



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

Unidad Académica de los Ciclos  
Profesional y de Posgrado  
Colegio de Ciencias y Humanidades  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

**ESPECIALIZACION MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN CIENCIAS DEL MAR**

## **INVESTIGACION SOBRE ORIGEN, PROCESOS Y DISTRIBUCION DE NODULOS POLIME- TALICOS EN UNA PORCION DEL PACIFICO CENTRAL MEXICANO**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS DEL MAR  
(ESPECIALIDAD OCEANOGRAFIA QUIMICA)**

P r e s e n t a :

**María Tomasa Leticia Rosales Hoz**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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

|   | PAG. |
|---|------|
| CAPITULO 1 INTRODUCCION                                   | 1    |
| CAPITULO 2 ANTECEDENTES                                   | 11   |
| CAPITULO 3 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO | 35   |
| CAPITULO 4 METODO DE TRABAJO                              | 44   |
| CAPITULO 5 RESULTADOS                                     | 63   |
| 5-1 ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES                  | 63   |
| 5-2 ANALISIS DE NUCLEOS DE SEDIMENTO                      | 105  |
| 5-3 ANALISIS DE ROCAS                                     | 132  |
| 5-4 ANALISIS DE NODULOS POLIMETALICOS                     | 142  |
| CAPITULO 6 DISCUSION                                      | 174  |
| CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                 | 198  |
| LITERATURA CITADA   | 202  |

## LISTA DE TABLAS

|             |   | PAG |
|-------------|---|-----|
| TABLA 2-1   | PRINCIPALES PARAMETROS MORFOLOGICOS DE<br>LOS NODULOS                           | 15  |
| TABLA 2-2   | CONCENTRACION PROMEDIO DE METALES EN<br>NODULOS PROCEDENTES DE DIFERENTES AREAS | 18  |
| TABLA 2-3   | CONCENTRACION PROMEDIO DE ELEMENTOS EN<br>NODULOS DE LOS DIFERENTES OCEANOS     | 25  |
| TABLA 2-4   | CLASIFICACION DE NODULOS SEGUN MEYER  | 34  |
| TABLA 3-1   | LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO                                      | 41  |
| TABLA 4-1   | LIMITES DE DETECCION DE METALES   | 49  |
| TABLA 4-2   | CONDICIONES ESTANDARD USADAS PARA ANALISIS<br>DE METALES POR ABSORCION ATOMICA  | 49  |
| TABLA 4-3   | INTERCALIBRACION DEL METODO ANALITICO PARA<br>METALES PESADOS                   | 57  |
| TABLA 4-4   | RELACION DE NODULOS RECOLECTADOS DURANTE<br>LA CAMPAÑA OCEANOGRAFICA MIMAR II   | 60  |
| TABLA 5-1-1 | COLOR DEL SEDIMENTO Y PORCIENTO DE<br>ARENA, GRAVA Y LODO                       | 64  |
| TABLA 5-1-2 | CONCENTRACION DE MINERALES EN ARCILLAS<br>DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES           | 68  |
| TABLA 5-1-3 | ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES  | 71  |
| TABLA 5-1-4 | VALOR PROMEDIO DE COMPOSICION EN SEDIMENTOS<br>SUPERFICIALES                    | 72  |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| TABLA 5-1-5  | COMPOSICION QUIMICA DE SEDIMENTOS<br>SUPERFICIALES                    | 73  |
| TABLA 5-1-6  | COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE LAS REGIONES<br>DE ESTUDIO Y APP      | 75  |
| TABLA 5-1-7  | RELACION DE OXIDOS DE ELEMENTOS DE LAS<br>REGIONES DE ESTUDIO Y APP   | 75  |
| TABLA 5-1-8  | COEFICIENTES DE CORRELACION DE METALES<br>EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES | 86  |
| TABLA 5-1-9  | PARAMETROS MEDIDOS EN AGUA INTERSTICIAL                               | 99  |
| TABLA 5-1-10 | INTERVALOS DE CONCENTRACION OBSERVADOS EN EL<br>AGUA INTERSTICIAL     | 103 |
| TABLA 5-2-1  | REACCIONES DE OXIDACION DE LA MATERIA ORGANICA                        | 118 |
| TABLA 5-2-2  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 5             | 121 |
| TABLA 5-2-3  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 18            | 121 |
| TABLA 5-2-4  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 20            | 122 |
| TABLA 5-2-5  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 22            | 122 |
| TABLA 5-2-6  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 25            | 123 |
| TABLA 5-2-7  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 36            | 123 |
| TABLA 5-2-8  | COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS<br>DEL NUCLEO 39            | 124 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| TABLA 5-2-9 | CONCENTRACION DE Mn Y Fe EN AGUA<br>INTERSTICIAL   | 127 |
| TABLA 5-3-1 | COMPOSICION DE ROCAS BASALTICAS DEL EPR  | 134 |
| TABLA 5-3-2 | COMPOSICION DE ROCAS DE DEPOSITOS HIDROTERMALES  | 134 |
| TABLA 5-3-3 | CONCENTRACION DE ELEMENTOS EN ROCAS DE<br>ISLA CLARION   | 139 |
| TABLA 5-4-1 | CARACTERISTICAS FISICAS DE NODULOS   | 143 |
| TABLA 5-4-2 | COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS SUPERFICIALES   | 146 |
| TABLA 5-4-3 | COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS SEPULTADOS  | 148 |
| TABLA 5-4-4 | CLASIFICACION DE NODULOS EN BASE A TEXTURA   | 159 |
| TABLA 5-4-5 | CLASIFICACION DE NODULOS POR COMPOSICION QUIMICA   | 164 |
| TABLA 5-4-6 | COEFICIENTES DE CORRELACION DE NODULOS   | 167 |
| TABLA 6-1   | RELACION DE ELEMENTOS USADOS EN EL MODELO<br>DE DYMOND   | 182 |
| TABLA 6-2   | FRACCION DE CADA ELEMENTO APORTADA POR<br>DIFERENTES FACTORES  | 184 |
| TABLA 6-3   | FRACCIONES EXPRESADAS EN %   | 185 |
| TABLA 6-4   | VALORES DE LA TABLA 6-3 AJUSTADOS AL 100 %   | 186 |
| TABLA 6-5   | RANGO, VALOR PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDARD<br>DE LOS APORTES DE ELEMENTOS POR DIFERENTES<br>FACTORES | 187 |

## LISTA DE FIGURAS

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| FIGURA 1-1   | AREA REGISTRADA POR DIFERENTES CONSORCIOS INTERNACIONALES PARA LA EXPLOTACION DE NODULOS | 10 |
| FIGURA 3-1   | AREA DE NODULOS POLIMETALICOS DE MAXIMO INTERES COMERCIAL                                | 36 |
| FIGURA 3-2   | AREA DE ESTUDIO  | 37 |
| FIGURA 3-3   | ZONAS GEOLOGICAS DE LA DORSAL  | 38 |
| FIGURA 3-4   | MORFOESTRUCTURAS DEL FONDO OCEANICO  | 39 |
| FIGURA 5-1-1 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Si EN LA REGION A   | 76 |
| FIGURA 5-1-2 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Al EN LA REGION A   | 76 |
| FIGURA 5-1-3 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Al EN LA REGION C   | 78 |
| FIGURA 5-1-4 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Al EN LA REGION B   | 79 |
| FIGURA 5-1-5 | RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE Fe Y Al EN SEDIMENTOS                              | 80 |
| FIGURA 5-1-6 | RELACION ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE Si Y Al EN SEDIMENTOS                              | 80 |
| FIGURA 5-1-7 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Fe EN LA REGION A   | 82 |
| FIGURA 5-1-8 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Fe EN LA REGION C   | 82 |

