereoscópicos. Las macroestructuras se diferencian geométricamente por una simetría radial (dendrítica) ó estratificada (laminar).

Para describir estas macroestructuras (Martín-Barajas, 1988) se toman en consideración:

- 1) La porosidad o compacidad de las capas concéntricas de los óxidos.
- 2) La disposición y la importancia volumétrica de las diferentes capas de óxidos.
- 3) La forma y el tipo de núcleo.
- 4) El grado de reemplazamiento o alteración del núcleo.
- 5) La presencia de fracturas.

Para la descripción de estas capas se considera lo que es una zona, definida por Sorem y Foster (1972), como: La capa o grupo de capas con características distintivas a otras principalmente por sus microestructuras (analizadas más adelante) que presentan texturas masivas, compactas, columnares, moteadas o laminares

En la tabla 4.3 se presentan las macroestructuras de los nódulos representativos de cada estación, considerando:

- Las zonas presentes.
- La porosidad o compacidad.
- Disposición y espesor de las capas.
- Fracturas.

El análisis de esta tabla 4.3 muestra que los nódulos de una sola capa o zona son dominantes independientemente de su distribución geográfica o si son nódulos superficiales o sepultados, o de su tamaño, aunque algunos nódulos grandes presenten dos o tres zonas o capas (Nódulos No.2,3, 6, 40, 73, 74,), los cuales también parecen ser independientes de su ubicación geográfica, si son superficiales y sepultados e inclusive en una misma estación y en el mismo intervalo de sedimento pueden coexistir nódulos de una sola capa con uno de tres capas (Nódulos 40 y 41, estación 33, intervalo 100 cm).

La porosidad de las capas de los nódulos analizados es variable en un rango estimativo visual de poco poroso (menos del 10 % de huecos) a poroso (más del 10 %), existiendo capas compactas intercaladas con las dendríticas como producto de fenómenos diagenéticos de reemplazamiento o de enriquecimiento de óxidos de manganeso sin arcilla.

La disposición de las capas concéntricas y su espesor, es decir su geometría, en los nódulos se puede describir de la siguiente manera:

1) Los nódulos de una sola capa, (lámina 4,2 a) su corteza externa está formada por una capa dendrítica que en ocasiones presenta intercalaciones de óxidos en forma laminar, principalmente en la base de las dendritas. En los nódulos sepultados de una sola capa es también frecuente encontrar óxidos de manganeso en forma masiva (Ej. No. 39 y 41 de las estaciones 32 y 33 respectivamente). Una excepción de lo antes mencionado es el nódulo No. 13 de la est. 27 cuya capa es del tipo laminar.

TABLA 4.3 MACROESTRUCTURAS DE LOS NODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo	Capas o zonas	Porosidad o compacidad	Disposición espesor mm	Fracturas	Observaciones
No. 2 Est. 19 Sup.	1 2 3	porosa compacta porosa	dendrítica 10 dendrítica a laminar 10 dendrítica a butroidal 10	rellenas arcilla escasas sin fractura	las fracturas son indepen- dientes en- tre las ca- pas presen- cia de pala- gonita.
No. 6 Est. 22 Sup.	1 2	compacta con sup. porosa. poco porosa	dendrítica 05 dendrítica 08	sin fractura sin fractura	presenta in- terrupción brusca al inicio de la otra capa. son microden- dritas con aporte de arcillas alto al ini- ciar la capa
No. 8 Est. 22 Sup.	1	compacta y porosa en el exterior	laminar 04 dendrítica 06	sin fractura	parches den- driticos jun- to al núcleo
No. 13 Est. 27. Sup.	1	compacta	laminar	de enco- - gimien- to, relle- nas de óxidos.	(septaria)
No. 28 Est. 28 Sup.	1	porosa	dendrítica discordan- te. 05	pequeñas	huellas de organismos, cambios dia- genéticos.
No. 30 Est. 28 Sup.	1	porosa	dendrítica 05	radiales rellenas de arcilla.	
No. 51 Est. 36 Sup.	1	compacta	microden- dritica laminar 05		

TABLA 4.3 CONTINUACION

No. 60 Est. 39 Sup.	1	poco porosa	intercala ción de dendritas y laminas 05	rellenas de arcilla.	
No. 73 Est. 40 Sup.	1	porosa	dendrítica 10	radial relleno de arcilla.	2 sistemas de fractura- miento uno hasta la 1er capa y otro atravesando todo el nódulo.
	2	porosa con capas compactas.	dendrítica intercala- ción lami- nar.	radial	
	3	porosa	dendrítica	rellenas de arcilla	
No. 74 Est. 45 Sup.	1	porosa con capas compactas.	intercala- ción de capas dendrítica y laminares 06	una re- llena de arcilla y óxido.	límite entre capas muy arcilloso.
	2	porosa	capas la- minares y dendríticas 10		
No. 78 Est. 45 Sup.	1	porosa con capas compactas	intercala- ción de capas laminares y dendri- ticas. 08	por contrac- ción.	
No. 3 Est. 20 Int. 190	1	poco porosa	laminar con al- gunas capas dendríticas 12	rellenas de óxidos hasta la capa arcillosa.	protuberan- cia basal.
	2	porosa	dendrítica con capas laminares 10		

TABLA 4.3 CONTINUACION

No. 4 Est. 21 Int. 140	1	porosa	dendrítica 05 a 10 en la parte ecuato- rial.	sin fractura	más desarro- llo dendríti- co hacia la parte ecuato- rial.
No. 10 Est. 22 Int. 78	1	porosa con partes compactas.	10 a 20 en la parte ecuatorial de capas laminares con inter- calaciones dendríticas	por con tracción	más ancho hacia la par- te ecuato- rial.
No. 39 Est. 32 Int. 30	1	porosa con al- gunas capas compactas.	dendrítica intercala- da con ca- pas masivas 05	una que atravie- za el núcleo.	evidencia de organismos.
No. 40 Est. 33 Int. 100	1	porosa	dendrítica de 08 a 10 en el ecua- dor.	desde el nú- cleo hasta la par- sup. de esta ca- pa.	fracturas rellenas de arcilla.
	2	compacta y porosa hacia la base	de 03 a 05 en el ecuador masivo y dendrítica hacia la base.	desde el núcleo.	fracturas concordantes y perpendicu- lares.
	3	porosa	dendrítica	desde el núcleo.	2 eventos de fracturas.
No. 41 Est. 33 Int. 100	1	porosa compacta en la base	dendrítica con inter- calación de laminar 03		masas compac- tas penetran de fracturas del núcleo
No. 47 Est. 33 Int. 150	1	porosa	dendrítica con algunas capas masi- vas. 02		capas discor- dantes al nú- cleo.

TABLA 4.3 CONTINUACION

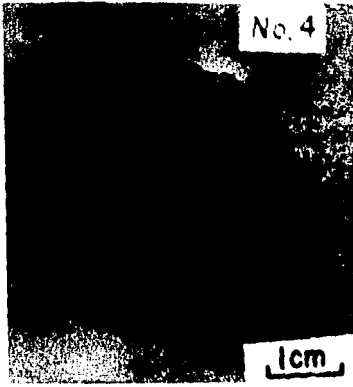
No. 53	1	porosa	dendrítica con capas laminares y amorfas hacia su base. 02 a 09 en el e- cuador.	reemplaza- miento de óxido amorfo en la base.
Est. 37				
Int. 90				
<hr/>				
No. 70	1	porosa	dendrítica con base amorfa y capas la- minares. 02	zonas lamina- res y diagé- nesis en la base de las capas.
Est. 39				
Int. 20				

NOTA: La descripción de las macroestructuras es desde el núcleo hacia la capa superficial.

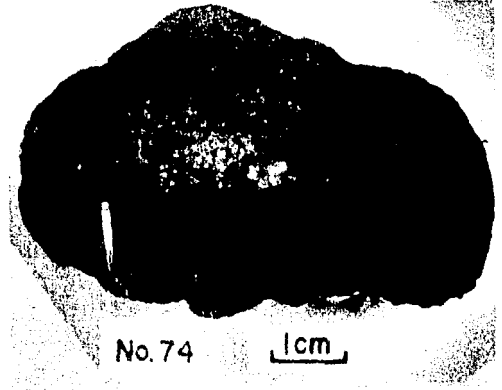
LAMINA 4.2 CARACTERISTICAS DE NODULOS COMPUESTOS DE
DIFERENTES CAPAS O ZONAS DENTRO DE SU CORTEZA

Lámina 4.2 Características de nódulos compuestos de diferentes capas o zonas dentro de su corteza.

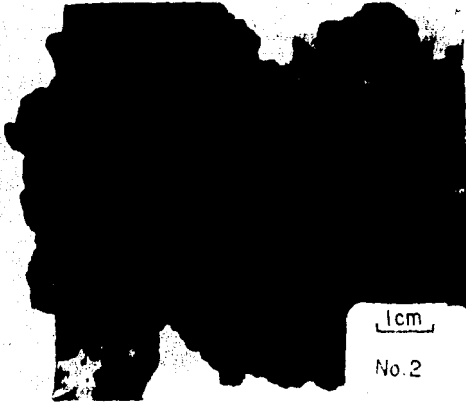
- a) Nódulo con una sola capa de 05 cm de espesor, con núcleo constituido por un fragmento de nódulo, que presenta un núcleo de fragmento de nódulo también (Est. 4, sepultado) .
- b) Nódulo con 2 zonas o etapas de crecimiento de capas dendríticas y laminares intercaladas con abundante arcilla diseminada, núcleo de sedimentos dendríticos. (Est. 45, superficial)
- c) Nódulo con tres zonas o capas muy similares al nódulo. (Est. 19, superficial). d) principalmente en la primera capa que presenta un alto contenido de arcilla, y su capa extrema de textura dendrítica (Est.40, superficial).
- e) Nódulo que presenta 2 capas concéntricas y una tercera capa basal con un ensachamiento de su parte ecuatorial formado principalmente por dendritos y una parte columnar muy arcillosa. (Est. 33, sepultado).



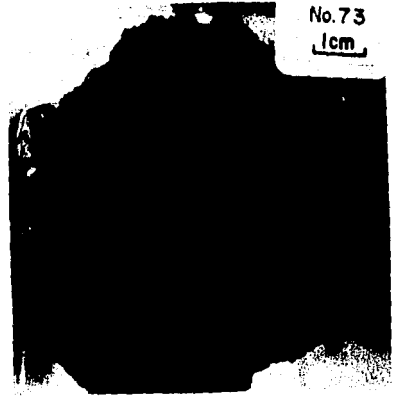
a)



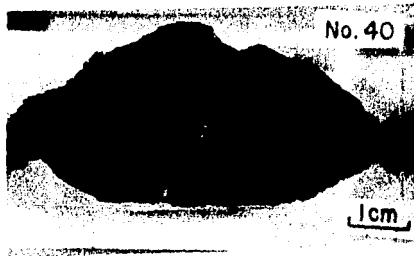
b)



c)



d)



2) Los nódulos de dos capas o zonas presentan principalmente dendritas intercaladas con laminaciones de óxidos en diferentes proporciones (lámina 4.2 b).

3) Los nódulos de tres capas están formados principalmente por dendrita y en ocasiones botroides, aunque presentan laminaciones de óxidos intercalados en las dendritas (lámina 4.2 c,d y e)

El espesor de las capas o zonas es muy variable, siendo las de 5 mm las más comunes, hasta de 2 cm. Por otro lado, se aprecian esporádicamente, algunos acuffamientos o adelgazamientos de las capas, ya que la mayoría de las capas o zonas son relativamente constantes para cada nódulo.

El contenido de arcilla en los nódulos, también es muy variable, existen zonas donde la arcilla se encuentra diseminada relleno los poros en más del 90% de los poros, distinguiendo la primera capa o zona después del núcleo, (Nódulos No. 40, 73, 74) que en ocasiones llega a formar en la cima de esta capa un horizonte arcilloso que sirve de límite con la segunda capa (No. 3, 73). En los nódulos de una sola capa es frecuente encontrar algún horizonte o capa concéntrica completa de arcilla de espesor de 3 mm aproximadamente (No. 6, 8, 30). Además algunos de los nódulos suelen presentar arcilla en la capa externa de tipo dendrítico relleno los huecos entre las dendritas o en las fracturas.

Las variaciones de arcilla probablemente se deban a tres factores, relacionados con el aporte de sedimentos: 1) Precipitación de óxidos con aporte de arcillas de manera simultánea (arcilla diseminada), 2) Interrupción o disminución en la precipitación de óxidos con aporte normal de arcilla (horizontes arcillosos) y 3) aumento del aporte de arcilla durante el crecimiento normal de óxidos (horizontes arcillosos).

Las fracturas que presentan los nódulos prácticamente son de dos tipos: 1) fracturas antiguas que solo se encuentran en el núcleo y en la primera o segunda capa del nódulo (No. 2, 3, 40, 73) y 2) fracturas que atraviesa todo el núcleo hasta las capas más

recientes de óxidos, o solo se encuentran en las capas más recientes (No. 10, 13, 28, 39, 60), existiendo nódulos que presentan los dos tipos de fracturamiento (No. 2, 3, 40,) o también ausencia total de ellas sobre todo en los nódulos pequeños y sepultados. (No. 4, 6, 41, 47, 53, 70.). La mayoría de las fracturas son radiales o concordantes a las capas de óxidos y se encuentran rellenas de arcillas con algo de óxidos en sus paredes. Otros detalles de las macroestructuras son mencionados en la tabla 4.3.

Características físicas y texturales de los núcleos.

El núcleo es una parte esencial en el proceso inicial de formación del nódulo a partir del cual precipitan las capas concéntricas de óxidos (Sorem y Foster, 1972), siendo principalmente de 3 tipos (Martín-Barajas, 1988) (figura 4.3).

- 1). -Núcleos de piedra pomez presentan diferentes estados de alteración y de reemplazamiento por óxidos (observándose óxihidróxidos, cuarzo, caolinita, opacos, esmectita, etc).
- 2). -Núcleos de sedimentos semiconsolidados: son de origen diverso que presentan diferentes estados de reemplazamiento por óxidos, pueden ser de sedimentos vulcanosedimentario (arcilloso, zeolitas, philipsita) arcillas rojas (cuarzo, feldespatos y opacos, etc.)
- 3). -Núcleos de varios tipos particulares son de naturaleza diversa principalmente de fragmentos de nódulos, de basaltos alterados, dientes de peces, etc.

En la tabla 4.4 se presenta la relación entre el diámetro de

PRINCIPALES TIPOS DE NUCLEOS

PIEDRA PONEZ		SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS			CASOS PARTICULARES
ALTERADO	POCO ALTERADO	VOLCANO SEDIMENTARIOS		ARCILLAS ROJAS	
		ARCILLAS	VIDRIO ZEOLITIZADO + PHILLIPSITA		
ESMECITA TERRIFERA	ESMECITA MAL CRISTALIZADA	ESMECITA Al-Fe	PHILLIPSITA	CUARZO	DIENTES DE PECES
OXIHIDROXIDOS	COMPLEJOS ANORFOS	PLAGIOCLASA	VIDRIO ZEOLITIZADO	FELDSPATOS	FRAGMENTOS DE NODULOS
CUARZO	OXIHIDROXIDOS		ESMECITA ALUMINICA	OPACOS	BASALTOS ALTERADOS
PLAGIOCLASA	CUARZO		PLAGIOCLASA	ESMECITA	SEDIMENTOS TURBIDITICOS
KAOLINITA	KAOLINITA			KAOLINITA	
OPACOS	OPACOS			ILLITA	
	PLAGIOCLASA			TRABAS BIOTICAS	
				PHILLIPSITA	

Fig. 4. 3 ESQUENA DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE NUCLEO Y SUS CARACTERISTICAS MINERALOGICAS, (TOMADO DE MARTIN-BARAJAS, 1989).

TABLA 4.4. - RELACION ENTRE DIAMETRO DE CAPAS DE OXIDOS Y EL DIAMETRO DEL NUCLEO DE LOS MODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo Número	Int. ca	Tamaño mm	No. capas del nódulo	Diámetro capas mm Dc	Diámetro núcleo mm Dn	Indice de relación Dc/Dn
2	sup.	128	3	84	25	3.36
6	sup.	26	2	7	10	0.7
8	sup.	19	1	8	8	1.0
13	sup.	80	1	3	no visible	
28	sup.	16	1	5	12	0.41
30	sup.	16	1	5	10	0.5
51	sup.	19	1	5	22	0.22
60	sup.	32	1	4	28	0.14
73	sup.	64	3	30	7	4.2
74	sup.	45	2	16	28	0.57
78	sup.	22	1	4	14	0.28
03	100	53	2	29	8	3.6
04	140	45	1	5	30	0.16
10	78	32	1	30	16	1.8
39	30	22	1	3	31	0.09
40	100	32	3	15	28	0.57
41	100	38	1	3	22	0.13
47	150	22	1	6.5	11	0.59
53	80	64	1	9	30	0.3
70	20	19	1	2	14	1.4

capas de óxidos (Dc) y el diámetro del núcleo (Dn), de los nódulos representativos superficiales y sepultados, mostrándose que el 70% de los nódulos presentan una relación Dc/Dn menor a 1 lo que significa que son más grandes los núcleos que en sí la capa de óxidos, mientras que los nódulos más grandes, mayores de 5.75 phi presentan una relación mayor de 1, mostrando un mayor espesor de óxidos formando las capas concéntricas del nódulo, y que el núcleo puede ser muy pequeño (No. 73). Sin embargo existen algunos nódulos que no se apegan a estas afirmaciones; por ejemplo el No. 8, que es un nódulo pequeño pero con un núcleo más pequeño que las capas llegando apenas a tener 2 cm aproximadamente de diámetro total o bien como el nódulo No. 53 que tiene un núcleo muy grande de 3 cm de diámetro y una capa de óxidos recientes de sólo 9 mm en su parte ecuatorial.

El tipo de núcleo que presentan los nódulos estudiados (Tabla 4.5 y lámina 4.3) son principalmente fragmentos de nódulos y sedimentos semiconsolidados con algunas excepciones como lo es el nódulo No. 3 el cual presenta un diente de tiburón. Los nódulos superficiales como los de la subsuperficie (hasta 70 cm aprox.) presentan con mayor abundancia un núcleo de sedimentos semiconsolidados, que parecen ser alteración de piedra pómez (nódulos No. 6 y 78) o bien arcillas ricas en sílice y aluminio (datos proporcionados por análisis de rayos X (Kevex 7000), efectuados en el laboratorio de microscopía electrónico del ICMyL, UNAM, con diferentes grados de reemplazamiento por óxidos.

También se tienen núcleos de fragmentos de nódulos, que son más dominantes en los nódulos sepultados, estos núcleos son capas dendríticas y/o laminares que están presentando reemplazamientos diagenéticos de óxidos amorfos por óxidos cristalinos (nódulos No. 4, 39 y 47).