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| FIGURA 5-1-9  | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Ti EN LA REGION A            | 84 |
| FIGURA 5-1-10 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE TI EN LA REGION C            | 84 |
| FIGURA 5-1 11 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Mn EN LA REGION A            | 88 |
| FIGURA 5-1 12 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE MATERIA ORGANICA EN REGION A | 90 |
| FIGURA 5-1 13 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN REGION A       | 90 |
| FIGURA 5-1-14 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN REGION B       | 91 |
| FIGURA 5-1-15 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN REGION C       | 92 |
| FIGURA 5-1-16 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Cu EN LA REGION A            | 92 |
| FIGURA 5-1-17 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Cu EN LA REGION C            | 94 |
| FIGURA 5-1-18 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Ni EN LA REGION A            | 94 |
| FIGURA 5-1-19 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Ni EN LA REGION C            | 95 |
| FIGURA 5-1-20 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Co EN LA REGION C            | 95 |
| FIGURA 5-1-21 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Zn EN LA REGION A            | 97 |



|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| FIGURA 5-1 22 | GRADIENTES DE CONCENTRACION DE Zn EN LA REGION C                         | 97  |
| FIGURA 5-1-23 | DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE Fe EN NODULOS SEDIMENTOS Y AGUA INTERSTICIAL | 102 |
| FIGURA 5-2-1  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 5                                   | 108 |
| FIGURA 5-2-2  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 18                                  | 109 |
| FIGURA 5-2-3  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 20                                  | 110 |
| FIGURA 5-2-4  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 22                                  | 111 |
| FIGURA 5-2-5  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 25                                  | 112 |
| FIGURA 5-2-6  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 27                                  | 113 |
| FIGURA 5-2-7  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 33                                  | 114 |
| FIGURA 5-2-8  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 36                                  | 115 |
| FIGURA 5-2-9  | PARAMETROS DETERMINADOS EN EL NUCLEO 39                                  | 116 |
| FIGURA 5-3-1  | RELACION DE FeO/MgO VS TiO <sub>2</sub> EN ROCAS                         | 135 |
| FIGURA 5-3-2  | MAPA DESCRIPTIVO DE ISLA CLARION   | 135 |
| FIGURA 5-4-1  | ESTACIONES EN LAS QUE SE COLECTARON NODULOS                              | 149 |
| FIGURA 5-4-2  | FRECUENCIA DE CONCENTRACION DE METALES EN NODULOS                        | 151 |
| FIGURA 5-4-3A | CONCENTRACION DE Mn EN NODULOS EN BASE A POSICION GEOGRAFICA             | 152 |
| FIGURA 5-4-3B | CONCENTRACION DE Fe EN NODULOS EN BASE A POSICION GEOGRAFICA             | 153 |
| FIGURA 5-4-3C | CONCENTRACION DE Cu+Ni+Co EN NODULOS EN BASE A POSICION GEOGRAFICA       | 154 |
| FIGURA 5-4-4  | VARIACION EN LA COMPOSICION DE NODULOS EN UNA MISMA LOCALIDAD            | 156 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| FIGURA 5-4-5  | RELACION DE Mn ,Fe CON PROFUNDIDAD EN<br>NODULOS                                     | 157 |
| FIGURA 5-4-6  | RELACION DE CONCENTRACION DE Mn CON Cu Y Ni  | 168 |
| FIGURA 5-4-7  | CORRELACION DE Mn Y Fe   | 170 |
| FIGURA 5-4-8  | RELACION DE Mn CON Ni+Cu EN NODULOS  | 171 |
| FIGURA 5-4-9  | CLASIFICACION DE NODULOS EN BASE A Mn, Fe,<br>Cu+Ni                                  | 172 |
| FIGURA 5-4-10 | CLASIFICACION DE NODULOS EN BASE A Cu,Ni Y Co  | 172 |
| FIGURA 6-1    | CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A Mn,<br>Fe, Cu+Ni+Co                            | 175 |
| FIGURA 6-2    | CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A<br>Fe, Mn, Al                                  | 175 |
| FIGURA 6-3    | PERFIL DE METALES EN SEDIMENTOS EN TRANSECTO   | 177 |
| FIGURA 6-4    | CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A Mn+Co,<br>Zn ,Fe                               | 178 |
| FIGURA 6-5    | CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A<br>Cu, Ni, Co                                  | 178 |
| FIGURA 6-6    | APORTE DE METALES POR DIFERENTES FACTORES  | 190 |
| FIGURA 6-7    | RELACION Si/Al EN SEDIMENTOS   | 191 |
| FIGURA 6-8    | OBSERVACION EN EL MICROSCOPIO ELECTRONICO<br>DEL NODULO 65 DE LA EST. 39             | 193 |
| FIGURA 6-9    | RELACION Mn/Fe EN NODULOS Y SEDIMENTOS   | 196 |
| FIGURA 6-10   | RELACION ENTRE ABUNDANCIA DE NODULOS Y<br>CONCENTRACION DE METALES EN LOS SEDIMENTOS | 196 |

**TESIS REALIZADA EN EL  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
CIUDAD DE MEXICO  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
BAJO LA DIRECCION DEL DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS .**

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE : Dr. Arturo Carranza Edwards**  
**1er. Vocal : Dr. Eduardo Joaquín Aguayo Camargo**  
**2o. Vocal : Dr. Felipe Vázquez Gutiérrez**  
**3er. Vocal : Dr. David Terrell**  
**Secretario : Dra. Noráh Barba Behrens**  
**Suplente : Dr. Alejandro Yáñez Arancibia**  
**Suplente : Dr. José Guerrero García**

## RESUMEN

En el presente trabajo se llevaron a cabo estudios químicos en sedimentos, núcleos de sedimento, agua intersticial de los sedimentos, rocas de Isla Clarion, así como nódulos polimetálicos en un sector de la Zona Económica Exclusiva de México, localizado entre los meridianos 105 y 118 grados de longitud oeste y entre los paralelos 15 y 24 grados de latitud norte en el Pacífico Oriental.

Diversos parámetros fueron estudiados en las muestras, principalmente concentración de metales, los cuales fueron extraídos por una digestión ácida, usando temperatura y presión y cuantificados por absorción atómica.

El estudio de los sedimentos superficiales mostró diferencias apreciables en las diversas regiones de estudio; la Región A, mostró concentraciones hasta cuatro veces más alta de materia orgánica, concentraciones mayores de Zn, Fe y Cu así como una disminución en la concentración de Mn y Co. En la Región C se observan concentraciones altas de Fe, Mn, Cu, Ni y Co. En tanto que la Región B es un área de transición entre estas dos regiones. La aplicación del modelo de Dymond para evaluar los metales aportados por procesos hidrotermales, detríticos, autigénicos y biogénicos, mostró una fuerte influencia hidrotermal en la Región A, la cual se deja sentir también en la Depresión Mimar ubicada al sur de la Región C. En el norte de la Región C y en la Región B los principales mecanismos de aporte son aparentemente los procesos autigénicos y detríticos.

El estudio de los núcleos de sedimento de las diversas regiones de estudio mostró que el núcleo 5 ubicado en la Región A, muestra un comportamiento diferente al resto de núcleos estudiados, tiene concentraciones altas de Zn, así como una alta correlación de Zn con Mn que se atribuye al origen hidrotermal de estos elementos. El resto de núcleos muestran una alta correlación de Mn con Cu, Ni y Co lo que sugiere mecanismos de aporte diferentes.

El estudio de las rocas de la Isla Clarion mostró valores más altos de titanio a los reportados en rocas de origen hidrotermal de otras áreas; los sedimentos inmediatos a la isla reflejan valores más altos de titanio.

Los nódulos del presente estudio presentan concentraciones de hierro en el intervalo de 4.5 a 13.4 %, de manganeso de 6.14 a 33.5 %, de cobre de 0.16 a 0.82 %, de níquel de 0.13 a 0.85 % y de cobalto de 0.05 a 0.24 %. Aquellos nódulos localizados en la Depresión Mimar muestran las concentraciones más altas de Mn, Cu y Ni, en tanto que los nódulos localizados al norte de la Región C tienen concentraciones más altas de Fe y Co.

En base a la diferencia de composición de los nódulos es aparente que los procesos que los originan son diversos. Siendo uno de estos la contribución de metales por los procesos hidrotermales que se llevan a cabo a 21 grados Norte.

La Depresión Mimar ubicada 240 Km al SW de la Isla Clarión, resultó ser la zona con una mayor abundancia de nódulos en la cual además , los nódulos presentan los contenidos más altos de Mn, Cu y Ni .

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

#### 1-1.- CONSIDERACIONES HISTORICAS Y CIENTIFICAS .

El uso de los recursos naturales del planeta por el hombre es cada vez mayor, en particular eso sucede con los recursos no renovables, cuya importancia en la industria moderna es vital . Algunos de los depósitos terrestres se estan agotando, e incluso otros se han agotado, por lo que resulta imprescindible buscar depósitos alternos.

Desde tiempos antiguos la sal comestible se extraía del mar y en tiempos más recientes se inició la extracción de bromo y magnesio a partir del agua de mar. Así pues, el siguiente paso obligado es buscar en el océano los recursos no renovables necesarios para el desarrollo del hombre .

Los minerales del mar se pueden clasificar por su posición fisiográfica, ya que esta es determinante tanto en la facilidad de acceso a las muestras como en los costos para una posible extracción industrial. Así se tiene, que en la zona costera se presentan los minerales de placer, los cuales son depósitos minerales formados por la concentración mecánica de detritos minerales en ambientes subacuáticos; se pueden presentar en rios, lagos y playas. En la plataforma continental los principales recursos no renovables que se presentan son los hidrocarburos, el carbón y las fosforitas. Entre los recursos no renovables de mar profundo se tienen los nódulos polimetálicos, que son

precipitados químicos de óxidos de hierro y manganeso que contienen altas concentraciones de otros metales, tales como cobre, níquel, y cobalto.

El primer reporte concerniente a la existencia de los nódulos polimetálicos en las zonas oceánicas profundas fué durante el viaje del H.M.S. Challenger en 1872-1876 (Glasby, 1977). Los primeros nódulos fueron colectados a aproximadamente 300 Km al suroeste de la Isla de Ferro (Canarias) . Durante este viaje se recolectaron grandes cantidades de nódulos con una variedad de formas y de estructuras internas. Se encontró que los núcleos de los nódulos consistían de diversos materiales : piedra pómez, coral, nódulos de fosforita, cenizas volcánicas, palagonita, dientes de tiburón, etc. Dichos núcleos quedan rodeados de bandas concéntricas de óxidos de ferromanganeso.

Se estableció una velocidad lenta de crecimiento para los nódulos, y se observó en muchos de los casos que la forma externa del nódulo dependía de la forma del núcleo, y a menudo se complicaba por la incorporación de núcleos múltiples en un mismo nódulo.

Los mayores depósitos de nódulos polimetálicos se encontraron en las regiones de aguas profundas de los Océanos Pacífico e Índico, asociados a dientes de tiburón, a otolitos de cetáceos, a esferúlas cósmicas y a arcillas color pardo oscuro, todos estos son generalmente indicadores de baja energía de sedimentación. Por lo que respecta al Océano Atlántico, los únicos nódulos encontrados estaban en los alrededores de islas volcánicas.

Los análisis químicos mostraron que los principales componentes de

los nódulos eran los óxidos de hierro y manganeso, así como cantidades apreciables de sílice, aluminio, sodio y magnesio. Después de la expedición del Challenger, el interés en los nódulos fué esporádico y no fué sino hasta después de la segunda guerra mundial que se reinició el estudio de los nódulos. El descubrimiento del potencial económico de estos dió lugar a que durante la Decada Internacional de la Exploración Oceánica se diera una conferencia concerniente a "Los Depósitos de Ferro-manganeso del Piso Óceánico" que sirvió para coordinar todos los datos existentes de nódulos hasta esa fecha.

#### 1-2.- ORIGEN Y COMPOSICION DE LOS NODULOS .

Si bien se han realizado a la fecha gran número de estudios en relación a los nódulos, existen aun una serie de preguntas sin respuesta concernientes a la formación de los mismos . La distribución mundial de nódulos en el piso oceánico está en función de una serie de factores cuya existencia es necesaria para la formación de estos. Dichos factores son: 1) La velocidad de acumulación de sedimentos asociada a los nódulos debe de ser baja (Horn *et al.*, 1972b).

Así en áreas del océano profundo con velocidades de sedimentación del orden de 1-3 mm/1000 año es más común encontrar nódulos. En zonas donde hay un aporte alto de sedimentos, pero que su depósito está inhibido por la presencia de corrientes fuertes, es factible también encontrar nódulos; asimismo en zonas topográficamente altas donde la sedimentación es baja por la



acción de las corrientes, como en los montes marinos, se pueden presentar los nódulos. 2) Magnitud del tiempo transcurrido que ha permitido la acumulación de los óxidos metálicos. 3) Disponibilidad de posibles núcleos alrededor de los cuales las fases de óxido de hierro-manganeso puedan crecer. Sin embargo no está claro porque en algunos lugares la densidad de concentración es mayor y en otros es menor; como se mantienen en la superficie del piso oceánico sin ser cubiertos por los sedimentos, y como elementos tales como cobre, níquel, manganeso y cobalto se incorporan en los nódulos (Bischof y Piper, 1979).

Diferentes hipótesis han sido propuestas para explicar, la composición de los nódulos, su mayor abundancia en algunas áreas y su presencia en la superficie del piso oceánico. Entre estas hipótesis, se plantea que los nódulos son empujados hacia arriba por la fauna béntica, o bien que microsismos mantienen los objetos más grandes en la superficie. Ninguna de estas hipótesis puede explicar el hecho de que los nódulos estén en lechos algunas veces amontonados unos contra otros, o que se presenten en lechos siguiendo una secuencia sedimentaria y no distribuidos al azar. Sin embargo si se toma en cuenta la posibilidad de un origen hidrotermal muchas de las características de los nódulos se pueden explicar.

Actualmente se llevan a cabo una serie de estudios en el piso oceánico por diversas naciones con el objeto de encontrar las áreas óptimas para la explotación de nódulos, por lo que su investigación es cada vez más importante.

### 1-3.- CONSIDERACIONES POLITICAS .

Con objeto de entender las dificultades que existen actualmente en cuanto al uso y control de las areas del espacio oceánico y de sus recursos es importante conocer el papel histórico que juegan los océanos.

Según Pontecorvo (1986), antes del siglo XVII se consideraba a los océanos como una extensión de las naciones europeas. La Bulia papal emitida por Alejandro VI en 1493 y el tratado de Tordesillas en 1494, dividían al mundo y a sus océanos entre España y Portugal. En 1604 el holandés Grotius escribió el libro *mare liberum* donde establece que los mares son libres para todas las naciones, idea que con el tiempo gana fuerza.

En 1883 el científico inglés Thomas Huxley afirmó : " todas las grandes pesquerías son inextinguibles y nada que el hombre haga puede afectar el número de peces en el océano" lo que constituía el punto vista más común en esa época.

Sin embargo en 1899 ya había otros puntos de vista relacionados con los problemas de conservación en el mar; y así en 1901 se lleva a cabo la primera reunión internacional relacionada con la conservación marina y se forma el ICES (International Council for the Exploration of the Seas).

Casi cien años después de la afirmación de Huxley , en la década de los 70's y 80's se sabe que la pesca mundial existente se encuentra muy cerca de su límite biológicamente sostenible.

Los avances científicos y tecnológicos recientes han permitido: i) el desarrollo de buques que pueden estar temporadas completas en

alta mar, y capaces de acabar con una población completa de peces en un area dada; ii) las perforaciones en el area de plataforma continental para extraer hidrocarburos; iii) la posibilidad de explotar los recursos minerales del fondo del mar, demostrando que practicamente cualquier tipo de recurso es tecnicamente explotable en el oceano; iv) el desarrollo de otras fuentes de energía , como la térmica; v) nuevas investigaciones científicas , especialmente en tectonica de placas, e investigaciones referentes al clima mundial; vi) el uso de los oceanos como un basurero de deshechos industriales.

Simultaneamente, el aumento demográfico ha provocado un incremento en la demanda de la zona costera con propositos recreacionales y urbanos.

Todos estos cambios han generado un importante problema de manejo de las areas oceanicas. En los últimos 50 años ha habido una serie de negociaciones y analisis de los aspectos legales y politicos relacionados con los oceanos. En 1976 los Estados Unidos con objeto de proteger su industria pesquera de las flotas Rusas y Japonesa, emitieron una ley declarando una zona pesquera nacional de 200 millas bajo su jurisdicción ; está ley si bien al aceptarse internacionalmente benefició a todos los paices costeros, beneficia principalmente a varias de las potencias industriales como Estados Unidos, Canada, Australia, y la Unión Sovietica. En el caso de México el área bajo la jurisdicción mexicana aumentó de 2,000,000 de Km<sup>2</sup> que constituyen el territorio nacional a casi 5,000,000 de Km<sup>2</sup> , lo que es más del doble del territorio

nacional al incluirse la Zona Económica Exclusiva.

La convención de la Ley del Mar realizada en Diciembre de 1984 contó con la firma de 159 países; contiene aproximadamente 450 artículos, y solo 10 de ellos son motivo de controversia, estos se relacionan con la explotación de minerales en el mar profundo.