Estos núcleos de fragmentos de nódulos, en los sepultados, presentan también un núcleo de fragmento de nódulo (nódulos No. 4, 40, 41 y 47) con capas dendríticas y laminares con reemplazamiento diagenético más marcado de óxidos amorfos y cristalinos con fracturas rellenas de óxidos o arcillas (lámina 4.3 a).

TABLA 4.5 -CARACTERISTICAS DE LOS NUCLEOS DE LOS NODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo Número	Est.	Nivel cm	Tipo de Núcleo	Características del núcleo
2	19	sup.	frag. de nódulo	formado por estructura laminar amorfo y vestigios de estructuras columnares, escasa arcilla.
6	22	sup.	sedimento semi-consolidado	parcialmente alterado con cristales de esmectita(?)
8	22	sup.	sedimento semi-consolidado	arcilla, con reemplazamientos dendríticos de óxidos.
13	22	sup.	no visible	
28	28	sup.	no visible	
30	28	sup.	frag. de nódulo	dendrítico, de escasa porosidad, óxidos cristalinos.
51	36	sup	frag. de nódulo	estructura dendrítica con algunos parches columnares con óxido amorfo reemplazando dendritas, pods
60	39	sup.	fragmento de roca alterado	arcilla, con reemplazamiento de óxido dendrítico (90%).
73	40	sup.	frag. de nódulo	estructuras laminares amorfas y algunas capas dendríticas.
74	45	sup.	sedimento semi-consolidado	detritos biogénicos y clásticos con reemplazamiento de óxido dendrítico (15%).
78	45	sup.	sedimento semi-consolidado.	arcilla con reemplazamiento de óxido dendrítico (25%).

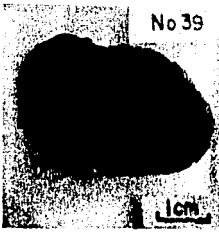
TABLA 4.5 CONTINUACION

3	20	190	diente de tiburón.	sin reemplazamiento.
4	21	140	frag. de nódulo	con núcleo de frag. de nódulo, capas dendríticas columnares con arcilla diseminada.
10	22	70	sedimento semi-consolidado.	con reemplazamiento de óxido dendrítico (40%).
39	32	30	frag. de nódulo	con núcleo de frag. de nódulo, de estructura dendrítica con capas amorfas en la base de la dendrita, con arcilla diseminada.
40	33	100	frag. de nódulo	capas dendríticas, laminares, con horizontes muy arcillosos, fracturas grandes rellenas de arcillas
41	33	100	frag. de nódulo	con núcleo de frag. de nódulo, zonas de arcilla roja reem-
47	33	150	frag. de nódulo	con núcleo de frag. de nódulo, de capas dendríticas con reemplazamiento de óxidos amorfos y cristalinos, restos de organismos y arcilla en espacios porosos.
53	37	90	frag. de nódulo	muy irregular, con capas concéntricas laminares y óxidos amorfos y cristalinos.
70	39	20	sedimento semi-consolidado.	arcilla con reemplazamiento de óxido dendrítico (30%).

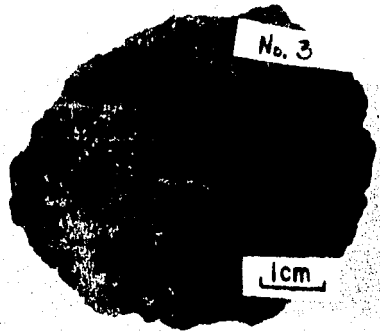
LAMINA 4.3 DIFERENTES TIPOS DE NUCLEOS DE NODULOS POLIMETALICOS

Lámina 4.3 Diferentes tipos de núcleos, de nódulos
polimetálicos

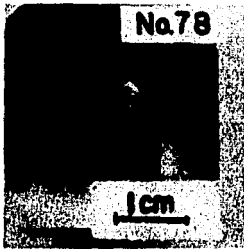
- a) Fragmento de nódulo que a su vez presenta un núcleo de fragmento de nódulo (Est. 32, sepultado).
- b) Diente de tiburón (Est. 20, sepultado).
- c) Sedimento semiconsolidado con reemplazamiento de óxidos en forma dendrítica. (Est. 45, superficial).
- d) Fragmento de roca alterado a arcilla reemplazado por óxidos casi en su totalidad (Est. 39, superficial).
- e) Sedimento semiconsolidado con óxidos y un cristal de esmectita (No.6, Est.22, superficial).
- f) Fragmento de roca alterado, con reemplazamiento de óxidos, muy fracturado. (No.60, Est. 39, superficial)



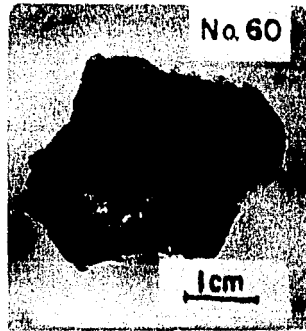
a)



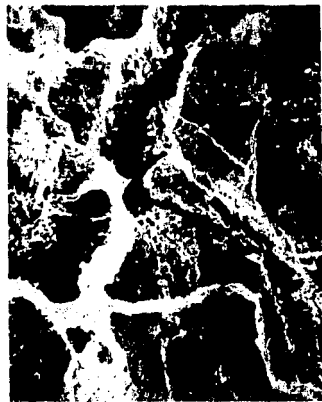
b)



c)



d)



e)

Microestructura y mineralogía de los nódulos.

El estudio bajo el microscopio de las microestructuras muestran que estas presentan una textura interna muy compleja y son mineralógicamente no uniformes, con capas de espesores menores que 0.1mm (Glasby, 1977) los cuales se definen como microestructuras.

El estudio de las microestructuras se realizó con la observación en secciones pulidas con microscopio minerográfico (luz reflejada), analizándose las características texturales y mineralógicas de los óxidos cristalinos (todorokita y birnesita) y óxidos amorfos según Sorem y Fewkes (1977), además de la fracción arcillosa.

Es difícil poder cuantificar las diferentes "sustancias" que componen a los nódulos a nivel de macroestructuras pero es posible establecer una cuantificación estimativa con el estudio de las microestructuras, ya que análisis químicos y mineralógicos realizados por Halbach et al (1981) en nódulos del mar profundo del Océano Pacífico mostraron que existe una relación entre las microestructuras y las sustancias que las componen. Cada sustancia esta constituida por una asociación mineral más o menos bien definida y presenta una composición química y relaciones geométricas relativamente constante dentro de los diferentes nódulos.

Los terminos usados para definir a las microestructuras en este estudio son los propuestos por Sorem y Foster (1972) (a) y Martín-Barajas (1988) (b) con su descripción textural, mineralógica y química.

Microestructura moteada y masiva (a).

Estas microestructuras contienen la mayor proporción de materiales cristalinos pero difieren en el patrón textural, el contenido de arcilla y en el material amorfo. Contienen una gran concentración de manganeso, níquel y cobre. La microestructura masiva es una densa unidad compuesta predominantemente por regulares pero difusas laminaciones de intercrecimientos microcristalinos de todorokita y birnesita con menores cantidades

de detritos clásticos. La zona moteada difiere en un contenido de aproximadamente 15% de arcilla y material amorfo, en el cual las laminaciones muestran un patron caótico y discontinuo. La microestructura masiva contiene aproximadamente el 32% de manganeso 4% de fierro, 2% de níquel y .8% de cobre, en ocasiones alcanza hasta 80% de níquel y 7% de cobre. La microestructura moteada contiene aproximadamente 21% de manganeso, 12 % de fierro 1% de níquel y 0.5% de cobre.

Microestructura dendrítica (b).

Presenta las mismas características que la microestructura moteada, sólo que la disposición geométrica de las sustancias cristalinas esta en forma arqueada (dendritas poco desarrolladas), hasta llegar a formar botroides de simetría radial de 1 a 2 mm de longitud.

Las otras tres microestructuras estan hechas en mayoría de material amorfo opaco laminado y difieren en el contenido de arcilla y en las capas coliformes intrincadas, estas microestructuras contienen la más alta concentración de Fe, Ca, Ti y Si.

Microestructura compacta (b).

Es texturalmente similar a la zona masiva excepto que esta compuesto de óxido laminar amorfo bien definido en rayos x , sin embargo lentes y pods de binésita y todorokita intercrecen generalmente constituyendo aproximadamente el 3% de la microestructura. Comunmente contiene la más alta reflectancia laminar encontrada en los nódulos. Contiene aproximadamente 19% de manganeso, 17% de fierro, 0.8% de níquel y 0.2% de cobre.

Microestructuras columnar y laminar (a)

La columnar consiste de columnas orientadas radialmente laminadas de material amorfo definido por rayos x. La arcilla rellena los espacios entre las columnas. La composición laminar de las columnas muestra una textura coliforme y cada columna

característicamente muestra un patrón delicado de ramificaciones. En algunos lugares las columnas radiales son cortas, densamente compactas y relativamente uniformes lateralmente, dando una apariencia de capas concéntricas llamada microestructura laminar. Contiene aproximadamente 18% de manganeso, 18% de hierro, 0.4% de níquel y 0.25% de cobre, pero esta composición es muy variable.

La tabla 4.6 y lámina 4.4 presenta las microestructuras predominantes de los nódulos representativos de las diferentes estaciones, con nódulos superficiales como sepultados a diferentes intervalos en la columna de sedimento.

Analizando la tabla 4.4 se puede mencionar que los nódulos de una sola zona o capa (lámina 4.2), presentan un predominio de texturas dendríticas, y dendríticas con algunas capas columnares o compactas principalmente en los nódulos superficiales (Ej. Nódulos No. 30 y 78), mientras que en los sepultados las microestructuras presentes son dendríticas acompañadas de texturas masivas, moteadas o coloforme irregular (No. 4, 39, 47, 53, 70, etc.), debido principalmente a los cambios diagenéticos que sufren los nódulos sepultados a partir de los sedimentos produciendo el desarrollo de óxido cristalino (lámina 4.5) que reemplazan los óxidos amorfos de las microestructuras columnares y compactas.

Existen excepciones como, por ejemplo los nódulos No. 13 y 80 (superficiales) que presentan microestructuras principalmente columnares o compactas, así como, el nódulo No. 41 (Est. 33, nivel 100 cm) en el que se presentan óxidos amorfos formando microestructuras compactas y columnares.

Los nódulos con dos capas o zonas (lámina 4.2) (No. 3, 8 y 74) son muy diferentes en su microestructuras y composición, presentando óxidos amorfos en capas columnares, laminares y algunos dendríticos (nódulos mayores No. 3 y 74) independientemente de si son sepultados o superficiales, mientras que el nódulo No. 8 es más pequeño y seguramente con diferentes procesos de crecimiento. Los nódulos de tres capas o zonas (No. 2, 40 y 73), nódulos muy grandes, presentan una variedad de microestructuras dendríticas, masivas y columnares, todas

TABLA 4.6. MICROESTRUCTURAS PREDOMINANTES DE LOS NODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo	Capas o zonas	Microestructuras	Mineralogía
No. 2 Est. 19 Sup.	Núcleo	Laminar con vestigio de de estructura columnar.	Oxidos amorfos e intercalaciones de óxidos cristalinos.
	1	Dendríticas irregulares	Oxidos cristalinos escaso óxido amorfo
	2	Columnar y capas lamina res.	Oxido amorfo
	3	Dendrítica a butroidal.	Oxidos cristalinos con intercalación de óxidos amorfos.
No. 8 Est. 22 Sup.	Núcleo	Moteada	Oxidos cristalinos
	1	Cerca del núcleo masivo y dendrítico.	Oxidos cristalinos.
	2	Dendrítica.	Parches irregulares de óxidos cristali- nos y amorfos.
No. 8 Est. 22 Sup.	Núcleo	Moteada	Oxidos cristalinos con óxidos amorfos.
	1	Dendrítica	Oxidos cristalinos y algunas capas de óxido amorfo.
No. 13 Est. 27 Sup.	1	Columnar	Oxidos amorfos.
No. 28 Est. 28 Sup.	1	Dendrítica	Oxidos cristalinos con algunos parches de óxidos amorfos y pods de óxidos cris talinos.
No. 30 Est. 28 Sup.	Núcleo	Coloforme irregular con crecimiento dendrítico de baja porosidad.	Oxidos cristalinos.
	1	En la base existe mate- rial compacto, dendritas	Oxidos amorfos en la base y óxidos

TABLA 4.6 CONTINUACION

		con alto contenido de arcillas.	cristalinos en las dendritas.
No. 51 Est. 36 Sup.	Núcleo	Zona moteada con capas dendríticas y con capas delgadas laminares.	Oxidos cristalinos con intercalación de óxido amorfo.
	1	Dendrítica.	Oxidos cristalinos.
No. 60 Est. 39 Sup.	Núcleo	Coloforme irregular, con dendritas rellenas de arcilla	Oxidos cristalinos.
	1	Secuencia de capas columnares con material compacto.	Oxidos amorfos con óxidos de fierro.
No. 73 Est. 40	Núcleo	Compacto.	Oxidos amorfos.
	1, 2 y 3	Presenta una variedad de microestructuras siendo las dendritas, masivas y laminares las más dominantes con algunas capas columnares.	Oxidos cristalinos con algunos horizontes de óxidos amorfos.
No. 74 Est. 40 Sup.	Núcleo	Parches de textura coloforme irregular.	Oxidos cristalinos.
	1 y 2.	Columnar-laminar con intercalación de capas compactas.	Oxidos amorfos que presentan alto contenido de óxidos de fierro.
No. 78 Est. 45 Sup.	Núcleo	Arcilla con dendritas.	Oxidos cristalinos.
	1	Dendríticas con parches de estructura columnar-laminar.	Oxidos cristalinos con óxidos amorfos y láminas de óxido de fierro.
No. 3 Est. 20 Int. 120 cm.	1 y 2	Presenta textura laminar con algunos estratos dendríticos.	Oxidos amorfos con algunos horizontes cristalinos.
No. 4 Est. 21 Int. 140 cm	Núcleo	Predominio de textura Coloforme irregular.	Oxidos cristalinos con algunos óxidos amorfos.
	1	Base coloforme irregular con capas dendríticas	Presenta óxidos cristalinos con ma-

TABLA 4.6 CONTINUACION

		cas hacia el exterior presenta algunos parches masivos.	por abundancia.
No.10 Est.22 Int.78cm	Núcleo 1	Arcilla con dendritas. Capas moteadas con intercalaciones de capas laminares de estructura columnar.	Oxidos cristalinos. Oxidos cristalinos predominantes con algunos estratos de óxido amorfo.
No.39 Est.32 Int.30 cm	Núcleo 1	Fragmento de nódulo de textura dendrítica y coloforme irregular con algunos horizontes compactos y columnares. Capas dendríticas con capas de textura coloforme irregular.	Oxidos cristalinos con intercalaciones de óxidos amorfos. Oxidos cristalinos.
No.40 Est.33 Int. 100 cm.	Núcleo 1 2 3	Dendrítica. Coloforme irregular (moteado) Parte superior compacta y columnar hacia la parte inferior del nódulo. Dendrítico con un horizonte columnar lleno de arcilla.	Oxidos cristalinos. Oxidos cristalinos. Oxidos amorfos. Oxidos cristalinos y algunos horizontes de óxidos amorfos.
No. 41 Est. 33 Int. 100 cm.	Núcleo 1	Capas dendríticas y coliformes irregulares. Capas columnares con base amorfa compacta que penetra algunas fracturas del núcleo, algunos parches dendríticos.	Oxidos cristalinos. Oxidos amorfos con horizontes de óxidos cristalinos.
No. 47 Est. 33 Int. 150 cm.	Núcleo 1	Dendrítico con zonas de textura coloforme irregular. Dendrítica con algunas capas masivas.	Oxidos cristalinos. Oxidos cristalinos.

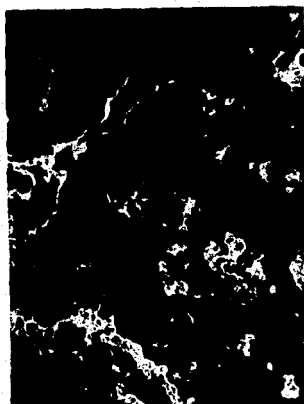
TABLA 4.6 CONTINUACION


No. 53 Est. 37 Int. 90 cm	Núcleo	Zona moteada con parches de material compacto.	Oxidos cristalinos con parches de óxidos amorfos.
	1	Zona moteada con la parte de la cima de las capas de textura dendrítica cuya base es masiva presenta algunas capas laminares.	Oxidos cristalinos
No. 70 Est. 39 Int. 20 cm	Núcleo	Dendrítica y coloforme irregular.	Oxidos cristalinos.
	1	Dendrítica con manchas de textura coloforme irregular en la base de las dendritas.	Oxidos cristalinos con escaso óxido amorfo.

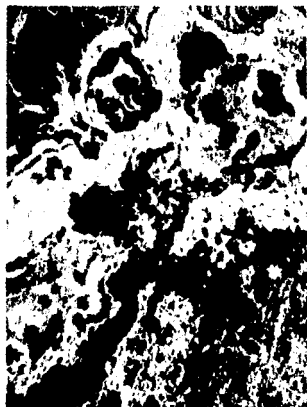
Sup. = Superficial Int = Intervalo de profundidad en el sedimento.

**LAMINA 4.4 EJEMPLOS DE ALGUNAS MICROESTRUCTURAS
PRESENTES EN LOS NODULOS**

- a) Textura moteada.
Capas caóticas de óxidos cristalinos (blanco) con óxidos ricos en Fe (gris oscuro) y arcillas (gris claro). (Núcleo, nódulo 6, Est. 22, superficial).
- b) Capa masiva entre el núcleo (márgen abajo a la derecha) y dendritas (arriba a la izquierda). Nódulo 6, est. 22, superficial).
- c) Textura dendrítica, (negro y gris) óxido cristalino y partes claras es arcilla impura y óxidos de Fe. (Nódulo 6, Est. 22, superficial).
- d) Zona moteada con capas dendríticas (capas claras), arcilla y óxidos de fierro, capas oscuras óxidos cristalinos. (Nódulo 50, Est. 36, superficial).
- e) Capas columnares con óxidos amorfos ricos en Fe, presentando óxidos amorfos compactos en la base de las columnas. (Nódulo 60, Est. 39, superficial).
- f) Variedad de microestructuras (dendríticas, masivas y columnares), fractura rellena de arcilla. (Nódulo 73, Est. 40, superficial).
- g) Dendritas con óxidos cristalinos (gris claro) y arcillas, zona masiva de óxido cristalino rica en Fe (color oscuro). (Nódulo 39, Est. 32, sepultado).



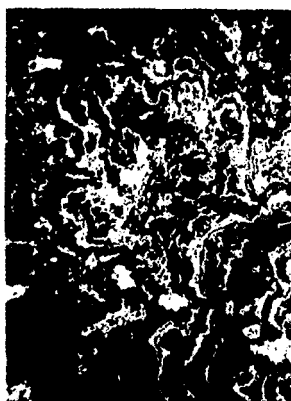
a)  0.1 mm.