A este respecto existen actualmente dos sistemas legales: 1) el sistema conocido como "entendimiento provisional" y que aboga por la doctrina de la libre empresa, está auspiciado por Estados Unidos , Inglaterra y la República Federal Alemana ; y por otro lado el sistema respaldado por 159 naciones es el tratado de la ley universal del mar , donde se ha tratado de llegar a las decisiones por consenso. Francia y Japón participan en los dos sistemas legales

El principal producto que actualmente se piensa aprovechar de los minerales del mar profundo, son los nódulos de manganeso o nódulos polimetálicos, por su contenido de níquel, cobre , cobalto y posiblemente manganeso. Aquellos con un interés comercial primario tienen un contenido de 30 % manganeso, 1.4 % níquel, 1.2 % cobre y 0.25 a 0.30 % cobalto. Se ha reportado que las cantidades de nódulos existentes en el fondo del oceano son muy grandes, lo cual se basa en datos publicados; sin embargo, la información existente a la fecha no es suficiente para caracterizar ningún depósito cuantitativamente, por lo que, es indispensable contar con una estimación real de los recursos existentes. Es muy importante evaluar la porción de los nódulos que pueden recuperarse in situ . La parte norte del Oceano Pacífico Central, en la region

comprendida entre las zonas de fractura Clarion-Cliperton, se ha reportado que existe la mayor densidad de nódulos de alta ley, y es en esta region donde existen registros de diversos consorcios internacionales (Fig. 1-1) para iniciar la explotación de los nódulos. (Pontecorvo, 1986).

La tecnología básica teórica para iniciar la explotación de los nódulos ya existe, pero aún no se ha llevado a la practica y actualmente no es económicamente costeable, ni lo será, probablemente en los próximos años. Esto aunado a la crisis minera actual que ha producido bajas en el precio del cobre y estancamiento en los precios de níquel, ha hecho que el inicio de la explotación de los nódulos polimetálicos sea postergado; sin embargo es una obligación ineludible para México iniciar el estudio de sus recursos minerales del mar profundo, que le permitan a futuro una negociación ventajosa, o la planeación adecuada de estos. El proyecto UNAM-CONACYT clave PCCBBNA 022127 " Investigación sobre origen procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la zona económica exclusiva de México ", llevado a cabo en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en el cual se llevo a cabo un estudio de la distribución de nódulos polimetálicos y su asociación con sedimentos, actividad hidrotermal y vulcanismo, es un primer paso en este camino que se abre ante nosotros.

#### 1-4.- OBJETIVOS .

Los objetivos del presente trabajo son:

- a) Contribuir al conocimiento sobre el origen de los nódulos polimetálicos a través del estudio de la química de los nódulos y de los sedimentos asociados a estos.
- b) Evaluar la influencia de la actividad hidrotermal de la Dorsal del Pacífico Oriental, sobre los sedimentos asociados y los nódulos polimetálicos. En particular, discutir la hipótesis sobre el origen hidrotermal de los nódulos polimetálicos
- c) Aportar información sobre los procesos químicos que se llevan a cabo en los sedimentos y el agua intersticial a lo largo de núcleos escogidos .
- d) En base a la concentración de metales en los nódulos polimetálicos colectados, estimar el potencial de los nódulos en el área de estudio.

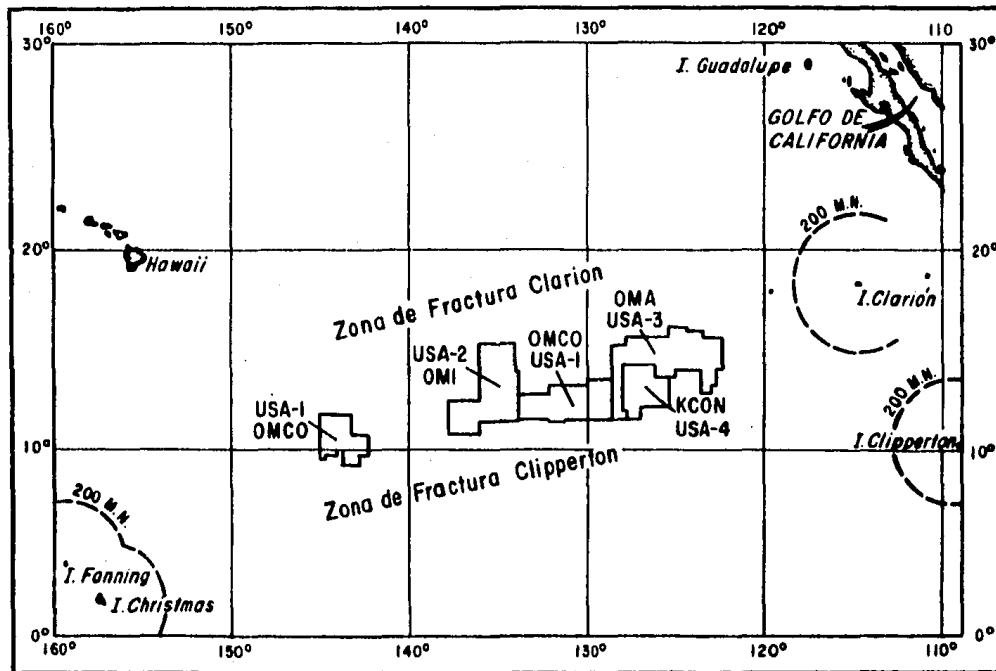


FIGURA 1-1 . . AREA REGISTRADA POR DIFERENTES CONSORCIOS INTERNACIONALES PARA LA EXPLOTACION DE NODULOS (TOMADO DE: PONTECORVO, 1986) .

## CAPITULO 2

### ANTECEDENTES

2.1.- ASPECTOS GENERALES.- La distribución de los nódulos polimetálicos en los océanos es muy variable .Existen áreas del océano con altas concentraciones de nódulos pero con una distribución irregular en distancias cortas. En general, los nódulos se presentan en áreas donde los sedimentos pelágicos se acumulan a velocidades menores que 7 m por millón de años y, de acuerdo con Heath (1981) prácticamente no se encuentran en las siguientes áreas: a) depósitos hemipelágicos de los taludes y elevaciones continentales. b) en las planicies abisales con turbiditas. c) en los depósitos del océano profundo, formados por las corrientes de fondo. d) en las áreas de ooze silíceos y calcáreos que existen debajo de las áreas de alta productividad biológica como en el ecuador y en las latitudes altas.

En el Océano Pacífico los nódulos son más abundantes en el área comprendida entre 6 y 20 grados de latitud norte y 110 y 160 grados de longitud oeste ( Cronan, 1976 ); los nódulos cubren hasta el 75 % del piso oceánico en esta área. En el Pacífico Sur la distribución de nódulos es mucho más variable y menos abundante, se han reportado altas concentraciones en la provincia que abarca la placa Manhiki, las islas Sociedad Tahiti y el archipiélago Tuamotu (entre 10 y 19°S y 132 y 162°W). Otra área con altas concentraciones en el Pacífico Sur es la comprendida entre Nueva Zelanda y la Dorsal del Pacífico.



La abundancia y densidad espacial de nódulos en el Océano Atlántico es menor que en el Océano Pacífico; concentraciones altas se presentan en áreas como la placa Blake y el Mar de Escocia.

En el Océano Índico se han reportado altas concentraciones de nódulos en zonas bien localizadas como es en los flancos de la cordillera Carlsberg (Cronan, 1976).

Los sedimentos asociados a los nódulos son generalmente arcillas pelágicas finas, altamente oxidadas. El contenido de carbono orgánico está muy por debajo del 1 % ( hasta 0.01 % ). Se ha reportado (Piper et al, 1979) que capas delgadas de sedimentos del Neógeno tienen una cobertura densa de nódulos, en tanto que capas gruesas de sedimento, presentan nódulos esporádicamente. Estudios recientes de acústica combinados con fotografías del fondo confirman esta relación ( Heath, 1981 ).

Con objeto de evaluar la abundancia de nódulos enterrados respecto a los nódulos presentes en la superficie, Heath (1978) mostró en base a datos existentes, que hay tantos nódulos en la superficie como en los primeros 4 metros de sedimentos, y planteo un modelo conociendo la distribución de tamaño, la velocidad de enterramiento y la velocidad de crecimiento de una población dada de nódulos.

Si se grafica la abundancia de nódulos en función del tamaño en escala semilogarítmica para diferentes localidades (Heath, 1981) se observa una relación lineal; donde:

$$\ln N = \ln N_0 - M (D - D_0)$$

N.- número de nódulos

D.- diametro

M.- pendiente (Fig. 3)

N<sub>0</sub>- número de nódulos más pequeños

D<sub>0</sub>- diametro del nódulo más pequeño

MacDougalls (1979), mostró que la velocidad de crecimiento del nódulo es independiente de su tamaño:

$$D = D_0 + 2Gt$$

G.- velocidad de crecimiento

t.- edad del nódulo

combinando las dos ecuaciones anteriores:

$$\ln N = \ln N_0 - 2 MGt$$

ó diferenciando:

$$\frac{dN}{dt} = -2MGN$$

Lo que indica que la velocidad de sepultamiento de los nódulos superficiales, depende unicamente del número de nódulos presentes y es independiente de su tamaño, masa o edad.

Horn et al (1972), estudiaron alrededor de 50 nucleos de diferentes areas oceanicas y encontraron que en los primeros 3 metros de sedimento la concentración de nódulos es del orden de 35 % de la concentración en superficie.

2.2.- CARACTERISTICAS FISICAS: Los oxidos de ferromanganeso procedentes de diferentes ambientes, muestran una gran variedad de formas y tamaños, los cuales pueden variar considerablemente en

distancias cortas. Los depósitos de estos óxidos se caracterizan por tener un núcleo consistente de un cuerpo extraño, el cual tiene las incrustaciones de los óxidos en espesor variable. Raab y Meylan (1977) dividieron a los óxidos de hierro-manganeso en cuatro diferentes categorías: MANCHAS: que son capas muy delgadas de óxido sobre rocas y otros materiales; AGREGADOS: que son conglomerados de núcleos cubiertos de una delgada capa de óxido; NÓDULOS: que tienen una capa más gruesa de óxido alrededor de su núcleo; y COSTRAS: que son acumulaciones continuas de óxido en las rocas.

Los principales parámetros morfológicos que caracterizan a los nódulos se resumen en la tabla 2-1.

Las diferentes formas y tamaños en que se pueden presentar los nódulos se han atribuido a diferentes factores, tales como: el tipo de sustrato presente para la nucleación; la naturaleza del medio ambiente físico dentro del cual se encuentran; la posición batimétrica del nódulo; la actividad de las corrientes de fondo; el tipo y velocidad de suministro del sedimento; la actividad de los organismos bénticos, y la fuente y velocidad de aporte de elementos químicos.

Glasby (1973), y Horn (1973) han reportado que la distribución y morfología de los nódulos está controlada por la disponibilidad de núcleos potenciales en zonas volcánicas; muchos nódulos se han formado alrededor de partículas de ceniza volcánica.

La posición batimétrica es otro factor muy importante en la distribución y morfología de los nódulos. Así en el Pacífico Este

**TABLA 2-1.- PRINCIPALES PARAMETROS MORFOLOGICOS DE LOS NODULOS**

**(Glasby, 1977)**

| <b>PARAMETRO</b>      | <b>DESCRIPCION</b>  |
|-----------------------|---|
| <b>Tamaño</b>         | Generalmente de 0.5 cm en adelante  |
| <b>Forma</b>          | Más frecuentes: esféricos, elipsoidales, discoidales o tabulares, poligonales, pòlilobados.   |
| <b>Textura</b>        | Lo más común es que tengan protuberancias, aunque a menudo son lisos. La textura de arriba y abajo de un mismo nódulo a menudo es diferente.          |
| <b>Tipo de Nucleo</b> | Puede ser cualquier superficie sólida, el material vidrioso de origen volcánico puede ser reemplazado rápidamente por los óxidos de hierro-manganeso. |

la mayor concentración de nódulos se presenta a profundidades mayores de 4500 metros en superficies de colinas abisales. Moore (1970) reportó que las pendientes empinadas en el Pacífico Central Ecuatorial eran los lugares con un recubrimiento más denso de nódulos, y Craig (1975) (Glasby, 1977) concluyó que hay un aumento significativo en el número de nódulos y en el peso y tamaño de estos en áreas topográficamente altas, en tanto que en las áreas topográficamente bajas predominan los nódulos pequeños.

En términos generales, en los ambientes de baja velocidad de sedimentación predominan los nódulos grandes esféricos, en contraste, en los ambientes de velocidades relativamente altas como en las margenes oceánicas y en el cinturón ecuatorial, lo más común es encontrar nódulos pequeños irregulares o aplastados.

La mayoría de los nódulos reportados en la literatura (Heath, 1981) son de unos cuantos centímetros de diámetro, cuando se encuentran en una zona en la que no pueden ser enterrados como en los montes oceánicos, pueden crecer hasta 30 cm. En áreas de gran abundancia de nódulos, estos se presentan en una amplia diversidad de tamaños, lo que sugiere una nucleación constante de nuevos nódulos compensada por el sepultamiento de un número de nódulos equivalente. En algunas localidades sin embargo, todos los nódulos tienen tamaños similares lo que implica un solo evento de nucleación y un crecimiento subsecuente uniforme. Estas características señalan hacia áreas de erosión, áreas de no-depósito o áreas con escasos de material adecuado para la nucleación.

En cuanto a la forma se puede decir que los nódulos esféricos son bastante raros, en tanto que las formas discoidales o irregulares son mucho más comunes. En algunos casos el núcleo controla la forma, aunque en general, la forma está determinada por el crecimiento irregular de las capas de oxihidróxido de ferromanganeso, lo que produce masas botroidales, que pueden ser modificadas por la fusión de uno o más nódulos. En general la superficie del nódulo en contacto con el agua es lisa, posiblemente por el depósito de óxidos o bien porque las irregularidades presentes inicialmente sean removidas por la abrasión de las corrientes de fondo o por los organismos bénticos presentes; en tanto que la superficie que está en contacto con el sedimento consiste de una serie de protuberancias irregulares, son rasposas o muestran superficies dendríticas (ramificadas).

En general se aprecia una mayor uniformidad en nódulos de áreas de erosión o no-depósito; en tanto que en las áreas de deposición rápida se presentan formas más complejas.

**2.3 CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONALES.**— Actualmente es aceptado que la composición química de los nódulos polimetálicos se debe a una combinación de factores, tales como: presencia y comportamiento químico de los elementos en los diferentes medio ambientes; las propiedades de absorción de las fases; la velocidad de acumulación, es decir el tiempo disponible por los elementos para incorporarse en las diferentes fases ; y las características físico-químicas del medio ambiente de depósito (Cronan, 1980).

Dado que la composición química de los nódulos está en función de

las características del área de depósito, se enlistan a continuación (Tabla 2-2) la composición química promedio de nódulos procedentes de diferentes áreas.

TABLA 2-2. CONCENTRACION PROMEDIO DE Mn, FE, Cu, Ni, Co, EN NODULOS PROCEDENTES DE DIFERENTES AREAS (% en peso) (Glasby, 1977).

|       | Montes Ocean. | Mesetas | Cord. Act. | Cord. Inact. | Borde Cont. | Montes Oc. Marg. | Piso Oc Prof. |
|-------|---------------|---------|------------|--------------|-------------|------------------|---------------|
| Mn    | 14.62         | 17.17   | 15.51      | 19.74        | 38.69       | 15.65            | 16.78         |
| Fe    | 15.81         | 11.81   | 19.15      | 20.08        | 1.34        | 19.32            | 17.27         |
| Ni    | 0.351         | 0.641   | 0.306      | 0.336        | 0.121       | 0.296            | 0.540         |
| Co    | 1.15          | 0.347   | 0.400      | 0.570        | 0.011       | 0.419            | 0.256         |
| Cu    | 0.058         | 0.087   | 0.081      | 0.052        | 0.082       | 0.078            | 0.370         |
| Mn/Fe | 0.92          | 1.53    | 0.080      | 0.98         | 28.80       | 0.81             | 0.97          |
| Prof  | 1872          | 945     | 2870       | 1678         | 3547        | 1694             | 4460          |

Los nódulos procedentes de montes oceánicos se caracterizan por su alto contenido de cobalto, concentraciones de Ni y Cu por debajo del promedio (se refiere al promedio general en nódulos de diferentes áreas), valores promedio de Mn y Fe y una composición mineralógica en la que  $\delta$   $MnO_2$  es más abundante (Glasby, 1977).

Se han llevado a cabo numerosos estudios tratando de explicar la alta concentración de Co en estas áreas (Cronan y Tooms, 1969), y se han postulado 2 posibles causas:

a) la oxidación de  $Co^{2+}$  a  $Co^{3+}$  insoluble bajo las condiciones altamente oxidantes prevaletientes en los montes oceánicos.

b) la lenta velocidad de crecimiento de nódulos, que en estas áreas dada la menor cantidad de metales disponibles es muy lenta, lo que permite mayor tiempo para remover el Co presente en el agua de mar.

Al comparar la composición promedio de Co en nódulos procedentes de montes oceánicos de los tres océanos (Pacífico: 1.5; Índico: 0.91; Atlántico:0.46) ; los nódulos con el contenido de Co más alto son los del Pacífico, donde la velocidad de sedimentación es más baja.

La correlación existente entre elementos procedentes de otras áreas ( Mn:Cu+Ni , Fe:Co, etc.) no se observa en los nódulos encontrados en los montes oceánicos; en estos contrariamente existe una correlación positiva significativa entre Mn y Co.