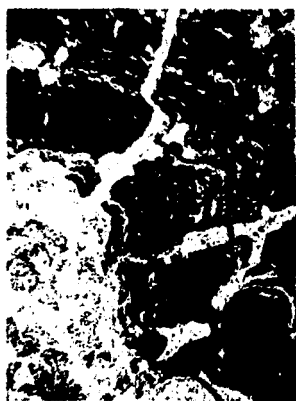
h) 0.1 mm



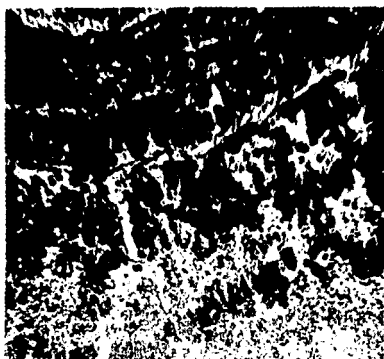
c) 0.1 mm



i) 0.1 mm



e) 0.1 mm



j) 0.1 mm



b) 0.1 mm

dispuestas en forma laminar, donde se puede distinguir una similitud entre las tres capas de los nódulos No. 2 y 73 (lámina 4.2, c y d, sobre todo en la capa o zona 1 y 2 de cada nódulo, mismos que se encuentran en diferentes localidades de la región B (est. 19 y 45 respectivamente).

Nódulos de una misma localidad (figura 4.4) presentan diferentes números de capas o zonas y de microestructuras (Ej. No. 74 - 78, est. 45 y 8 - 8, est. 22), lo que puede estar indicando variaciones locales muy marcadas, o bien, en una misma estación con nódulos sepultados existen variaciones de las microestructuras (Ej. No. 40, 41 y 47), lo cual es más fácil de explicar debido a cambios diagenéticos dentro de los sedimentos y nódulos en la historia de sedimentación del Área, que obviamente debieron de ser diferentes.

La identificación de óxidos con análisis mineralógico solo se puede identificar óxidos amorfos y cristalinos y las diferentes microestructuras que forman, de lo cual según Sorem y Fewkes (1977) menciona que los óxidos cristalinos presentan un contenido alto de todorokita y birnesita con mayores contenidos de Ni y Cu, mientras que los nódulos con óxidos amorfos de manganeso son más ricos en Fe, Ti y Co.

Con lo anterior y analizando la tabla 4.6 se puede decir de manera general que los nódulos sepultados son más ricos en Ni y Cu y los superficiales en Fe, Ti y Co, como lo muestran las tablas 4.7 y 4.8) de composición química de los nódulos sepultados y superficiales, elaborados por Rosales-Hoz (1989) para nódulos de estas mismas estaciones.

Estructuras secundarias y de reemplazamiento diagenético

Son las estructuras que resultan de fenómenos diagenéticos que se presentan después o en el momento de depositarse las diferentes capas de la corteza del nódulo durante su desarrollo o crecimiento y que generalmente se encuentran más desarrolladas en en las capas más antiguas de la corteza del nódulo e inclusive en

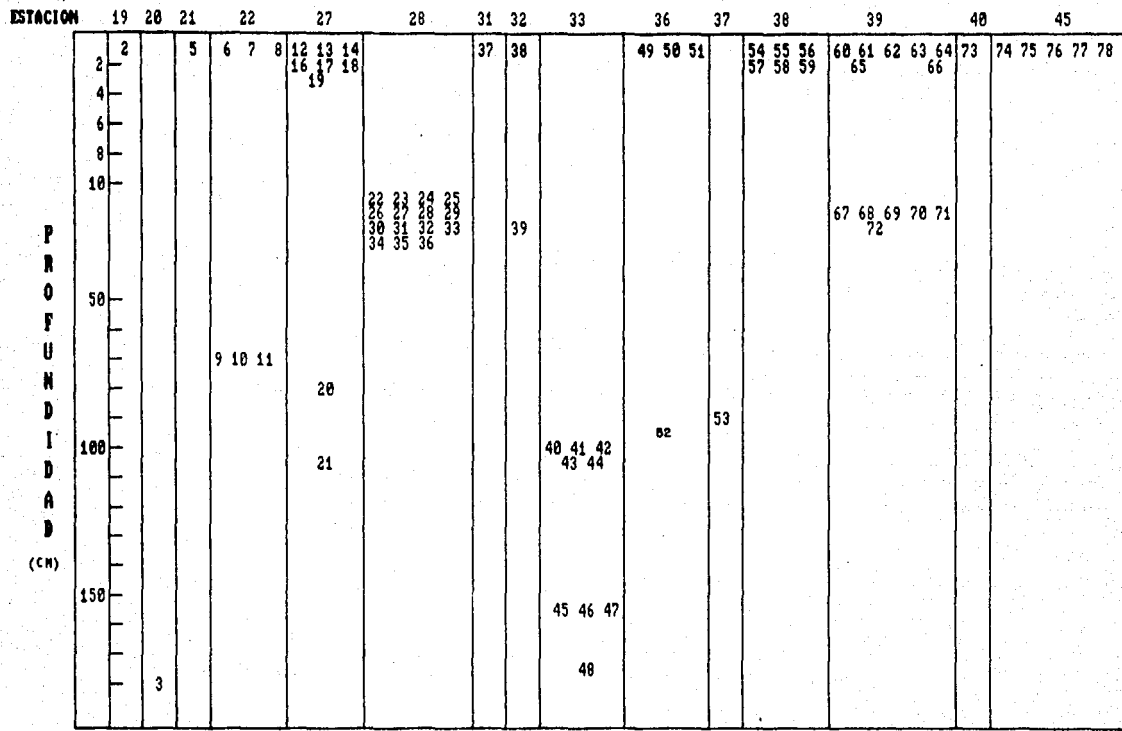


FIG. 4.4 ESTACIONES EN LAS QUE SE COLECTARON NODULOS Y NIVEL DE PROFUNDIDAD AL QUE SE COLECTARON (TORONDO DE ROSALES-NOZ, 1989)

TABLA 4.7 COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS SUPERFICIALES.
 (TOMADO DE ROSALES-HOZ, 1989)

Concentración expresada en %

NODULO	ESTACION NUMERO	PESO (gramos)	Mn %	Fe %	Cu %	Ni %	Co %
2	19	678.60	23.60	4.36	0.24	0.56	0.03
6	22	27.20	20.40	6.80	0.70	0.87	0.08
8	22	12.10	20.88	5.08	0.53	0.42	0.07
12	27	2.80	18.13	10.10	0.46	0.62	0.23
14	27	2.00	15.94	13.44	0.42	0.64	0.21
16	27	3.40	19.10	10.10	0.57	0.77	0.21
73	40	361.50	23.30	4.98	0.74	0.81	0.05
74	45	129.10	20.80	10.80	0.35	0.65	0.07
78	45	21.40	16.16	11.40	0.26	0.47	0.06
50	36	20.40	33.35	5.00	0.73	0.74	0.11
54	38	47.50	26.90	5.26	0.80	0.80	0.12
5	21	8.30	16.10	4.54	0.33	0.40	0.06
37	31	0.88	6.40	5.40	0.16	0.13	0.04
38	32	19.10	30.4	5.80	0.65	0.81	0.08
60	39	65.00	21.9	5.98	0.60	0.82	0.09
61	39	23.70	23.4	5.20	0.53	0.71	0.11
55	38	26.50	20.20	5.20	0.73	0.77	0.10

TABLA 4.8 COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS SEPULTADOS
(TOMADO DE ROSALES-HOZ, 1989)

Concentración expresada en %

NODULO	ESTACION NUMERO	PROFUNDIDAD (cm)	PESO (gramos)	Mn %	Fe %	Cu %	Ni %	Co %
3	19	190.00	156.10	21.50	10.1	0.33	0.56	0.09
4	22	140.00	121.00	22.62	7.05	0.45	0.72	0.09
9	22	70.00	214.40	16.61	9.46	0.48	0.59	0.09
10	22	70.00	68.20	20.48	7.62	0.59	0.70	0.01
11	22	70.00	133.10	21.49	8.03	0.45	0.57	0.08
20	27	78.00	0.95	19.59	9.72	0.59	0.60	0.21
21	27	110.00	0.85	17.90	9.65	0.62	0.64	0.24
22	28	10-45	8.45	18.97	7.00	0.69	0.66	0.19
26	28	10-45	4.30	27.56	8.03	0.72	0.70	0.14
35	28	10-45	3.60	21.44	8.97	0.70	0.72	0.18
39	32	30.00	19.90	32.90	5.44	0.79	0.87	0.11
41	33	100.00	59.50	31.27	6.57	0.80	0.78	0.11
42	33	100.00	57.10	32.51	5.39	0.83	0.85	0.09
43	33	100.00	48.80	29.53	5.23	0.57	0.74	0.12
44	33	100.00	30.30	29.42	5.03	0.86	0.81	0.10
46	33	150.00	22.90	28.91	5.75	0.75	0.77	0.11
48	33	175.00	65.90	28.91	5.34	0.86	0.82	0.11
52	36	103.00	17.90	12.77	4.59	0.40	0.40	0.05
53	37	90.00	331.30	24.53	4.52	0.74	0.54	0.09
67	39	20.00	20.20	25.48	6.29	0.82	0.85	0.11
72	39	20.00	24.24	6.25	6.90	0.76	0.82	0.11

el mismo núcleo.

Las diferentes estructuras secundarias y de reemplazamiento diagenético se pueden clasificar en (Modificado de Martín-Barajas, 1989):

- 1) Reemplazamiento de espacios interdendríticos.
- 2) Transformación de material amorfo en material cristalino en las estructuras columnares, dendríticas, etc.
- 3) Reemplazamiento de material silicatado del núcleo.
- 4) Relleno de fracturas.

Las estructuras formadas por reemplazamiento interdendrítico se pueden formar por dos mecanismos principales:

a) En parte, por el depósito de capas sucesivas de óxidos cristalinos sobre las dendritas, lo que parece ser un proceso continuo después de la formación primaria de dendritas

b) O bien, por el reemplazamiento de sedimento depositado entre las dendritas, lo que hace suponer una precipitación de óxidos de manganeso en forma de micronódulos los que serán por consiguiente cubiertos por nuevas capas de óxidos. Este reemplazamiento generalmente está acompañado por la cristalización de esmectita ferrífera a partir de biógenos silíceos (Cole y Shaw, 1983) mecanismo que parece retardar o parar el reemplazamiento seguido de una disminución de la porosidad.

La transformación de óxidos amorfos en microestructuras columnares, dendríticas o moteadas, mostrándose un contacto difuso que progresivamente se introduce y reemplaza a los óxidos amorfos de manganeso, de hidróxidos de hierro y de silicatos amorfos.

El reemplazamiento diagenético de núcleos silicatados por los

óxidos depende en parte de la porosidad del material y por otra parte, de la actividad biológica que deje huellas de galerías siendo esto último dependiente de las características texturales primarias del sedimento.

La presencia de fracturas de encogimiento dispuestas de manera concentrica y que son atravesadas por otras fracturas en dirección diagonal, son debidas a la contracción del núcleo, probablemente por pérdida y por la formación de fase minerales autigenicas que disminuyen su volumen. Estas fracturas son generalmente rellenas de arcillas o bien por óxidos de manganeso bien cristalizado que se introducen por difusión o por circulación de agua intersticial enriquecido de metales. El enriquecimiento de material masivo en algunas capas de la corteza es también atribuido a este mecanismo.

La tabla 4.9 presenta las estructuras secundarias y de reemplazamiento diagénéticos más comunes en los nódulos estudiados, notándose principalmente tanto en los nódulos sepultados como en los superficiales un reemplazamiento de estructuras dendríticas o columnares por óxidos cristalinos formando estructuras masivas, ya sea en la base o cima de las microestructuras dendríticas o columnares. Siendo más notorio hacia las capas internas (lámina 4.5 a, c y d).

Las fracturas por resecaamiento son escasos (Nódulos 13 y 28) parcial o totalmente rellenas de arcilla y/o óxidos bien cristalizados (No. 73, lámina 4.5 b).

Existen también esporádicamente un enriquecimiento de óxidos cristalinos dentro de microestructuras amorfas en el contacto con los núcleos de algunos nódulos (Nódulos No. 39 y 80, lámina 4.5 a).

Finalmente, también se observó que varios de los núcleos constituidos por sedimentos semiconsolidados o por roca alterada (No. 80) presentan un reemplazamiento por óxidos cristalinos en forma de dendritas (No. 78) (lámina 4.5 e y lámina 4.3)

TABLA 4.9. -ESTRUCTURAS SECUNDARIAS Y DE REMPLAZAMIENTO DIAGENETICO DE LOS NODULOS REPRESENTATIVOS SUPERFICIALES Y SEPULTADOS.

Nódulo	Capa o Zona	Estructura Secundaria y de Reemplazamiento
No. 2 Est. 19 Sup.	1	Oxido amorfo con escaso reemplazamiento de óxido cristalino.
	2	No se observan
	3	Reemplazamiento de óxido amorfo por dendritas de óxido cristalino
No. 6 Est. 22 Sup.	1	Capa masiva de óxidos cristalinos reemplazando la base de las dendritas
	2	No se observan
No. 8 Est. 22 Sup.	Núcleo	Oxido cristalino reemplazando arcilla con restos de fósiles.
	1	No se observan
No. 13 Est. 27 Sup.	1	Fracturas de encogimiento rellenas de óxidos amorfos.
No. 28 Est. 28 Sup.	1	Dos etapas de fracturamiento una en los estratos internos y la otra en los estratos externos rellenos de arcilla, galerías de organismos.

TABLA 4.9 CONTINUACION

No. 30 Est. 28 Sup.	1	Algunas capas de óxido amorfo reemplazadas por óxidos cristalinos, fracturas de contracción.
No. 51 Est. 36 Sup.	1	Reemplazamiento por óxido cristalino en algunas capas laminares de óxidos amorfos.
No. 60 Est. 30 Sup.	núcleo	Fragmento de roca alterado reemplazado por óxido cristalino dendríticos, estructura coliforme irregular y fracturas rellenas de arcillas.
	1	Óxido cristalino reemplazando capas columnares, con enriquecimiento de óxidos cristalinos cerca del núcleo.
No. 73 Est. 4 Sup.	1	Fracturas rellenas de arcilla con óxidos amorfos. la microestructura masiva presenta detritos arcillosos y organismos reemplazados de óxido cristalino y pods bien marcados.
No. 74 Est. 40 Sup.	núcleo	Sedimentos presentan un reemplazamiento por óxidos cristalinos de textura coliforme irregular.
	1 y 2	Las capas columnares presentan un reemplazamiento por óxidos cristalinos (masivo)
No. 78 Est. 45 Sup.	núcleo	Arcillas reemplazadas por dendritas de óxido cristalino

TABLA 4.9 CONTINUACION

No. 3	1 y 1	No se observan, existe un crecimiento continuo del nódulo.
Est. 20		
Int. 120cm		
No. 4	núcleo y	Existe un reemplazamiento de material cristalino masivo en las dendritas
Est. 21	1	
Int. 140cm		
No. 10	núcleo	Sedimento arcilloso reemplazado por dendritas de óxidos cristalinos.
Est. 22		
Int. 78cm		
	1	Reemplazamiento de óxido amorfo por óxido cristalino en algunas microestructuras moteadas.
No. 39	núcleo	Presenta horizontes compactos de óxidos amorfos por enriquecimiento en la base del núcleo interno del fragmento de nódulo.
Est. 32		
Int. 30cm		
No. 40	1, 2 y 3	Existe una predominancia de óxidos amorfos columnares, los cuales presentan un reemplazamiento de óxidos cristalinos en la capa 1 Coliforme y la capa 3 dendrítica.
Est. 33		
Int. 30cm		
No. 41	núcleo	Presenta óxidos cristalinos
Est. 33		
Int. 100cm	1	Capas dendríticas de óxidos cristalinos reemplazando la parte externa del nódulo, de capa columnar.
No. 47	núcleo	Estructuras masivas reemplazando dendritas.
Est. 33		
Int. 150cm		

LAMINA 4.5 MICROESTRUCTURAS DOMINANTES Y ESTRUCTURAS DE
REEMPLAZAMIENTO EN LOS NODULOS OBSERVADOS

Lámina 4.5 Microestructuras dominantes y estructuras de reemplazamiento en los nódulos observados.

- a) Óxidos cristalinos masivos (gris claro) reemplazando capas columnares en cuya base se encuentra una fractura rellena de arcilla, la parte inferior (gris oscuro) se observa una capa de óxido amorfo compacto con algo de óxido cristalino. (Nódulo 60, Est. 39, superficial).
- b) Variedad de microestructuras en forma laminar (toda la foto) capa columnar (gris oscuro), masiva, dendrítica, con arcilla diseminada y restos fósiles. Fractura rellena de arcilla y óxidos cristalinos. (Nódulo 73, Est. 4, superficial).
- c) Textura coliforme irregular de óxidos cristalinos reemplazando sedimentos biogénicos probablemente foraminíferos. (Núcleo del nódulo 74, Est. 45, superficial).
- d) Capas columnares que presentan un reemplazamiento por óxido cristalino (zona masiva). (Nódulo 74, Est. 45, superficial).
- e) Sedimento arcilloso semiconsolidado (oscuro), con dendritas (blanco) de óxido cristalino. (Nódulo 78, Est. 45, superficial).

CAPITULO 5.-CARACTERISTICAS TEXTURALES Y COMPOSICIONALES DE LOS SEDIMENTOS.

Clasificación y descripción de sedimentos.

La clasificación utilizada en este trabajo para los sedimentos asociados a los nódulos es genética (Goldberg, 1963), estableciéndose los siguientes tipos de sedimentos:

a) Sedimentos litogénicos. Son los derivados de rocas que por procesos de intemperismo y erosión son transportados hacia las cuencas oceánicas, siendo más comunes hacia las márgenes continentales, considerándose los volcanes submarinos que se encuentran en las cuencas oceánicas como una fuente importante de sedimentos litogénicos.

b) Sedimentos biogénicos. Son los provenientes de restos de organismos, principalmente de microorganismos del plancton y también de partes de esqueletos o dientes de organismos mayores los cuales al morir pasan a formar parte de los sedimentos marinos. Dentro de los sedimentos biogénicos más comunes están los compuestos por carbonato de calcio a partir generalmente de las testas de foraminíferos, cocolitoféridos, pteropodos, etc. y los silíceos formados principalmente por radiolarios, diatomeas, espículas de esponja y silicoflagelados.

c) Sedimentos autigénicos. Formados por reacciones químicas que ocurren dentro del agua marina (hidrogénicos) o dentro de los sedimentos. Los nódulos polimetálicos, fosforita y glauconita son algunos de los minerales autigénico más comunes .

d) Sedimentos cosmogénicos. Provenientes de fuentes extraterrestres en forma de esferulitas de Ni y Fe principalmente

y otros elementos metálicos.