La concentración de Ni, Mn y Co en nódulos de mesetas es similar al promedio reportado para otras áreas, sin embargo, su concentración de Fe y Cu es baja. La relación Mn:Fe es alta, lo que los distingue de nódulos procedentes de otras áreas; este valor alto puede deberse a las fuertes corrientes que azotan las mesetas y que inhiben la acumulación de sedimentos, lo que hace que el Mn se precipite del agua de mar sin estar diluido por detritos que generalmente contienen Fe. A pesar de tener una profundidad similar a los nódulos de los montes oceánicos, su contenido de Co es menor, lo que podría deberse a los potenciales redox más bajos encontrados en estas áreas. Los nódulos de mesetas muestran una correlación positiva entre: Mn:Cu, Mn:Co , una correlación menor entre Mn:Ni; el Fe no muestra correlación



con ningún elemento. (Glasby, 1977).

Los nódulos procedentes de cordilleras activas se caracterizan por el bajo valor de la relación Mn:Fe, bajo contenido de Cu, concentración de Co ligeramente encima del promedio y concentraciones de Ni ligeramente debajo del promedio.

Existen diversos factores que pueden explicar el bajo valor de la relación Mn:Fe, entre estos se señalan los siguientes:

a) muchos de los depósitos de nódulos localizados en estas áreas se encuentran en afloramientos de rocas volcánicas lo que evita que reciban Mn del flujo vertical del agua intersticial.

b) el Fe aportado por la cordillera produce un enriquecimiento de Fe (Corliss, 1971; Scott *et al.*, 1972).

Los nódulos de estas áreas varían mucho entre sí en el valor de la relación Mn/Fe, este depende de las cercanías a una fuente volcánica, potencial aportadora de Fe.

Los nódulos de estas áreas muestran una correlación positiva de Mn con Ni, Cu y en menor grado Co; ningún elemento se correlaciona con Fe. Si bien tanto Mn como Fe pueden ser producto de la actividad hidrotermal, estudios realizados por Bostrom *et al.* (1972), muestran que para suministrar todo el Mn presente en los sedimentos de estas áreas, se tendría que lixiviar una mayor cantidad de basalto que el necesario para producir Fe; por lo que sugieren que parte del Mn es producido al mismo tiempo que el Fe al lixiviarse el basalto, y el exceso de Mn procede de su precipitación a partir del agua de mar. Si este es el caso, la correlación Cu, Ni, Co con Mn, sugiere que estos elementos se

originen a partir del agua de mar y no a partir de procesos hidrotermales.

Existen pocos estudios de nódulos de cordilleras inactivas, y en general su composición es muy similar al promedio de composición reportado en la Tabla 2-2 .

Los nódulos del borde continental no se discuten aquí, ya que los procesos de esta área así como la composición de sus nódulos son muy diferentes a la de los nódulos de mar profundo.

La concentración de Mn de nódulos de montes oceánicos marginales es cercana al promedio; en tanto que la concentración de Ni y Cu está por debajo del promedio y el Co y el Fe están por encima del promedio. El valor de la relación Mn/Fe es de los más bajos.

La principal diferencia entre nódulos de montes oceánicos y montes marginales, está en que estos últimos tienen un contenido más bajo de Co y una mayor concentración de Fe, lo que refleja diferencias entre los 2 ambientes de depósito.

La menor concentración de Co se podría deber a potenciales redox más bajos en las áreas de montes marginales, debido a la velocidad de sedimentación más alta y al sepultamiento de materia orgánica. El contenido más alto de Fe se debe a una mayor influencia de aportes continentales.

La concentración de Mn y Fe en nódulos del piso oceánico profundo está dentro del promedio reportado para la mayoría de las provincias estudiadas; contienen concentraciones de Ni y Cu por arriba del promedio y la concentración de Co está por debajo del promedio. El principal mineral que los constituye es la todorokita

con menores cantidades de birnesita y  $\delta$   $MnO_2$ .

Aparentemente la composición mineral influye en la concentración de Ni y Cu, ya que se ha reportado que la todorokita concentra estos elementos. (Cronan y Tooms, 1969).

Analizando el efecto de la profundidad en la concentración de metales, se han observado algunas diferencias, como son: a) el Cu aumenta su concentración por un factor de 6 al variar de nódulos colectados a 2000 m a nódulos de 6000 m. b) el Ni aumenta con la profundidad, c) el Co disminuye ligeramente con la profundidad y d) el Mn y el Fe no muestran ninguna variación con la profundidad. Existe una correlación alta entre Mn y Ni y entre Fe y Co, esta última solo se observa en los nódulos procedentes del piso oceánico profundo. Se ha demostrado que la relación entre elementos varía dependiendo de las muestras estudiadas (Cronan y Tooms, 1969).

Los factores que causan variaciones regionales en la composición de los nódulos abisales son muy complejos, entre los más comunes se puede mencionar:

a) la relación Mn/Fe puede estar influida por las velocidades de sedimentación y el sepultamiento de materia orgánica (Price y Calvert, 1970), que produce un bajo potencial redox y la removilización diagenética de Mn, como sucede en las áreas marginales y en la zona ecuatorial donde la productividad es alta, lo que produce un valor alto de la relación Mn/Fe. Un valor similar se obtiene también en nódulos procedentes de áreas con sedimentación muy baja (Horn *et al.*, 1972), posiblemente debido a

la lenta precipitación de Mn a partir del agua de mar en ausencia de una fuente de Fe que produzca una dilución.

b) la cercanía a posibles fuentes de elementos volcánicas o continentales (Cronan y Tooms, 1969).

c) la concentración de elementos menores está más influenciada por factores ambientales que por la presencia de posibles fuentes de aporte. Así , factores determinantes para tener altas concentraciones de Ni, Cu y Co son: la profundidad, el potencial redox, la composición mineralógica de los nódulos, la productividad biológica y la naturaleza del sustrato.

Los organismos planctónicos extraen los metales del agua (Greenslate *et al.* 1973), y después de su muerte son transportados al fondo; la presión produce la disolución de los organismos muertos, por lo que los metales son liberados en el fondo. La naturaleza del sustrato, es importante, así los coques silíceos debido a su naturaleza suelta y porosa y a su alto contenido de agua intersticial permiten que los metales (Cu, Ni) se puedan difundir fácilmente a través del agua intersticial hacia la superficie, donde son incorporados a los nódulos.

Se ha reportado que la zona con los nódulos más ricos en Cu y Ni , se encuentra en una franja Este-Oeste en la porción norte del Pacífico Ecuatorial, y se caracteriza por su alta productividad biológica.

Por otro lado la literatura de la química de los nódulos es muy diversa, Horn *et al.* (1972) realizaron una compilación de los datos existentes y enumeraron los principales problemas relativos a la

información reportada.

En la Tabla 2-3 se muestra la composición química promedio en nódulos de tres áreas oceánicas distintas.

En cuanto a los elementos mayores se puede decir que el Mn es el constituyente metálico más importante en los nódulos, y que una de las características químicas más importantes de estos, es el mayor enriquecimiento en Mn que en Fe, en relación a la abundancia de estos elementos en la corteza, donde Fe:Mn = 50,000:950 ppm.

La separación de Fe y Mn en un ambiente acuoso está principalmente en función del pH y Eh, un aumento de cualquiera de estos dos parámetros produce una precipitación de Fe antes que de Mn. La precipitación de estos elementos también está en función de la presencia en solución de otros iones como son los fosfatos y complejos orgánicos (Stum y Morgan, 1981); Pero el pH y el Eh son los que ejercen la mayor influencia en el comportamiento químico de Fe y Mn en los sistemas naturales.

Generalmente el pH y Eh aumentan desde las lagunas costeras hasta el mar profundo, lo que produce la liberación de Fe, dejando el Mn en solución. Así los nódulos de los lagos y de la zona costera tienen un valor alto de Fe/Mn, en tanto que en general en mar profundo la relación es baja, con excepción de las áreas que reciben aportes de Fe, como sucede en zonas volcánicas.