En las cuencas oceánicas profundas, el piso oceánico está cubierto principalmente por arcillas abisales, estas son principalmente de color pardo-rojizo debido a su contenido de filipsita y óxidos de hierro, recibiendo comunmente el nombre de arcillas rojas. Componentes significativos en estas arcillas son los minerales autigenicos de montmorillonita y filipsita los cuales son producto de la interacción del agua marina con partículas volcánicas y otros litogénicos (Hoffert, 1980).

En las cuencas oceánicas más someras, los materiales biogénicos suelen ser una parte importante dentro de los constituyentes de los sedimentos marinos. Si los sedimentos contienen 30% o más de esqueletos de microorganismos, el depósito recibe el nombre de un coque. Pudiendo ser clasificados en coques calcáreos o silíceos, dependiendo de la naturaleza química de los organismos que componen estos coques.

En regiones donde es predominante la actividad volcánica es frecuente encontrar en los sedimentos biogénicos, material volcánico intercalado en estos sedimentos, principalmente compuesto de vidrio volcánico, piedra pomez y otros productos asociados, minerales pesados y pequeños fragmentos de roca.

De acuerdo con los constituyentes biogénicos estos se clasifican en diferentes facies sedimentarias (Tabla 3.5, Cap.3) con el fin de establecer las características biológicas del depósito sedimentario resultantes del medio deposicional.

Sedimentos Superficiales.

Color del sedimento

En la tabla 5.1 y figura 5.1 se muestra el color del sedimento y su distribución geográfica, respectivamente. De acuerdo

TABLA 5.1

COLOR DEL SEDIMENTO SUPERFICIAL
(SEGUN RAMIREZ ARGAEZ, 1987)

ESTACION	CLAVE	NOMBRE
1	5Y 4/2	GRIS OLIVO
2	1Y 4/2	PARDO GRISACEO OSCURO
5	1Y 4/2	PARDO GRISACEO OSCURO
6	5Y 4/3	OLIVO
7	4Y 5/2	PARDO GRISACEO
8	10YR 3/2	PARDO GRISACEO MUY OSCURO
10	10YR 5/3	PARDO
11	1Y 5/3	PARDO
12	10YR 3/2	PARDO GRISACEO 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 GRISACEO OSCURO
44	9YR 3/2	PARDO AMARILLENTO MUY OSCURO
45	9YR 4/3	PARDO OSCURO

EL COLOR DEL SEDIMENTO SE DETERMINO DE ACUERDO A LAS TABLAS DE MUNSSELL, (1975).

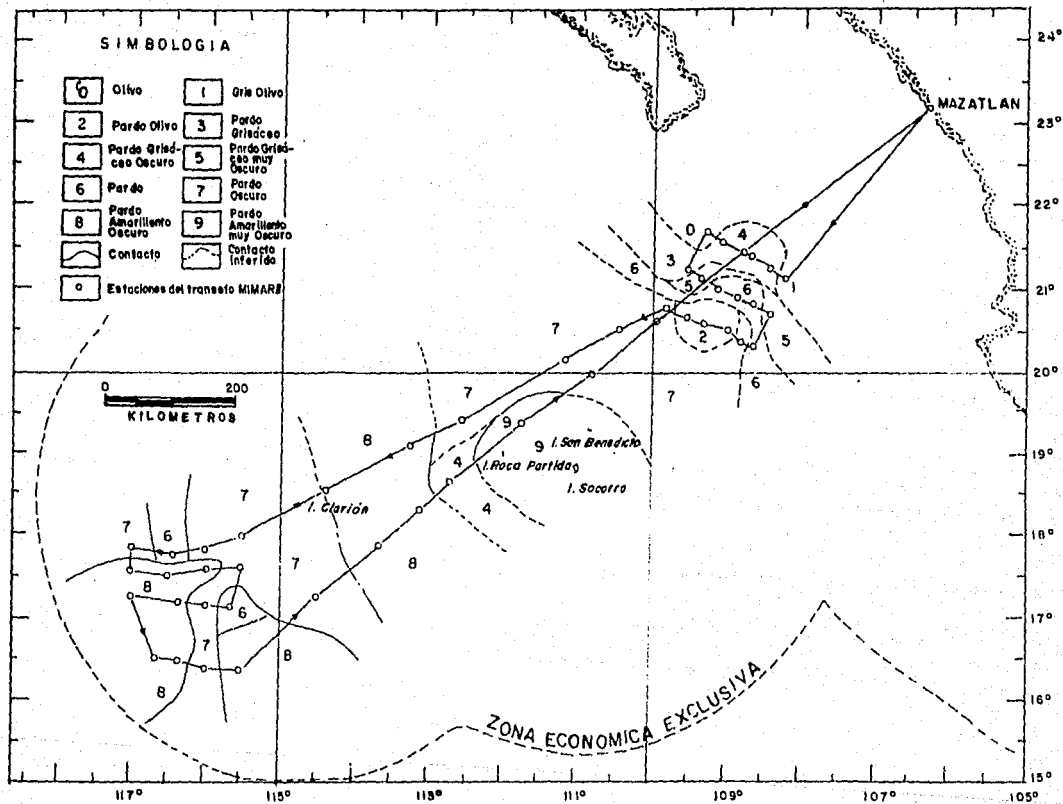


FIGURA 5.1- COLOR DEL SEDIMENTO SUPERFICIAL (Tomado de Ramírez-Argaez, 1987).

con Ramírez (1987) se puede observar un color contrastante en tre la región A y las regiones B y C. En la región A predominan tonalidades más verdosas (pardo olivo, gris olivo y olivo) en cambio en las regiones B y C se puede apreciar un predominio de colores pardos (pardo oscuro, pardo amarillento y pardo), observándose en el área alledaña al Archipiélago de las Revillagigedo sedimentos de color pardo amarillento muy oscuro.

El color puede ser un indicador de las condiciones Redox del sedimento, teniéndose que los colores más claros, están asociados a ambientes más reductores y los colores más oscuros están asociados a colores más oxidantes, haciendo estas consideraciones Rozales-Hoz (1989), menciona que la región A presenta un ambiente reductor y un ambiente más oxidante en las regiones B y C, sin embargo es importante mencionar que el color de los sedimentos esta también intimamente ligado con la composición del mismo.

Composición.

En la figura 5.2 se presenta la distribución de los sedimentos superficiales según su facies sedimentaria. Se observa un predominio de lodos silíceos en el sedimento tanto en la regiones A y B, mientras que en la región C, existe un predominio de lodos, debido quizás a un aporte mayor de sedimentos volcánicos de los volcanes submarinos que rodean a esta región, o bien, que el material biogénico silíceo haya sido alterado diagenéticamente.

El contenido de arcillas y limos del sedimento superficial que conforman la parte lodosa dominante del sedimento, se muestra en la figura 5.3, encontrándose un predominio de las arcillas limosas (50% arcilla < 90%, con excepción de la parte sur de la región A, la Est.41 en la región B y la porción central de la región C, donde predominan las arcillas (> 90% de arcilla). El análisis composicional de las arcillas (Lozano-Santa Cruz et al., 1988) (figura 5.4) muestra una predominancia de montmorillonita en la zona de la Dorsal del Pacífico Oriental y de las Islas

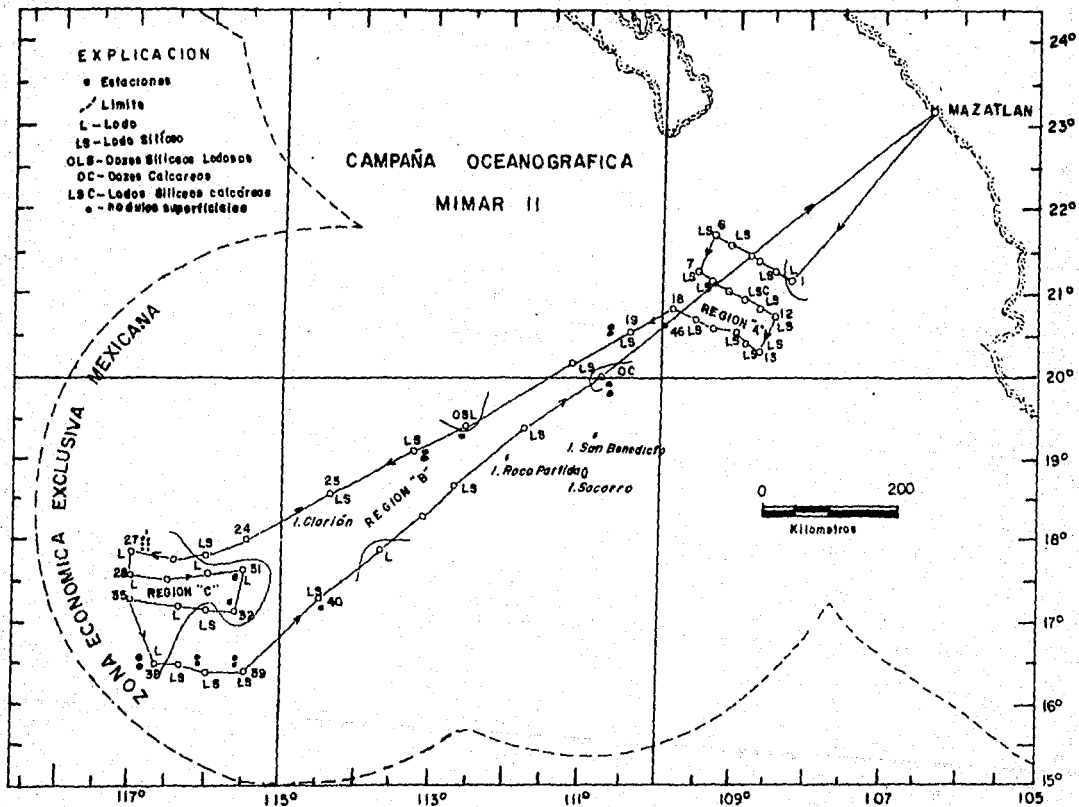


Figura 5.2 Facies sedimentaria de los sedimentos superficiales.

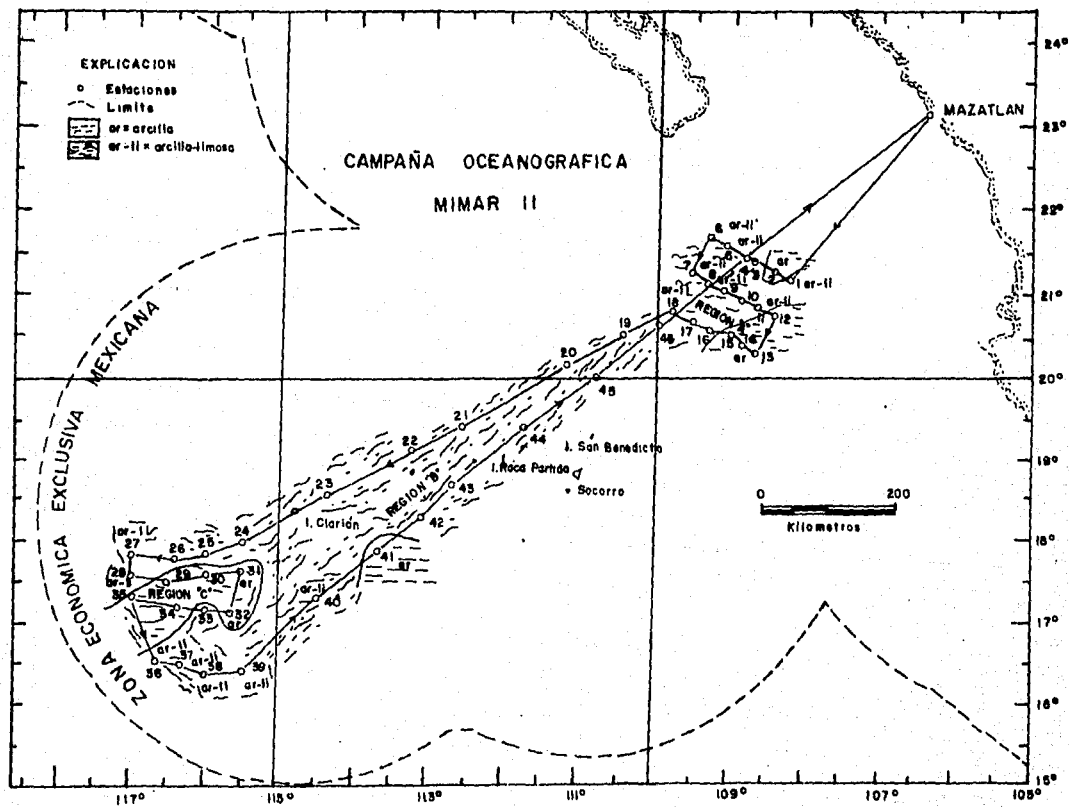


Figura 5.3 Distribución de arcillas y limos en sedimentos superficiales.

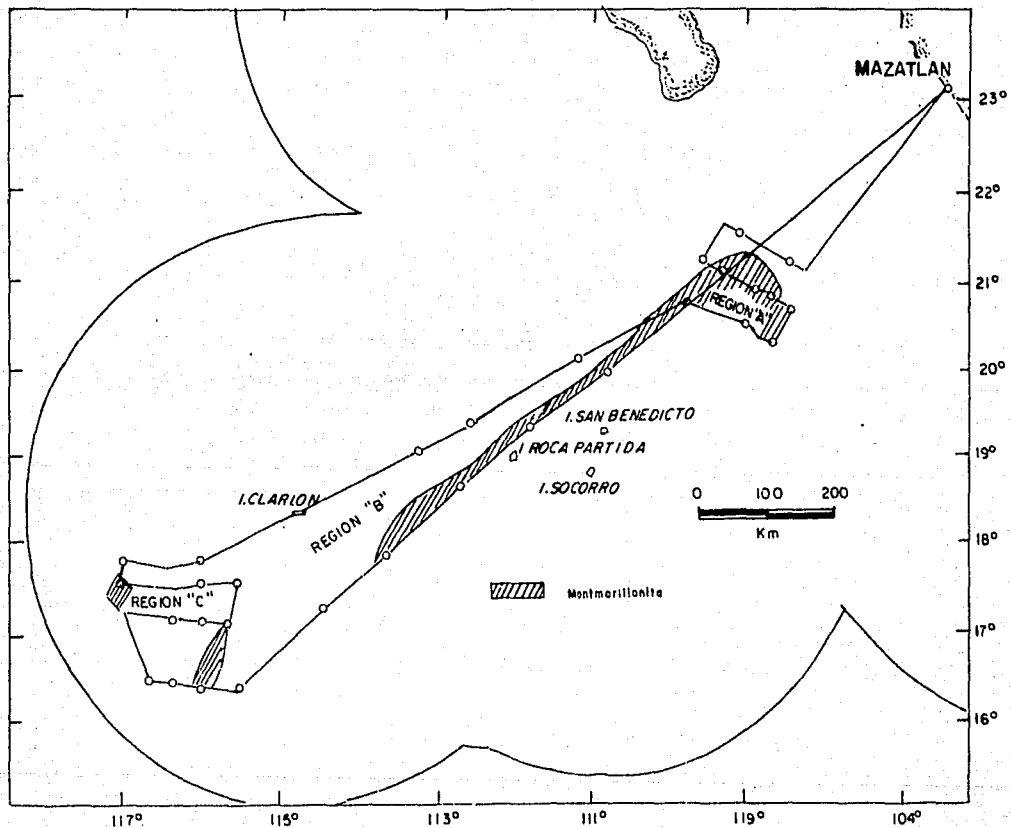


Figura 5.4. Distribución de montmorillonita de la fracción arcillosa en los sedimentos superficiales. (Tomado de Lozano-Santa Cruz, et al., 1988).

Socorro; San Benedicto y Roca Partida, lo que sugiere una asociación con el vulcanismo básico, mientras que la illita que también se presenta en el sedimento, parece asociarse con una menor influencia de vulcanismo básico.

Además existe caolinita y cuarzo en la fracción arcillosa con una concentración promedio del 15 %, aunque también se presenta, calcita, filipsita, yeso y pirita, en concentraciones menores al 4% e inclusive ausentes. Considerando la composición de las arcillas y su color , se puede decir que los sedimentos superficiales de las regiones B y C son predominantemente arcillas rojas.

La parte limosa con escasa arena (menor al 1 % en promedio) del sedimento superficial esta compuesta por sedimentos biogénicos, detríticos y autigénicos, en orden decreciente.

- Los constituyentes biogénicos formados por organismos silíceos (radiolarios, diatomeas, silicoflagelados y espículas de esponja principalmente) y organismos calcáreos (foraminíferos, coccolitofóridos, etc.), presentan sus mayores concentraciones (30% hacia la región A (figura 5.5), con sus valores más bajos en la región C (Est. 27 y 36), cuya disminución hasta un 3% sea debido a que el material biogénico sea inhibido por un aporte mayor de sedimentos detríticos que se tienen en estas estaciones.

-La porción detrítica (figura 5.6) en el sedimento , no es mayor del 10%, siendo la parte Norte de la región B y la región C sobre en su parte NW, las áreas con mayor contenido de detríticos (9 y 8 % respectivamente). Estas áreas se localizan próximas a la Dorsal del Pacífico Oriental , relativamente cerca de la parte continental (región A) , o bien, próximas a elevaciones o montes submarinos.

- La distribución de material autigénico (figura 5.7), constituido por óxidos, zeolitas y palagonita principalmente, su distribución es muy irregular. Se presentan valores máximos de 20% (Est. 19, 21, 37, 41) y mínimos de 1% (Est. 7, 14, 17), notándose una

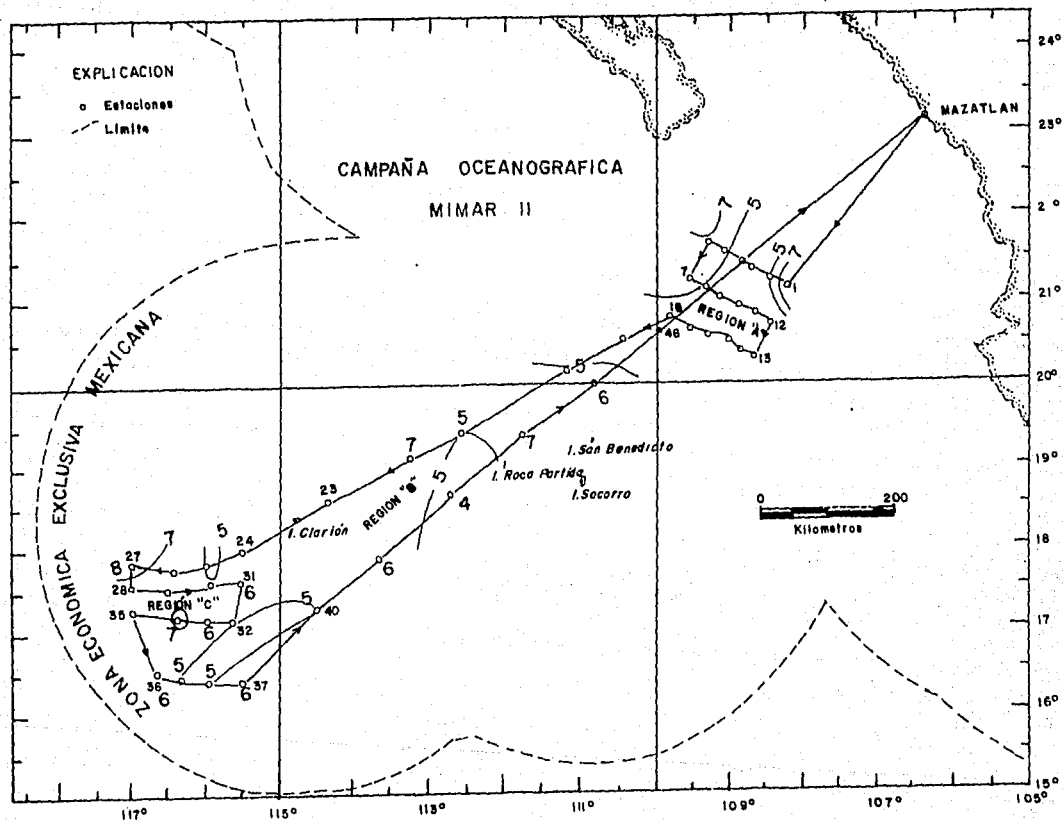


Figura 5.6 Distribución de detritos de la fracción limosa de los sedimentos superficiales (%).