Adicionalmente existe una relación entre los minerales en los nódulos y la concentración de Fe y Mn. Los nódulos ricos en todorokita son ricos en Mn, y los nódulos ricos en  $\delta$   $MnO_2$  son ricos en Fe. La formación de todorokita se ve favorecida por

TABLA 2-3. - CONCENTRACION PROMEDIO DE ELEMENTOS EN NODULOS

POL (METALICOS DE LOS OCEANOS (% en peso) (Cronan, 1980)

| Elem. | O.Pacif. | O.Atl. | O.Ind. | Elem. | O.Pacif.            | O.Atl.              | O.Ind.              |
|-------|----------|--------|--------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| B     | 0.0277   | -      | -      | Y     | 0.031               | -                   | -                   |
| Na    | 2.054    | 1.88   | -      | Zr    | 0.052               | -                   | -                   |
| Mg    | 1.710    | 1.89   | -      | Mo    | 0.044               | 0.049               | 0.029               |
| Al    | 3.060    | 3.27   | 2.49   | Pd    | 0.602 <sup>-6</sup> | 0.574 <sup>-6</sup> | 0.391 <sup>-6</sup> |
| Si    | 8.320    | 9.58   | 11.40  | Ag    | 0.0006              | -                   | -                   |
| P     | 0.235    | 0.098  | -      | Cd    | 0.0007              | 0.0011              | -                   |
| K     | 0.753    | 0.567  | -      | Sn    | 0.00027             | -                   | -                   |
| Ca    | 1.960    | 2.96   | 2.37   | Te    | 0.0050              | -                   | -                   |
| Sc    | 0.00097  | -      | -      | Ba    | 0.276               | 0.498               | 0.182               |
| Ti    | 0.674    | 0.421  | 0.662  | La    | 0.016               | -                   | -                   |
| V     | 0.053    | 0.053  | 0.044  | Yb    | 0.0031              | -                   | -                   |
| Cr    | 0.0013   | 0.007  | 0.0029 | W     | 0.006               | -                   | -                   |
| Mn    | 19.78    | 15.78  | 15.10  | Ir    | 0.936 <sup>-6</sup> | 0.932 <sup>-6</sup> | -                   |
| Fe    | 11.96    | 20.78  | 15.78  | Au    | 0.266 <sup>-6</sup> | 0.302 <sup>-6</sup> | 0.811 <sup>-7</sup> |
| Co    | 0.335    | 0.318  | 0.230  | Hg    | 0.82 <sup>-4</sup>  | 0.16 <sup>-4</sup>  | 0.15 <sup>-6</sup>  |
| Ni    | 0.634    | 0.328  | 0.464  | Tl    | 0.017               | 0.0077              | 0.010               |
| Cu    | 0.392    | 0.116  | 0.294  | Pb    | 0.0846              | 0.127               | 0.093               |
| Zn    | 0.068    | 0.084  | 0.069  | Bi    | 0.0006              | 0.0005              | 0.0014              |
| Ga    | 0.001    | -      | -      | Sr    | 0.085               | 0.093               | 0.086               |

\* El número exponente representa potencias de 10. Ej: <sup>-6</sup> = x 10<sup>-6</sup>

condiciones menos oxidantes que las que se requieren para la formación de  $\delta \text{MnO}_2$ ; en base a esto el  $\delta \text{MnO}_2$  es más abundante en elevaciones oceanicas y cordilleras oceánicas.

Respecto a los elementos menores cabe destacar que los nódulos ricos en todorokita lo son también en Ni, Cu, y Zn; en tanto que los nódulos ricos en  $\delta \text{MnO}_2$  son ricos en Co y Pb (Glasby, 1977). La razón de esta partición no está clara, podría ser que los elementos se incorporan en las diferentes fases del mineral, o bien que las condiciones de formación de los minerales influyen en la incorporación de estos elementos.

Aparentemente la todorokita contiene iones de  $\text{Mn}^{2+}$ , los cuales tomando en cuenta sus radios iónicos podrían ser sustituidos por  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ , en tanto que en el  $\delta \text{MnO}_2$ , el Mn está como  $\text{Mn}^{4+}$  el cual es sustituido difícilmente por esos iones.

El enriquecimiento de Co en nódulos ricos en  $\delta \text{MnO}_2$  podría deberse a la sustitución de  $\text{Mn}^{4+}$  por  $\text{Co}^{3+}$  o a la sustitución de  $\text{Fe}^{3+}\text{OOH}$  por  $\text{Co}^{3+}\text{OOH}$ , por lo que se necesitarían condiciones oxidantes más fuertes para llevar a cabo la oxidación del Co, como las que prevalecen para la formación del  $\delta \text{MnO}_2$ .

La adsorción de metales en los oxidos de Fe y Mn se facilita dado que tienen un area superficial específica grande lo que les permite una fuerte interacción. Varios autores han reportado (Krauskopf, 1956; Murray y Brewer, 1977) la alta capacidad de movilización de metales del agua por los oxidos de Mn.

Cronan (1980) concluye en base a los estudios realizados que ambos procesos de movilidad de metales del agua, intervienen en los

nódulos.

La composición de la parte lisa de un nódulo (parte expuesta más recientemente a el agua de mar) y la de la parte rugosa (más recientemente en contacto con el sedimento) son químicamente diferentes entre si y diferentes del interior del nódulo.

La parte en contacto con el agua de mar es alta en Fe, Co y Pb, y baja en Cu, Ni, Mo, Zn y Mn; la parte inferior del nódulo muestra un caracter inverso, siendo alta en Cu, Ni, Mo, Zn y Mn, y baja en Fe, Co y Pb (Raab, 1972). Adicionalmente existe una laminación continua alrededor de la capa externa con un comportamiento inverso al de la superficie, la porción inferior del nódulo es la más alta en Cu, Ni, Mo, y Mn; la concentración de estos elementos va disminuyendo gradualmente, con valores intermedios de concentración en la parte ecuatorial y mínimo en la superficie. Al analizar las capas internas que forman el nódulo, se observan diferencias en comparación con la capa superficial; así, las concentraciones de Cu, Ni, Mo, Zn y Mn aunque algo errática al compararla con la capa superficial no muestra diferencias tan pronunciadas como en el caso de Fe, Pb, y Co, donde las diferencias son mayores al 30 %, estas podrían atribuirse de acuerdo con Raab (1977) a varios factores como son:

- a) diferencia en la composición de la solución que formó el nódulo originalmente.
- b) diferencias en el medio ambiente químico, por ejemplo: insaturación respecto a Fe, Co Pb y por lo tanto una movilidad selectiva de estos elementos.



c) tiempo insuficiente antes del rompimiento e incorporación en el nódulo de que se trata para saturarse de Fe.

Las capas internas de los nódulos tienen una composición más uniforme que la capa superficial, esto sugiere que la precipitación pudo ser muy rápida, mayor que la velocidad de lixiviación. Hacia un lado del ecuador hay un adelgazamiento de la banda lo que refleja un suministro menor de minerales de Fe y Mn a la parte superior del nódulo.

Las propiedades físicas y químicas de los nódulos están en función de los minerales que los constituyen, los cuales controlan también la autigénesis, el crecimiento y la estructura de los nódulos, así como la asimilación de ciertos metales.

Buser y Gmitter en 1956 (Price y Calvert, 1970), mostraron que hay 3 fases de Mn distinguibles en los nódulos procedentes de áreas del océano profundo, estas son:  $\delta$   $MnO_2$  (con un patrón de difracción de rayos X que muestra 2 picos, el principal a 2.4 Å), un óxido de Mn con un pico a 7 Å, y otro óxido de Mn con un pico a 10 Å, a estos 2 últimos se les ha venido reportando como Manganita-7Å y Manganita-10Å. Manheim en 1965 (Glasby, 1970) propuso que estos nombres de fases sintéticas fueran sustituidas por los nombres minerales de Todorokita y Birnesita.

Numerosos estudios se han realizado (Burns, 1977) tratando de esclarecer las estructuras cristalinas de los óxidos de Mn presentes en los nódulos. El  $\delta$   $MnO_2$  fué sintetizado por diferentes autores, produciendo un patrón de difracción de rayos X diferente entre sí. Feitkench y Marti (Burns, 1977) llamaron a estos

compuestos Manganita-Manganosa con una fórmula aproximada de  $4 \text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  intercalada con capas de  $4 \text{MnO}_2$ , las formas más oxidadas se consideraron formas desordenadas de este sandwich ideal, con líneas de difracción alrededor de  $2.40 \text{ \AA}$  y  $1.40 \text{ \AA}$  únicamente. El  $\delta \text{MnO}_2$  es una forma pobremente cristalizada, sin embargo estudios realizados sugieren que el  $\delta \text{MnO}_2$  juega un papel esencial en la nucleación y autigénesis de los nódulos a través de su habilidad de formar intercrecimientos epitaxiales con el Fe(III) isoestructural (Burns, 1975).

La Birnesita o Manganita-7A tiene una fórmula aproximada de  $(\text{Na,Ca})\text{Mn}_7\text{O}_{14} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; actualmente se considera un óxido de Mn de baja temperatura formado por el intemperismo supergénico y oxidación de rocas conteniendo Mn.