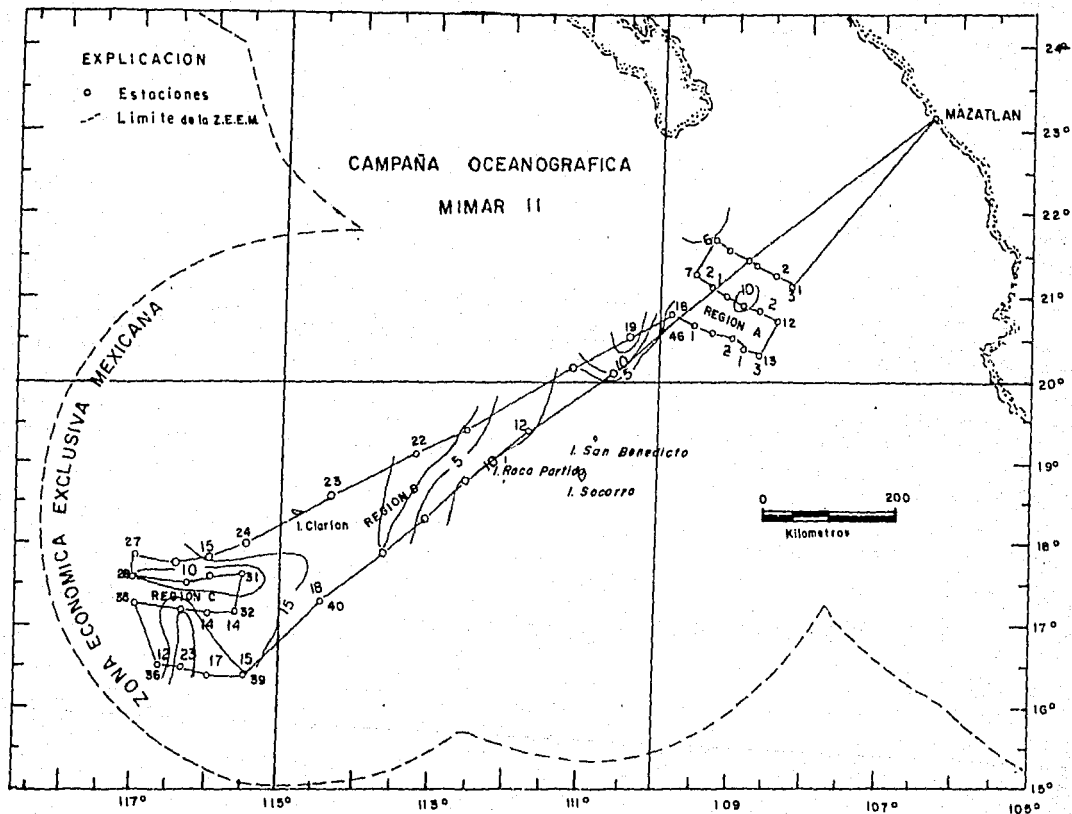


Figura 5.7 Distribución de constituyentes autigénicos (%) de la fracción limosa en sedimentos superficiales.

tendencia de incremento en óxidos a partir de la región A hacia la región C.

Núcleos de sedimentos.

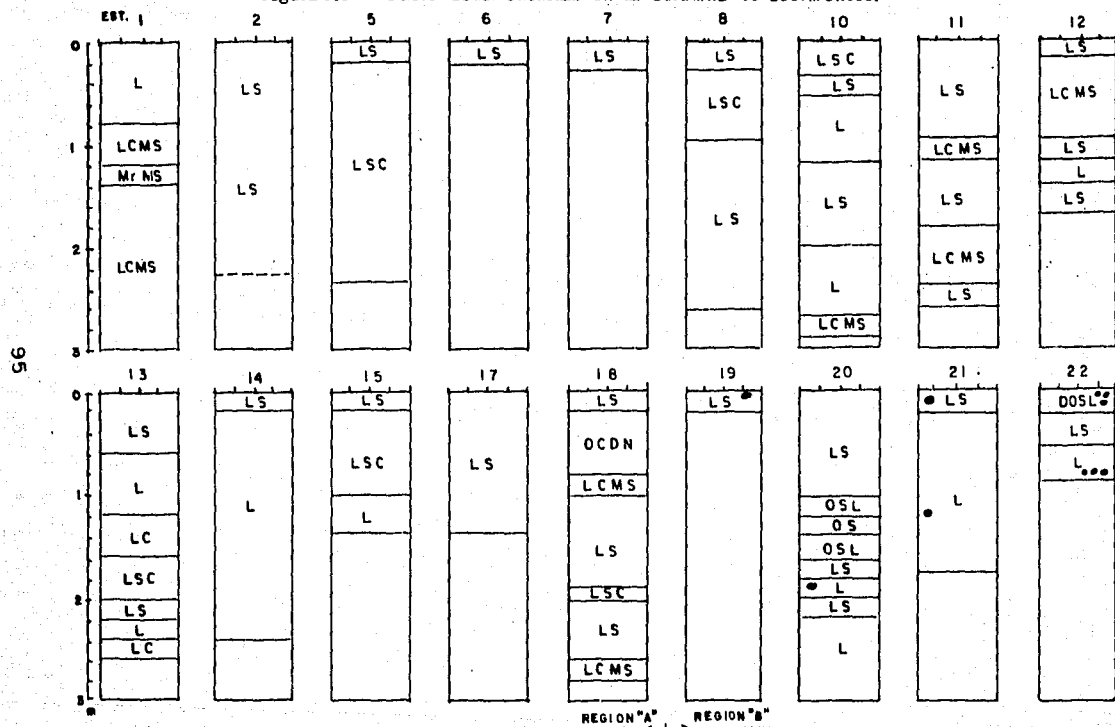
Con el fin de conocer la composición mineralógica de los sedimentos con respecto a la columna sedimentaria se analizaron todos los núcleos muestreados durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II, considerando tanto los que presentaban nódulos como los que no lo presentaban.

Las facies sedimentarias que se presentan en la región A muestran una heterogeneidad de facies (lodos, lodos silíceos, lodos caláreos con microfósiles silíceos, etc), sin embargo, se puede ver también (figura 5.8) una predominancia de lodos silíceos.

Para la región B existe un predominio de facies de lodos silíceos en la parte superior de los núcleos hasta un promedio de 50 cm de la superficie, seguida posteriormente de lodos, excepto la estación 20 que presenta un horizonte de oozes silíceos lodosos y oozes silíceos, además de la estación 45 el cual presenta facies de oozes calcáreos (tabla 3.5). La región C presenta un predominio de facies de lodos en la columna de sedimentos con un horizonte de sedimentos de facies de lodos silíceos a los 20 cm de profundidad y con un espesor promedio de 40 cm, hacia su parte sur parece ser que el horizonte de lodos silíceos aflora en la superficie o bien el depósito de sedimentos de facies de lodos no tiene un aporte hacia esta área (Est. 37, 38 y 39) conocida como Depresión MIMAR II (Carranza et al., 1987)

Considerando la fracción arcillosa y limosa En la figura 5.9 se presenta el contenido de arcilla en la columna de sedimento mostrándose las variaciones porcentuales que existen a lo largo de las columnas muestreadas, teniéndose en general un contenido mayor del 85 % de arcilla en promedio y el 15 % restante esta formado principalmente por limos compuestos de biogenos, detritos y óxidos. La composición arcillosa de acuerdo a los análisis de

Figura 5.8 Facies sedimentarias en la columna de sedimentos.



L= Lodo
 LS= Lodo Silíceo
 OS= Oozes Silíceos

LCMS= Lodo Calcáreo con Microfósiles Silíceos
 LSC= Lodo Silíceo Calcáreo
 NMrS= Marga Rica de Microfósiles Silíceos
 OCDN= Oozes Calcáreas con Dominancia de Nanoplancton.

• nodulos

Figura 5.8 (continuación).

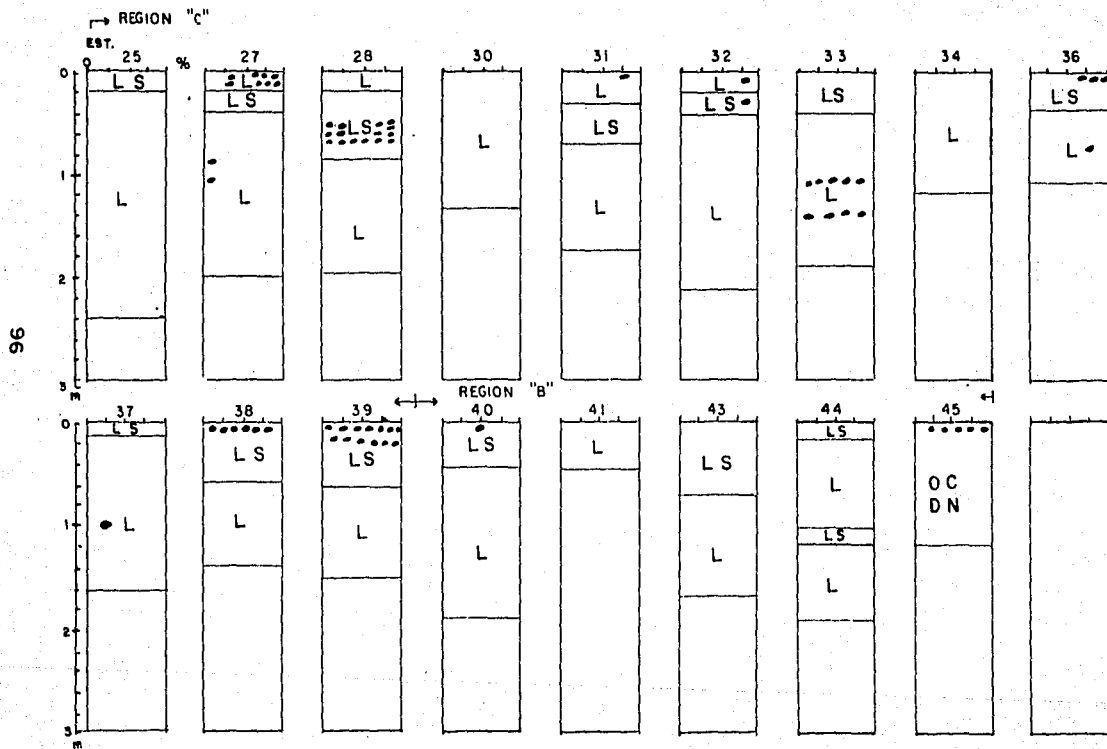


FIGURA 5.9 - DISTRIBUCION DE LA FRACCION ARCILLOSA Y LOS DETRITOS DE LA FRACCION LIMOSA EN LA COLUMNA DE SEDIMENTOS

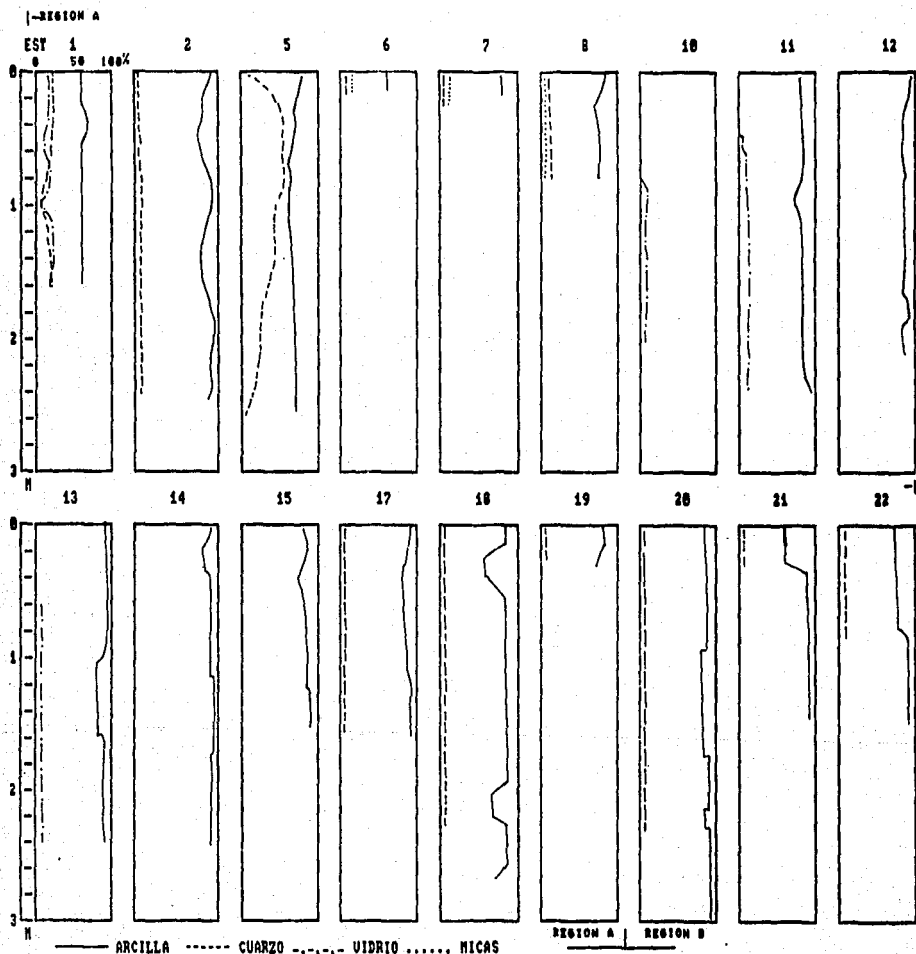
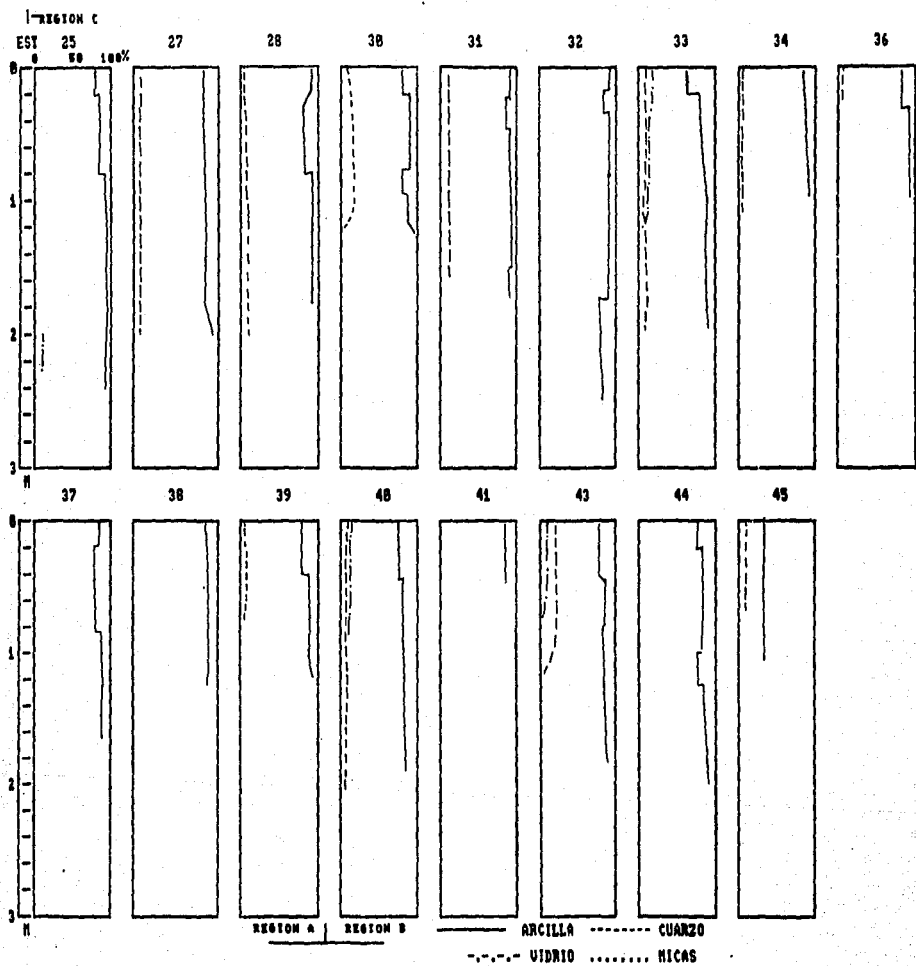


FIGURA 5.9 - CONTINUACION



difracción de Rayos X realizados por Lozano-Santa Cruz et al. (1988), muestra un dominio de montmorillonita en las regiones A y B, tanto en superficie como a profundidad. Mientras que para la región C, domina la illita en la fracción arcillosa, a todo lo largo de las columnas muestreadas. Por lo que respecta al cuarzo y caolinita, se detectaron en el análisis con valores constantes entre un 10 % y 15% en las arcillas. (figura 5.10).

Los detritos que constituyen a la fracción limosa, (figura 5.9), son principalmente cuarzo, vidrio y micas, cuyas concentraciones no son mayores del 15 % a excepción de la estación 5 donde existen concentraciones de hasta un 25 % de cuarzo entre los 20 y 100 cm de profundidad del sedimento, debido quizás a aportes continentales llevados al lugar de depósito correspondiente a esta estación por corrientes oceánicas.

Depositado en ese lugar, cabe mencionar, que existen columnas de sedimentos donde los detritos son trazas o están ausentes y entonces la fracción limosa está compuesta por constituyentes biogénicos y/o óxidos.

La fracción biogénica (figura 5.11) en la región A está constituido por testas de organismos silíceos en proporciones variables a lo largo de las columnas muestreadas con un comportamiento muy similar a los organismos calcáreos que también son abundantes con una anomalía en la estación donde se presentan valores de hasta casi el 50% de organismos calcáreos entre los 100 y 120 cm de profundidad dentro de la columna de sedimento.

Las regiones B y C denotan una ausencia muy clara de organismos calcáreos y en caso de existir estos son solo trazas no mayores del 1%, el contenido de organismos silíceos en la parte central y norte presentan un aumento de silíceos entre los 20 y 80 cm de profundidad en el sedimento con espesores variables y una concentración de hasta 25 % de sílice, a profundidades mayores el contenido de organismos silíceos disminuye considerablemente o desaparece. En la parte sur de la región C existe una concentración promedio de 15 % de organismos silíceos y que disminuye hasta desaparecer a partir de los 50 cm de profundidad de la columna. Para la región B el comportamiento de los

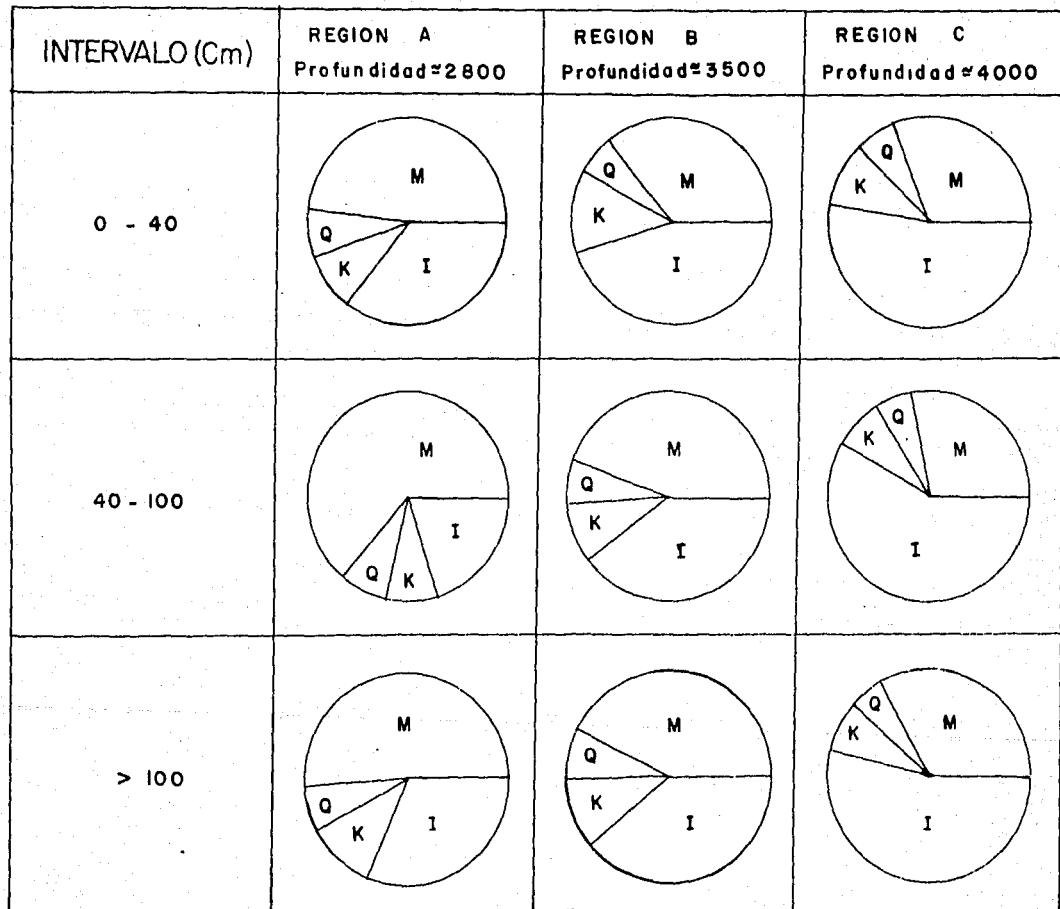


Figura 5.10 Composición mineralógica de la fracción arcillosa (Tomado de Lozano-Santa Cruz et al, 1988).

FIGURA 5.11 - DISTRIBUCION DE CONSTITUYENTES BIOTICOS DE LA FRACCION LIMOSA EN LA COLUMNA DE SEDIMENTOS

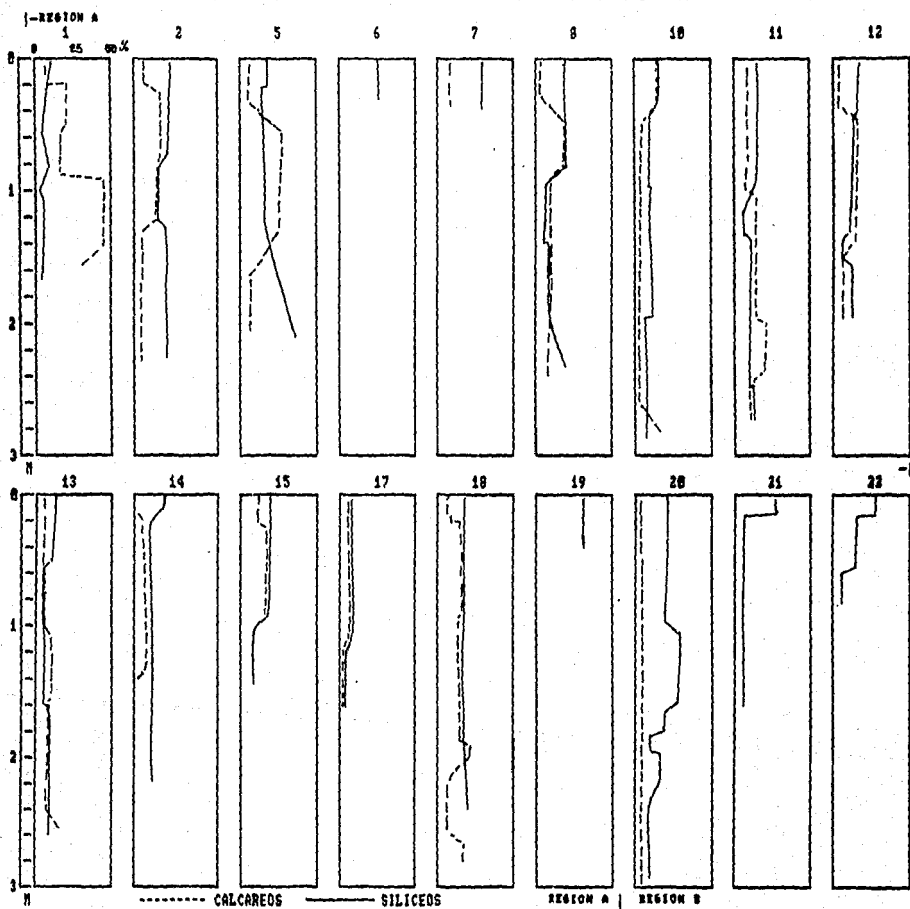
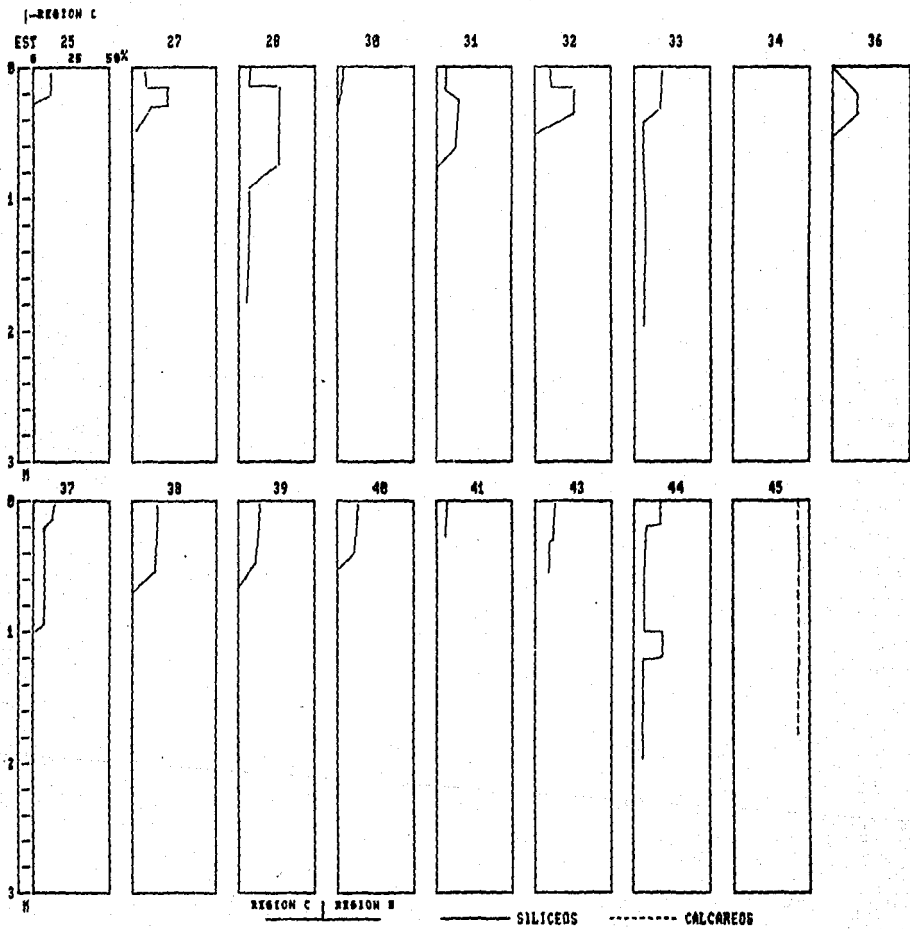


FIGURA 5.11 - CONTINUACION



organismos silíceos es parecido pero existen algunas anomalías como lo es la estación 20 donde existe un aumento hasta de un 35 % de silíceos y presencia de organismos calcáreos y en la estación 45 donde se tiene un promedio de casi 50% de organismos calcáreos a todo lo largo de la columna de los sedimentos, estando esta estaciones cerca de la dorsal y a profundidades de 2000 m aproximadamente, ubicándose esta estación por arriba del nivel de compensación de los carbonatos, lo mismo que sucede en la región A.

La composición de los biogénicos silíceos está prácticamente dominada por los radiolarios sobre las diatomeas y con 1% aproximadamente de espículas de esponja y silicoflagelados. La parte calcárea esta compuesta nanoplancton, principalmente por coccolitoforidos, aunque también hay presencia de foraminíferos hasta un 2 %.

A los sedimentos autigénicos, prácticamente se les puede considerar en dos grupos: los óxidos y no óxidos (Zeolitas, palagonita, glauconita, etc.). La distribución de los sedimentos autigénicos (figura 5.12), en la región A es prácticamente constante (menor al 5% e inclusive esta ausente a profundidad, indicando los cambios de oxidación-reducción del área a profundidad en el sedimento. Existiendo concentraciones anómalas en la estación 1 y 5 .

Para la región B existen un rango promedio entre el 10 y 30% y constante a lo largo de la columna de sedimentos muestreada con algunas anomalías, sobre todo en la estación 37 donde existe hasta un 50 % de óxidos.

Edad de los sedimentos.

De acuerdo a los estudios de micropaleontología y paleoceanografía (Carranza-Edwards, 1987) efectuados en el núcleo de la estación 8 y 44, y 33, muestran que para el núcleo 8 ubicado en la parte central de la región A , el límite Holoceno-Pleistoceno se encuentra a los 30 cm de profundidad en la columna , calculándose una tasa de sedimentación en el Holoceno de

FIGURA 5.12- DISTRIBUCION DE CONSTITUYENTES AUTIGENOS DE LA FRACCION LIMOSA EN LA COLUMNA DE SEDIMENTOS

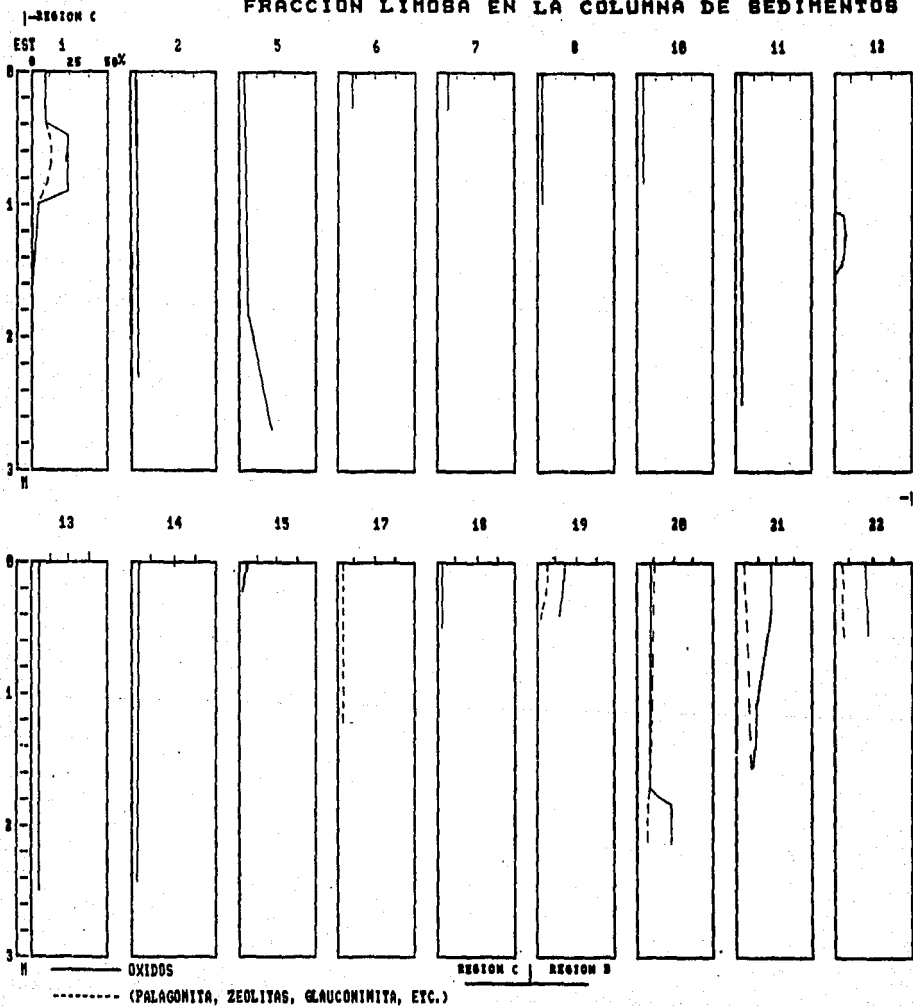
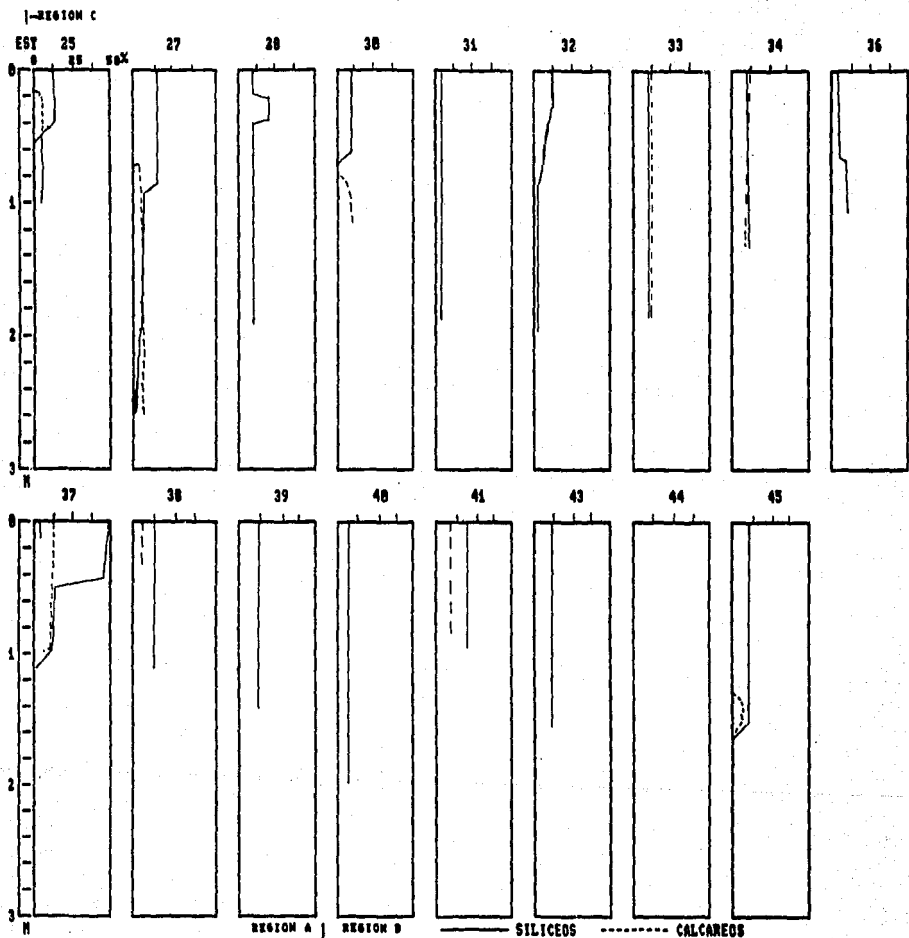


FIGURA 5.12 - CONTINUACION



2.72 cm/1000 años. Para la estación 44, ubicada en la región B, el contacto Holoceno-Pleistoceno se encuentra a los 20 cm , estimándose una tasa de sedimentación de 1.81 cm/1000 años. En la estación 33, ubicado en la parte central de la región C , el límite Holoceno- Pleistoceno se encuentra a 12 cm de profundidad, con una tasa de sedimentación para el Holoceno de 1.09 cm/ 1000 años.

Así pues, se aprecia una clara disminución de las tasas de sedimentación hacia las partes mas alejadas del continente, que son las zonas de mayor profundidad donde el aporte de sedimentos depende de la actividad biológica, del transporte de sedimentos por corrientes, de la actividad volcánica y de los fenómenos autigenéticos.

La composición de los sedimentos y su edad están indicando que pertenecen a sedimentos de la Formación Clipperton en la Unidad de Oozes silíceos (tabla 2.5).

CAPITULO B. -DISCUSION DE RESULTADOS

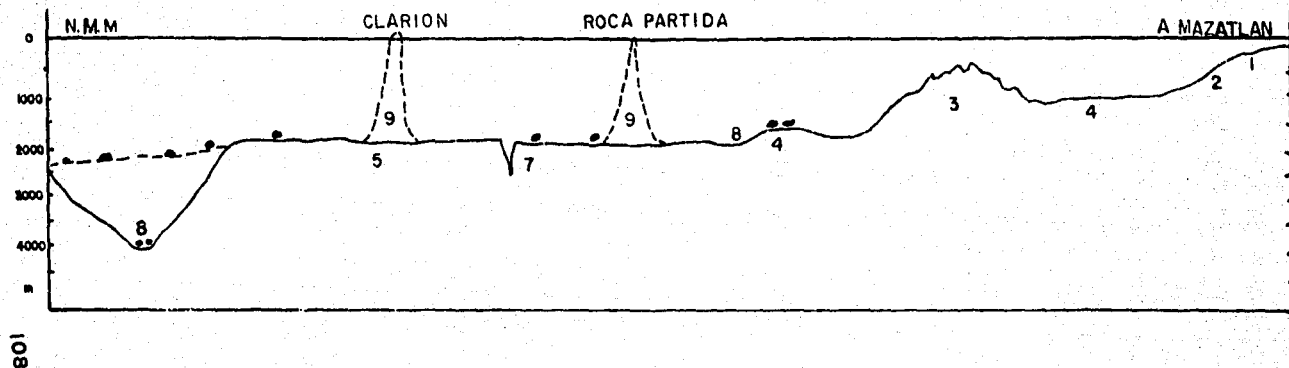
La génesis y crecimiento de los nódulos, se presenta bajo diferentes condiciones físico-químicas tanto locales como regionales, lo que hace complejo el establecer los mecanismos precisos que dan lugar a la formación de los nódulos polimetálicos.

Del análisis de resultados y la información bibliográfica se plantean algunas de las características sobre el origen, distribución, composición y crecimiento de los nódulos polimetálicos.

Considerando, las diferentes morfoestructuras presentes en el área de estudio (figura B.1), se puede ver claramente una amplia distribución de los nódulos, tanto en las laderas y en las superficies de mesetas, como en la planicie abisal ondulada y con lomeríos, y en la planicie abisal con lomeríos y montañas, encontrándose una mayor concentración hacia la región C, en las proximidades de la zona de máximo interés comercial propuesto por Piper et al. (1979).

En la depresión MIMAR, se tuvo muy buena recuperación de nódulos en todos los núcleos recolectados, sobre todo si se toma en cuenta el diámetro del nucleador de gravedad que es de 4 pulgadas, tanto superficiales como sepultados, con un promedio de 8 nódulos por estación, con un promedio de 4 cm de diámetro. La mayoría de ellos están muy fragmentados, lo que hace suponer, una posible acción mecánica por corrientes de fondo que se desplazan hacia el Oeste, la cual existe según Amos, et al. (1973). Es probable además, que parte de estos nódulos se formen en áreas cubiertas por la predominancia de lodos silíceos que al parecer están muy ligados con el origen de los nódulos, considerando, también la posibilidad, de que la depresión MIMAR sea reflejo de grandes esfuerzos tensionales que actúan dentro de la Zona de la

Figura 6.1 HORFORELIEVES DEL PISO OCEANICO DEL PACIFICO MEXICANO.



- 1 Plataforma Continental.
- 2 Laderas de Incl. débil a fuerte.
- 3 Dorsal
- 4 Laderas y superficie de meseta
- 5 Planicie abisal con lomerios y montañas

- 6 Planicie abisal ondulada y con lomerios.
- 7 Zona de fractura.
- 8 Depresiones de fondo plano
- 9 Montañas de más de 1000 m
- Nódulos Polimetálicos.

Fractura Clarión, donde posible actividad hidrotermal y volcánica aporte parte de la materia prima de los nódulos polimetálicos (Carranza-Edwards *et al.*, 1987).

La mayoría de los nódulos recolectados en el Pacífico Oriental Ecuatorial, son superficiales los cuales se desarrollan en la interfase agua-sedimento, mientras que los sepultados son escasos. Parte de los nódulos recuperados en la Campaña MINAR II se encuentran en la interfase agua-sedimento (50 %), sin embargo, es notable observar (figura 4.4) que aproximadamente el 35% de ellos se encuentra en un intervalo de 10 a 50 cm y el resto se encuentran sepultados a diferentes intervalos. Estas variaciones de profundidad de los nódulos, quizás se deba a variaciones en la tasa de sedimentación calculadas en 2.72 cm/1000 años (región A), 1.81 cm/1000 años (región B) y 1.09 cm/1000 años (región C), a causa de posibles eventos volcánicos que se hayan suscitado sobre todo en la región C que se encuentra rodeada de 4 volcanes submarinos y en la región B por vulcanismo del Archipiélago de las Revillagigedo. O bien, por cambios en el aporte de biogénicos, que por variaciones paleoceanográficas se haya alterado las diferentes tasas de sedimentación.

Por otro lado, en el total de nódulos recolectados en la Campaña MINAR II, la textura dominante es granular y lisa; que de acuerdo con Cronan (1980), los nódulos superficiales de la zona Noreste del Pacífico Ecuatorial, comunmente presentan, texturas lisa en la parte expuesta al mar donde las corrientes de fondo produzcan un desgaste y textura granular en la parte de contacto con los sedimentos donde se encuentran. En lo que respecta a los nódulos sepultados que son principalmente de textura granular y lisa/granular, el aspecto granular e inclusive rugoso pueden ser debido a variaciones diagenéticas que disuelvan paulatinamente al nódulo, ya sea por cambios de oxidación a reducción dentro del

sedimento y agua intersticial o por alteración microbiológica.

La textura superficial, por otro lado también puede ser reflejo de las microestructuras, así como de la mineralogía dominante que presentan los nódulos durante su crecimiento.

La forma regular que presentan la mayoría de los nódulos, tanto superficiales como sepultados, parece estar controlada por la forma del núcleo, sobre todo en los nódulos que presentan una sola capa cortical de óxidos, mientras que, aquellos que presentan hasta tres capas de óxidos en su parte cortical y que por lo general son de núcleos pequeños, su forma tiende a ser esférica (Nódulos No. 3 y 73).

Nódulos de una sola capa y de dos capas en su parte cortical, tienden hacia las formas esféricas (figura 4.2), conforme van creciendo y se están acumulando en un proceso casi continuo capas concéntricas de óxidos.

El rango de tamaño dominante de los nódulos de MIMAR II (1.13 y 4.25 cm) es ligeramente menor, que el rango de tamaño dominante (2 a 6 cm) encontrado por Sorem *et al.* (1979) para el Pacífico Ecuatorial, debiéndose quizás a que estos últimos tengan una mayor edad puesto que se encuentran en regiones más antiguas que los nódulos de la región C, donde son más abundantes los nódulos que tienen un rango de tamaño de 1 a 4 cm. Sin embargo, gran parte de los nódulos de la región C presentan un núcleo compuesto de un fragmento de nódulo, que a su vez, presenta otro núcleo, también constituido por un fragmento de nódulo, lo que hace suponer que el crecimiento de estos nódulos se ve interrumpido por lo menos en dos ocasiones por una fragmentación de los mismos nódulos debido quizás a una erosión por corrientes oceánicas que se dan en esta región C. Por otro lado los nódulos de mayor tamaño encontrados en la región B cerca de la Dorsal del Pacífico Oriental (est.19), pueden deber su tamaño al crecimiento continuo del nódulo, en un período de tiempo muy largo quizás tan antiguos como los nódulos de la región C, o bien que su tamaño se deba a un gran aporte de

elementos químicos en un tiempo menor por la cercanía a la zona hidrotermal de la Dorsal en el paralelo 21°.

El crecimiento de los nódulos también puede estar afectado por las corrientes oceánicas como es el caso de la región C o por un aumento de la tasa de sedimentación que pueda inhibir el crecimiento de los nódulos ,además de sepultarlos.

En lo que concierne a la corteza de los nódulos , se observan capas de estructura dendrítica y/o laminar descritas por Sorem y Fewkes (1977), existiendo nódulos que presentan hasta tres capas o etapas de crecimiento, separadas por una capa arcillosa o por discordancias entre las capas, lo que indicaría algunas variaciones en la tasa de sedimentación o fenómenos de erosión que provoquen discordancias.

Dentro del Pacífico, (Sorem et al., 1979, Halbach y Ozkara, 1979), mencionan que algunas formas de nódulos muestran una corteza dendrítica, en contacto con los sedimentos y una corteza laminar en contacto con el agua de mar, marcando diferencias en las características químicas y mineralógicas correspondientes a la precipitación de capas concéntricas del tipo diagenético (dendrítico) y del tipo hidrogénético (laminar).

De acuerdo, con lo anterior, los nódulos superficiales y sepultados presentan una predominancia de estructuras dendríticas, aunque existen algunos nódulos (Nos. 8 y 13) de textura laminar, y otros nódulos de estructuras dendríticas con intercalación laminar (No. 80, 73, 74 y 78)(tabla 4.3), mostrando así que gran parte de los nódulos recolectados en el área de estudio son de origen diagenético (No. 2, 8, etc), escasos son los formados por origen hidrogénético (Nos. 13 y 8) y la otra parte presenta una mezcla de ambos orígenes como se puede observar en los nódulos sepultados, donde una alteración diagenética posterior al sepultamiento puede producirse y modificar el origen acuoso primario de los nódulos.

El análisis de las microestructuras muestra que existe una diversidad de ellas, siendo las más comunes las de tipo dendrítico y columnar , con algunas variantes, como por ejemplo

microestructuras moteadas, masivas, compactas. La composición de estas microestructuras muestra un predominio amplio de óxidos cristalinos (dendríticas) sobre los amorfos (columnares).

Sorem y Foster (1973) mencionan una similitud de estructuras internas, en nódulos de diferentes localidades (lámina 4.2), separadas por distancias de hasta 300 km, como pudo haber pasado en la estación 19 y 45 donde probablemente las mismas condiciones sedimentológicas y de profundidad son muy similares, sin embargo, puede darse el caso de que en una misma estación se tengan diferentes nódulos con diferentes microestructuras, (est. 45 y 22) (tabla 4.6), aunque generalmente para una estación, si se muestran las mismas microestructuras para diferentes nódulos. Es probable que todas estas variaciones en una misma estación se deban a que coexistan nódulos acarreados de otras partes aledañas con nódulos formados in situ (ejemplo nódulos de la estación 22).

Por lo que se refiere a la mineralogía, de acuerdo al análisis minerográfico de las microestructuras se notó la predominancia de óxidos cristalinos (todorokita y birnesita con mayor contenido de Ni y Cu, sobre todo en los nódulos sepultados, mientras que para los nódulos localizados en la interfase agua-sedimento, presentan óxidos amorfos ricos en Fe, Ti y Co, la fuente de estos elementos, considerando su carácter hidrogénético y/o diagenético de los nódulos, va a quedar también reflejado en el tipo de microestructuras que se formen, ya que las microestructuras laminares, columnares y compactas, producirán una textura lisa, con elementos de origen hidrogénético con Ti, Fe y Co. Así por ejemplo los nódulos de la estación 27 presentan las más altas concentraciones de Fe (Rosales-Hoz, 1989), que se presentan en nódulos lisos hacia la parte norte de la región C. Mientras en la depresión MIMAR existe un predominio de texturas granulares que se asocian a (tabla 4.1) microestructuras dendríticas ricas en óxidos cristalinos con mayor contenido de Ni y Cu. En la región B existe una combinación en diferentes proporciones de nódulos formados por aporte hidrogénéticos como

diagenéticos.

De acuerdo con Martín-Barajas (1988), los nódulos diagenéticos se forman en la interfase agua-sedimento, o dentro de sedimentos biogénicos silíceos recientes, con una tasa de crecimiento relativamente elevada, en un ambiente de sedimentación continua, donde la removilización de Mn del sedimento, produce las estructuras dendríticas de óxidos cristalinos ricos en Ni, Cu y Zn. Estas estructuras representan un depósito diagenético primario y se les encuentra en nódulos de la Depresión MINAR II.

La diagénesis tardía producto del enriquecimiento de metales, provoca un reemplazamiento de fracturas, un reemplazamiento del núcleo y de sedimentos intrabotroidales (tabla 4.7)(lámina 4.5).

Las concreciones hidrogenéticas resultan del flujo de partículas coloidales sobre nódulos expuestos sobre una zona de débil o nula acumulación de sedimentos, ya sea por falta de aporte o por corrientes de fondo que no permiten el depósito de sedimentos, generalmente los nódulos hidrogenéticos marcan un hiatus estratigráfico dentro de la sedimentación normal (Martín-Barajas, 1988). Las microestructuras que se forman son laminares compuestas por óxidos amorfos de Mn, con hidróxidos de Fe y Si y trazas de Co, produciendo texturas lisas en estos nódulos hidrogenéticos. La región donde se presentan con abundancia es el área norte de la región C.

Los núcleos de los nódulos (lámina 4.3)(Tabla 4.5) son prácticamente de dos tipos: a) los de fragmentos de nódulos, a partir del cual se desarrolla nueva corteza con una, dos y tres capas, en el que se presenta un alto enriquecimiento de óxidos hacia el contacto con las capas. Parecen ser resultado de una amplia actividad erosiva en los fondos marinos que se puede dar en la morfología tan irregular que se tiene en el área de estudio, provocando un rompimiento de nódulos al sean acarreados hacia otras partes donde empiezan a crecer nuevamente, en los nódulos analizados se llegó a observar hasta otro núcleo interno de un

fragmento de nódulo dentro de un núcleo de fragmento de nódulo, y b) los núcleos formados por sedimentos semiconsolidados producto de la alta actividad vulcanosedimentaria del lugar, como sucede en la mayoría de este tipo de núcleos, o bien, por arcillas rojas, como son los nódulos de la estación 45 (No. 78) (lámina 4.5 e) y de la estación 22 (No. 6).

Los núcleos de sedimentos semiconsolidados presentan un enriquecimiento de oxihidróxidos de Fe que sirven como catalizador para la precipitación de óxidos de manganeso (Burns et Burns, 1977), las dendritas que se forman dentro de los núcleos semiconsolidados son de origen diagenético producto de la alta concentración de manganeso dentro del agua intersticial.

Los sedimentos superficiales que se tienen en la región A presentan una predominancia de limos arcillosos según estimación microscópica visual, presentando un contenido entre el 10 y el 30% de organismos silíceos y calcáreos y en ocasiones es mayor el contenido de organismos calcáreos (Est. 45). Lo que puede indicar primeramente que esta región se encuentra por arriba del nivel de compensación de los carbonatos, no así en la región B y C donde prácticamente desaparece el contenido de organismos calcáreos y los sedimentos pasan a ser de facies lodos (arcillas rojas) en la región C, lo que está indicando una influencia de actividad volcánica para esta región C (figura 5.2).

La fuente primaria de los sedimentos del área de estudio es prácticamente el plancton y la actividad volcánica que existió en una serie de volcanes a lo largo de la Fractura Clarión y los materiales volcánicos expulsados por la Dorsal del Pacífico Oriental. Además de un aporte detrítico proveniente de los continentes o de las islas que se encuentran en la región B. Otra posible fuente lo constituyen los sedimentos cósmicos.

La influencia del vulcanismo es muy importante desde dos puntos de vista como, la fuente de núcleos y como un agente mineralizador, ya sea a través de fenómenos hidrotermales o por aporte haimirolítico de las rocas volcánicas (Bourrier y

Alsac, 1981).

Los nódulos superficiales se encuentran asociados principalmente a lodos silíceos en la región B y la parte Sur de la región C, en lo que comprende la depresión NIMAR, mientras que en la parte Norte de la región C, los nódulos están asociados a lodos con un contenido relativamente alto (de 10 a 15 %O de óxidos (figura 5.2)

Los constituyentes de los sedimentos sepultados presentan algunas variaciones a profundidad, principalmente en la distribución biogénica, ya sea de organismos calcáreos como biogénicos, donde estas posibles variaciones, sean causa de cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos.

Es importante mencionar que se puede observar claramente un horizonte biogénico en la región C (figura 5.8), ubicado entre los 20 y 80 cm en la columna de sedimentos en la parte Norte, mientras que en la parte sur dentro de la depresión NIMAR está aflorando en la superficie, donde al parecer no existe una alteración de este tipo de sedimentos tal vez por ser una depresión con condiciones de baja energía, muy diferente a las partes que rodean a esta depresión donde parece existir corrientes relativamente importantes que estén alterando la composición de los organismos silíceos.

La distribución de sedimentos autigénicos a profundidad (figura 5.12) es de cierta manera constante con algunas anomalías muy locales.

Los nodulos dentro de la columna de sedimentos (figura 5.8) están asociados a sedimentos ricos en organismos silíceos a excepción de la estación 45 solamente que está asociado a organismos calcáreos principalmente con abundantes cocolitofóridos.

Parte de ellos se encuentran sobre lodos sobre todo en la parte central y norte de la región C, donde predominan texturas lisas (tabla 4.1) en los nódulos, lo que hace suponer un origen hidrogenético de estos nódulos por lo que el tipo de sedimento no

parece tener mucha relación en el proceso de crecimiento. No así, en el caso de los nódulos diagenéticos, donde se observa según Fewkes (1978) que los nódulos del Océano Pacífico Oriental, comúnmente crecen por adición de material coloidal rico en Hierro a partir del agua de mar e hidróxido de manganeso microcristalino de alguna otra fuente. El agua de poro en el sustrato debe ser muy importante, y en algunas áreas, las emanaciones hidrotermales pueden contribuir con metales los cuales son incorporados en los óxidos de manganeso. También es posible que los óxidos de manganeso estén precipitando a partir del agua de mar por efectos catalíticos de silicatos de grano fino.

De acuerdo con la revisión bibliográfica se esperaba que en este estudio los nódulos fueran encontrados en la región C, sin embargo, a partir de la estación 19 en la región B se empezaron a obtener nódulos los cuales vienen a representar los de mayor tamaño recuperados con nucleador de caja, muy cerca de la Dorsal del Pacífico Oriental. Sin embargo, de acuerdo con Carranza et al. (1987 y Rosales-Hoz (1989) se considera a la depresión NIMAR, como una de las áreas más atractivas en cuanto a la concentración de nódulos ricos en Ni y Cu (figura 2.1), donde los cuatro núcleos obtenidos presentan nódulos, tanto superficiales como sepultados, si se considera que el núcleo tiene un diámetro de 4 pulgadas, debe pensarse en que casi el 98 % mínimo del piso oceánico está cubierto por nódulos, calculándose 10 kg/m² en la depresión NIMAR, muy similar a la zona de mena, ubicada entre las Zonas de Fractura Clarión y Clipperton donde se determinó casi 12 kg/m² (Mc Kelvey, et al., 1979).

CAPITULO 7. -CONCLUSIONES

- La forma predominante de los nódulos superficiales y de los sepultados es la regular, presentando una tendencia hacia las formas esféricas. La forma depende principalmente de la forma del núcleo y de los rangos de acumulación de capas concentricas de óxidos: una mayor acumulación produce una tendencia hacia las formas esféricas.

- El tamaño de los nódulos varia desde 1 cm hasta 13 cm con un promedio de 4 cm, y depende de la antigüedad del nódulo y del aporte de elementos.

- Las condiciones del medio deposicional como son la erosión por corrientes de fondo y un aumento en la tasa de sedimentación pueden inhibir el crecimiento de los nódulos.

- La textura dominante es la granular y lisa; asociándose las texturas lisas con las partes expuestas al agua marina y las texturas granulares con el contacto con los sedimentos. La textura también depende de las microestructura. (microestructuras dendríticas-textura granular y microestructuras laminares-textura lisa).

- La corteza de los nódulos puede ser de una sola capa o hasta de tres capas, con estructuras megascópicas dendríticas y/o laminares. Se observa que los nódulos de origen diagénético se relacionan con estructuras dendríticas y nódulos de origen hidrogénico con estructuras laminares. Las estructuras más comunes son las dendríticas tanto en nódulos sepultados como en los superficiales.

- Las microestructuras observadas son de tipo dendrítico y columnar, asociadas a óxidos cristalinos y a óxidos amorfos respectivamente. Las microestructuras predominantes son las dendríticas.

- La similitud entre microestructuras puede darse a nivel de nódulos de diferentes estaciones o de la misma estación, así mismo, puede no existir ninguna similitud entre nódulos de una misma estación, lo que puede deberse a dos orígenes diferentes. Eventualmente las corrientes de fondo podrían llevar a un sitio determinado nódulos de otras áreas con diferente origen.

- Los análisis minerográficos muestran un mayor contenido de óxidos cristalinos (todorokita y birnesita con mayores contenidos de Ni y Cu, sobre todo en los nódulos sepultados, asociada a microestructuras dendríticas, moteadas, que producen una textura granular en nódulos de origen diagenético, mientras que los óxidos amorfos ricos en Fe, Ti y Co, producen microestructuras columnares, laminares, y compactas, comunes en nódulos de textura lisa, más frecuentes en los nódulos superficiales y que generalmente son de origen hidrogénico.

- La diagénesis tardía que presentan algunos nódulos se manifiesta como un reemplazamiento de óxidos amorfos por óxidos cristalinos en fracturas, en el núcleo y en los sedimentos interbotridales.

- Los núcleos son predominantemente de dos tipos: 1) fragmentos de nódulos que implican fenómenos erosivos muy fuertes que produzcan el rompimiento de nódulos preexistentes y 2) sedimentos semi-consolidados principalmente de origen vulcanosedimentario.

- Los sedimentos son principalmente de origen volcánico formando arcillas y otros detritos; biogénicos principalmente de organismos silíceos y calcáreos; y sedimentos autigénicos principalmente

óxidos.

- La región A presenta sedimentos biogénicos y calcáreos por encontrarse arriba del nivel de compensación de carbonatos, con algunos sedimentos lodosos del tipo de arcillas rojas. La región B presenta un predominio de lodos silíceos y la región C predominan lodos de origen volcánico en su parte central, con sedimentos silíceos alrededor de esta región sobre todo en la depresión MINAR .

- Las columnas de sedimentos muestreados presentan algunas variaciones composicionales a profundidad, siendo los sedimentos biogénicos los que presentan mayor variabilidad porcentual de sus constituyentes a causa de posibles cambios paleoceanográficos o paleoclimáticos.

- Se presenta un horizonte de lodos silíceos en la región C entre los 20 y 80 cm de profundidad dentro de la columna de sedimentos, subyaciendo a lodos volcánicos, con un alto potencial de nódulos. Como es el caso en la depresión MINAR donde este horizonte se encuentra aflorando, y se tiene una cantidad considerable de nódulos.

- En general los nódulos tanto superficiales como sepultados presentan una asociación con sedimentos ricos en sílice que hacen la función de un catalizador de óxidos de manganeso provenientes del agua intersticial o de la columna de agua suprayacente. Algunos nódulos se encuentran asociados con lodos ricos en óxidos sobre todo en la parte central y norte de la región C, predominando los nódulos con texturas lisas, que reflejan un origen acuoso.

- El encontrar varios de los nódulos sepultados conservando sus características texturales casi intactas sobre todo los que

presentan texturas lisas , hacen suponer que debió haber existido un repentino cambio en la tasa de sedimentación por vulcanismo o por otros aportes, lo que pudo permitir su conservación.

-Es importante resaltar que los nódulos se encuentran distribuidos ampliamente en las diferentes morfoestructuras del área de estudio en diferentes concentraciones. aumentando estas hacia la región C, aunque los tamaños mayores se localizan cerca de la Dorsal del Pacífico. por lo que se puede tratar de un sitio de interés económico, pues además se encuentra a profundidades menores que los de la región C. No obstante, también la Depresión NIMAR presenta un alto contenido de nódulos, estimándose abundancias similares a las encontradas en la región de interés comercial, más al oeste, comprendida entre las Fracturas Clarión y Clipperton.

- Se sugiere la realización de estudios similares en las vecindades del área de estudio, con el propósito de poder establecer totalmente la distribución de los nódulos polimetálicos dentro de la Zona Económica Exclusiva de México.

LITERATURA CITADA.

- AAPG., 1984. *Mineral Resource Map of the Circum-Pacific*. American Association of Petroleum Geologists.
- AMOS, A.F., GARSIDE, C., GERARD, R.D., LEVITUS, S., MALONE, T.C., PAUL, A.Z. AND ROELS, 1973. Study of the impact of manganese nodules on the seabed and Water Column. In: *Inter-University Program of Research on Ferromanganese DEposits on the Ocean Floor Phase I Report*, National Science Foundation, IDOE, Washington, D.C., pp. 221-284.
- ARRHENIUS, G.D.S., 1963. Pelagic Sediments, In: M:N: Hill Ed. *The Sea*, 3, Interscience, New York, N.Y., pp 658-727.
- BARNES, S.S., 1967. *The formation of oceanic ferromanganese nodules*: Ph. D. Thesis. Scripps Inst. Oceanography, UCSD. La Jolla, Calif. 68 p.
- BEURRIER M y ALSAC C., 1961. Environnement volcanique et role du volcanisme dans la genese des nodules polymetalliques. En: BRGM, *Contribution a l'etud des nodules polymetalliques de la zona Clarion-Clipperton*, Document no. 28, 130 p.
- BURNS, V.M. Y BURNS, R.G., 1977. *Diagenetic features observed inside deep sea manganese nodules from the North Equatorial Pacific: Scanning Electron Microscopy*, v. I, P. 248-282.
- CALLENDER, E. Y BOUSER, C.J., 1980. Manganese and cooper geochemistry of interstitial fluids from manganese nodule rich pelagic sediments of the northeastern equatorial Pacific Ocean: *Amer. J. Sci.*, v.280, p. 1063-1096.
- CARRANZA-EDWARDS A., 1966. *Investigacion sobre origen procesos y distribucion de minerales del piso oceanico del Pacifico en la zona economica exclusiva de Mexico*. A. Carranza-Edwards, Coordinador responsable. Tercer informe, Proyecto UNAM-CONACYT, (Julio, 1966). Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Auton. Mexico.
- CARRANZA-EDWARDS A., 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. Informe técnico final, Proyecto UNAM-CONACYT, (Enero, 1987). Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Auton. México.
- CARRANZA-EDWARDS, A., ROSALES-HOZ, L. VILLASENOR-CABRAL, M.G., LOZANO-SANTA CRUZ, R., Y HORNELAS-OROZCO, Y. 1986. Sulfuros metálicos submarinos al sur de la península de Baja California, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, 13(1), p. 287-296.
- CARRANZA-EDWARDS, A., A.Z. MARQUEZ-GARCIA Y E.A. MORALES DE LA GARZA, 1987. Distribución y características físicas externas de nódulos polimetálicos de un sector del Pacífico Mexicano. *Soc. Mex. Mineral.*, 3 (1): 78-94.
- COOK, H.E., 1978. North American Stratigraphic Principles as Applied to Deep-Sea Sediments: *Bull. AM. ASC. PETR. GEOL.*, VOL. 59, p. 817-837.
- COLE, T.G., ET SHAW, H.F., 1983. The nature and origin of authigenic smectites in some recent marine sediments. *Clay mineral.* v.18, p. 239-252.
- CORLISS, J.B., 1971. The origin of metal-bearing hidrothermal solutions: *J. Geophys. Res.*, v.76, p. 8128-8138.
- CORLISS, J.B., DYMOND, L., LYLE, M. Y CRANE, K., 1978. Sediment mounds hhydrothermal ferromanganese deposits near the Galapagos Rift: *Earth Planet. Sci. Lett.*, v.40, p. 12-24.
- CRONAN, D.S., 1977. Deep sea nodules-distribution and geochemistry, In: Glasby, G.P. ed., *Marine Manganese Deposits*: New York, Elsevier, p. 11-44.
- CRONAN, D.S., 1980. *Underwater minerals*, Academic Press, Londres, 382 p.
- CRONAN, D.S. Y TOOMS, J.J., 1987. Geochemistry of manganese nodules from the N.W., Indian Ocean, *Deep Sea Res.*, v.14, pp. 239-249.
- DYMOND, J., LYLE, M., FINNEY, B., PIPER, D.Z., MURPHY, K., CONRAD, R., PISIAS, M., 1984. Ferromanganese nodules from MANOP sites H, and R-Control of mineralogical and chemical composition

- by multiple accretionary process. *Geochim et cosmo chim. Acta*: 48., pp. 931-949.
- EHRlich, H. L., 1971. Bacteriology of manganese nodules, U. effect of hydrostatic pressure on bacterial oxidation of Mn + 2 and reduction of MnO₂: *Appl. Microbiol.* v. 21., p. 306-310.
- EMERSON, S. E., JAHNJE, R., BENDER, N., FROELICH, P., KLINKHAMMER, G., BAUSSER, C. Y SETLOCK, G., 1980. Early Pacific. In: Pore water nutrient and carbonate results. *Earth Plan. Sci. Lett.* v. 61. pp 220-232.
- FEWKES, R.H., 1978. *The origin of marine manganese nodules as determined by textural and mineralogical analysis*: Ph. D. Thesis (Unpubl.), Washington States Univ. Pullman. Wa. 169 p.
- FRAZER, J. Z., 1980. Resources in sea floor manganese nodules, *Deep Sea Mining*, Ed. Kildow, USA, pp. 41-83.
- GLASBY, G.P. ED., 1977. *Marine Manganese Deposits*, Elsevier, Amsterdam-Oxford, New York, 532 p.
- GREENSLATE, J., 1974. Microorganisms participate in the construction of manganese nodules: *NATURE*, v. 249, p. 181-183.
- GRUPO CYAMEX. 1980. *Naissance d'un ocean sur la dorsal du Pacifique Est*. CNEO. Imprimerie Strasbourg, 84 p.
- HALBACH, P. ET OZKARA, M., 1979. Morphological and geochemical classification of deep-sea ferromanganese nodules and its genetical interpretation. In: *La genese des nodules de manganese*. Coll. Inter. CNRS, n. 289: p. 77-88.
- HALBACH, P., SHERHAG, C., HEBICH, V. ET MARCHIG, V., 1981. Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific Ocean. *Mineral Deposita*, v. 16, p. 58-84.
- HANDSCHUNACHER, D.W., 1978. Post-Eocene plate tectonics in the Eastern Pacific: In Sutton G.H., Manghnani, M.H., and Moberly, R. (Eds.). *The Geophysics of the Pacific Ocean Basin and its margins*, *Am. Geophys Union Monogr*, 19: p.177-202.
- HEATH, G. ROOS, 1981. Ferromanganese nodules of the deep sea, *Economic Geology*, v. iv. pp 730-785.
- HOFFERT, M., 1980. Les argiles rouges des grands fonds dans le

- Pacifique Centre-Est. *These d'Etat, Sciences Geologiques*, no. 61: 197 p.
- HORN, D.R., HORN, B.M. Y DELACH, M.N., 1972. Ferromanganese deposits of the North Pacific: National Science Foundation, *International Decade of Ocean Exploration, Technical Report No. 8*, p. 1-15.
- JAHNKE, R., HEGGIE, D., EMERSON, S. Y GRUNDMANIS, 1982. Porewaters of the central Pacific Ocean: nutrients results. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 61. p. 233-256.
- JOHNSON, C.E. Y GLASBY, G.P., 1968. Mossbauer determination of partide size on microcrystalline iron-manganese nodules: *NATURE*, v.222. p.376-377.
- LOZANO SANTA-CRUZ R., ALTUZAR-COELLO P., CARRANZ-EDWARDS A. Y ROSALES-HOZ L., 1988. Distribución de minerales en la fracción arcillosa de sedimentos del Pacifico central Mexicano. Remitido para su publicación a *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM*.
- LUGO HUBP, J., 1985. *Morfoestructuras del Fondo Oceánico Mexicano*. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, México, No. 15: 39 p.
- LYLE, M., 1982. Estimating growth rates of ferromanganese nodules from chemical compositions: implications for nodule forming processes. *Geochim. Cosmochim. Acta* 46. p. 2301-2308.
- LYNN, A.C. Y BONATTI, E., 1965. Mobility of manganese in diagenesis of the deep sea sediments, *Mar. Geology.*, v.3. p. 457-474.
- MARTIN-BARAJAS, A., 1988. *Genese des champ de nodules polymetaliques dans le Bassien Indien Central*. *These Doct. Universite de Paris-Sud. Centre D Orsay*, 192 p.
- MARTINEZ-LOPEZ, M., 1989. Paleocceanografía y Bioestratigrafía cuaternaria de Policistinos en la región sur occidental del Golfo de California, Tesis, UACPyP del CCH, UNAM, México, D.F.
- Mc. CAVE, I.N., 1975. Vertical flux of particles in the ocean. *Deep Sea Res.*, v.22. p. 491-502.
- MC KELVEY, V.E., WRIGHT, N.A., ROWLAND, R.W., 1979. Manganese

- nodule resources in the northeastern equatorial Pacific. En Bischoff, J.L. y Piper, D.Z., (Eds), *Oceanography of the equatorial Pacific manganese nodule province*. Plenum Press, New York:747-762.
- MENARD, H.W., 1984. *Marine Geology of the Pacific*, New York, Mc Graw Hill, 271 p.
- MERO, J.L., 1985. *The mineral Resources of the Sea*, Amsterdam, Elsevier, 312 p.
- NACIONES UNIDAS, 1980. *Desarrollo de los recursos minerales del fondo del mar: Actividades recientes de los consorcios internacionales*. ST/esa, 107, New York, 18 p.
- PAUTOT, G. Y HOFFERT, M., 1984. Les nodules del Pacifique Central dans leur Environnement Geologique, Centre National pour la Explotation des oceans, no.26. p. 31.
- PIPER, D.Z., LEONG, K., y CANNON, W.F., 1979. Manganese nodules and surface sediment compositions: dome sites A, B and C. En : Bischoff, J.L. y Piper, D.Z. (Eds.). *Marine geology and oceanography of the Pacific manganese nodule province*. Plenum Press, New York:p.437-474 .
- RAAB, E.J., MEYLAN, M.A., 1977. Morphology. In. *Marine manganese deposits*. Glasby, G.P. (Ed.) Elsevier, Amsterdam, p. 109-148.
- RAMIREZ-ARGAEZ, G., 1987. *Estudio de sedimentos del piso oceánico en un sector del pacífico Oriental*, Fac.Ing. UNAM, Tesis Profesional.
- RODRIGUEZ-URANGA, 1989. *Procesos y distribución de metales en sedimentos del piso oceánico del pacífico en la Zona Económica Exclusiva de México*, Fac.Química. UNAM, Tesis Profesional, 128 p.
- ROSALES-HOZ, 1989. *Investigación sobre origen, proceso y distribución de nódulos polimetálicos en una porción del Pacífico Central Mexicano*, UACPyP. del CCH, UNAM, Tesis Doctoral, 218 p.
- ROTHER, P., 1983. La Géologie marine, les ressources minérales de la mar. *Impact, Science et Société*, (3/4), p. 377-388.
- SAGUEZ, G., 1988. *Etude de la morphologie, de la structure interna et de la lithologie des nodules polymetaliques de la*

- zona Clarion-Clipperton. Relation avec l'environnement, These
 Doct., Universite de Bretagne Occidentale, 227 p.
- SOREN, R.K., FOSTER, A.R., 1972. Internal Structure of manganese
 nodules and implications in beneficiation, In: Horn, D.R.
 ed., *Ferromanganese deposits on the ocean floor*. NFS.
 Washington. D.C. p. 167-181.
- SOREN, R.F., FOSTER, A.R., 1973. Mineralogical, chemical, and
 optical properties and standards for study of growth features
 and economic potential of manganese nodules. In:
*Inter-University Program of Research on Ferromanganese
 Deposits of the Ocean Floor. Phase I Report*. National Science
 Foundation, IDOE, Washington, D.C., pp. 23-38.
- SOREN R.K., FEWKES R.J., 1977. Internal characteristics. In:
 Glasby G.P., Ed. *Marine manganese deposits*. Elsevier,
 Amsterdam, p. 147-183.
- SOREN, R.K., FEWKES, R.H., MCFARLAND, W.D., et REINHART,
 W.R., 1979. Physical aspects of the growth environment of Mn
 nodules in the Horn Region, East equatorial Pacific Ocean.
 In: *La genese des nodules de manganese, Colloques Intern, du
 CNRS N. 289*, pp. 61-76.
- TIXERONT, M., 1978. Polymetallic Nodules, Recent Advances in
 Exploration, *Seminar on offshore mineral Resources, october
 23r-27th, Orleans, France*.
- TUREKIAN, K.K., COCHRAN, J.K., KRISNASEANI, J., LANFORD, W.A.,
 PARKER, P.D., Y BAVER, K.A., 1979. The measurement of ^{10}Be
 in manganese nodules using a Tandem Van de Graff
 acelerator. *Geophys. Res. Lett.* v.6. p. 417-420.
- TURNER, S. Y BUSECK, P.R., 1979. Todorokites-mineral or mixture?,
 Layer or tunnel structure?. High resolution TEM evidence:
Geol. Soc. Amer. Abstr. Prog. v.11. p.531.
- ZINGG, Th., 1935. Beiträge zur Schotteranalyse. *Schweiz. Min.
 Petrogr. Mitt.*, 15: p. 39-140. In: Glasby, G.P., 1977. *Marine
 Manganese Deposits*, Elsevier Oceanography Series 15, p.
 109-146.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Arturo Carranza Edwards, Tutor Académico y director de tesis y amigo, por sus valiosos consejos, opiniones y apoyo incondicional durante la realización de este trabajo y toda la Maestría.

A la Dra Leticia Rosales-Hoz, Dra Ma. Luisa Machain Castillo y el Dr. Eduardo Aguayo Camargo por sus importantes observaciones y comentarios en la revisión de esta tesis y en el desarrollo académico de la Maestría.

A las autoridades del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y de manera muy especial a toda la tripulación del B/O EL PUMA , por el apoyo brindado para la realización muy satisfactoria de la Campaña NIMAR II.

Al CONACyT , por la beca otorgada para la realización de esta Maestría.

A la Biol. Patricia por las observaciones efectuadas en el microscopio electrónico de barrido y analizador de rayos X.

Al Ing. Ricardo Salas Colunga, Ing. Alejandro Carrillo Bañuelos y Geog. Manuel Mendoza Cantú, por su amistad y apoyo vital en la elaboración de esta tesis.

A mis amigos Lalo, Alberto, Pedro, Vicente, Eduardo, Roberto, Adriana, Gloria, Meche, Andy, Rocio, Laura, Ella, Marcela, Ligia, Maythe, Susana y demás amigos incondicionales, que con su apoyo y ánimos, me hicieron llegar a un feliz término este trabajo.