El compuesto conocido como Manganita-10A ó Todorokita ó Buserita ó hidrato de manganeso sodio (II;III) manganato, cuya fórmula aproximada es  $(\text{Na,Mn})\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  se ha demostrado (Wadsley, 1950) que tiene propiedades de intercambio catiónico, donde el Na es irreversiblemente cambiado por otros cationes como el  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , estas variedades son inestables, se oxidan rápidamente y pierden agua pasando así de todorokita a buserita. Actualmente la nomenclatura más usual para describir los principales minerales que constituyen a los nódulos de Mn es la de: todorokita (manganita-10A), Birnesita (manganita-7A) y  $\delta\text{-MnO}_2$ . Barnes (Cronan, 1980) mostró que la todorokita se presentaba en nódulos de la parte marginal Este del Pacífico y a lo largo de la región Ecuatorial Este; los nódulos con una mezcla de las tres

fases se presentan en nódulos del piso oceánico abierto, mientras que los nódulos que contienen  $\delta$   $MnO_2$  se presentan en las regiones de alturas topográficas como los montes del Pacífico Central. La presencia de todorokita como la fase mineral principal en nódulos cercanos a los continentes o con influencia de estos, ha sido mostrada por otros autores (Glasby, 1977). Esta distribución de minerales sugiere que los nódulos con influencia de los continentes tienen un grado de oxidación de Mn más bajo que los nódulos del piso oceánico profundo. Estudios posteriores (Dymond *et al.*, 1984) han demostrado que la mineralogía de los nódulos está en función del proceso de acreción que los originó, así la precipitación hidrogénica (acumulación directa de óxidos a partir del agua de mar) produce  $\delta$   $MnO_2$ ; la diagénesis oxica (se refiere a los procesos que ocurren en sedimentos oxicos) produce todorokita rica en Cu y Ni; y la diagénesis suboxica, produce una todorokita inestable que se transforma a birnesita por deshidratación. De estos tres procesos la acreción suboxica es el más rápido, la acreción oxica es 10 veces más lenta y la precipitación hidrogénica es 100 veces más lenta.

Adicionalmente a los minerales de Mn ya mencionados, se han identificado en los nódulos otros minerales de Mn en menor cantidad, como: Pirolusita ( $\beta$   $MnO_2$ ), Psilomelano ( $Ba, K, Mn, Co$ ) $_2$  $Mn_5O_{10}$   $\cdot$   $x$   $H_2O$ ; Woodruffita ( $Zn, Mn$ ) $_2$  $Mn_5O_{12}$   $\cdot$   $4$   $H_2O$ ; Nsutita ( $MnO_2$ ), etc.

Por otro lado, los minerales de hierro que se han reportado en los nódulos polimetálicos son: goetita ( $FeOOH$ ), lepidocrocita ( $FeOOH$ ),

magnetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), akaganeita ( $\text{OH;Cl, H}_2\text{O}$ ) $_{1-2}$   $\text{Fe}_3(\text{OOH})_{10}$ . Estas fases son criptocristalinas. Johnson y Glasby (1968), por estudios de microscopía Mossbauer mostraron que el Fe en los nódulos está como  $\text{Fe}^{3+}$  y concluyeron que las fases de Fe estaban formadas principalmente por una mezcla de goetita y lepidocrocita, sin embargo una cantidad apreciable de los óxidos de hierro en los nódulos son amorfos por lo que Burns (1977) sugirió que un polímero hidratado de oxihidróxido férrico es la fase de Fe predominante en muchos nódulos.

Además de los minerales de hierro y manganeso otros minerales de tipo volcánico detrítico o autigénico existen en los nódulos. Entre los más comunes se tiene (Burns, 1977): cuarzo (el cual puede estar asociado a la sílica opalina), feldespato, mica, olivino, psilomelano, piroxeno, anfíboles, Minerales arcillosos zeolita, apatita, calcita, aragonita, rutilo, anatasa, barita. Varios de los minerales presentes son el producto de la alteración de rocas volcánicas submarinas, entre las más comunes están las zeolitas como la philipsita y minerales arcillosos como la montmorillonita y nontronita. También se presentan minerales inducidos biológicamente como la apatita y la calcita.

2.4 CLASIFICACIONES.- Existen diversas clasificaciones de nódulos en base a diferentes criterios, a continuación se presentan algunas de ellas:

2.4.1 CLASIFICACION EN BASE AL MEDIO AMBIENTE DE DEPOSITO.- Dado que los nódulos polimetálicos se localizan en áreas oceánicas muy distintas entre sí, una de las clasificaciones de los nódulos se

basa en el medio de depósito. A nivel mundial se han reportado nódulos pertenecientes a 7 ambientes que son:

- a) Montes oceánicos
- b) Planicies
- c) Cordilleras activas transoceánicas
- d) Cordilleras inactivas
- e) Borde Continental
- f) Elevaciones topográficas marginales
- g) Piso oceánico profundo entre 2000 y 6000m

Estas provincias contienen nódulos formados por procesos tales como: precipitación del agua de mar; de soluciones hidrotermales, lixiviación de rocas volcánicas, procesos diagenéticos (Glasby, 1977).

**2.4.2 CLASIFICACION EN BASE A SUS CARACTERISTICAS FISICAS.-** De acuerdo con la forma, tamaño y textura Murray y Renard (1891)

(Glasby,1977) reconocieron 3 grupos morfológicos de nódulos:

- a) piramidales, b) esferoidales o elipsoidales y c) aplanados o irregulares; en base a su forma existen a la fecha gran número de clasificaciones. Grant (1967) propone una clasificación morfogenética: a) Nódulos, tienen un solo nucleo y capas de oxido gruesas alrededor. b) Costras tienen un solo nucleo rodeado de una capa delgada de oxido, c) Botroidales, tienen multiples nucleos y capas gruesas de oxido. d) Aglomerados, tienen múltiples nucleos rodeados de una capa delgada de oxido.

Usando una combinación de parámetros morfológicos Meyer (1973) clasifica 6 grupos de nódulos (Tabla 2-4) , en los que se

consideran diferencias en el contenido de metales, así, los nódulos tipo B son los que tienen las concentraciones más altas de Ni, Cu, y Mn.

2.4.3 CLASIFICACION EN BASE A SU COMPOSICION QUIMICA.-Partiendo básicamente de la concentración de Fe y Mn en los nódulos, estos se han clasificado en tres grupos; las características de estos son (Akira Usui, 1979):

Nódulos tipo A.- El producto de la concentración de Mn/Fe es mayor o igual a 4, tienen generalmente forma esférica y su tamaño varía entre 1.0 y 3.0 a 5.0 cm; se encuentran generalmente en la capa superficial de los sedimentos y su textura es aspera y porosa. La concentración de los metales más importantes está en el intervalo de: Mn.- 23.0 - 32.0 %; Cu + Ni.- 2.0 - 3.5 % Fe es menor o igual a 7.0 % y el Co está entre 0.1 - 0.2 %.

Nódulos tipo B.- El producto de la concentración de Mn/Fe es menor o igual a 2.5; generalmente tienen concentraciones altas de  $TiO_2$  (>1.0 %); la concentración de Fe es mayor que 9.0 %, el Co está entre 0.25 y 0.40 % y el Mn entre 16.0 y 24.0 %.

Nódulos tipo AB.- El producto de la concentración de Mn/Fe está entre 2.5 y 5.0; la concentración de Ni + Cu es de 1.5 a 2.8 %; el Co 0.15 a 0.25 %, el Fe de 4.0 a 8.0 % y el Mn de 22.0 a 30.0 %. Generalmente su diámetro es mayor que 14 cm.

Tabla 2-4. Clasificación de nódulos según Meyer (Slasky 1977)

| Tipo | Tamaño<br>(cm)                               | Forma  | Modificaciones  | Textura   | Inter-crec <u>i</u><br>mientos |
|------|--|--|---|---|--------------------------------|
| B    | 3-15<br>( $\bar{X}$ =5-6)                    | Discoidal<br>a menudo<br>aplanados<br>de abajo | Elipsoidales<br>planos irregu-<br>lares como<br>hongo | Botroidal<br>a menudo<br>lisa en<br>sup. rugo<br>sa abajo<br>bandas en<br>la zona ecua-<br>torial | Muy-raros                      |
| E/S  | 2-6<br>( $\bar{X}$ =3-4)                     | Elipsoida<br>les o Esfe<br>roidales            | Discoidales   | Lisa  | Raros                          |
| Kr   | 0.5-5<br>( $\bar{X}$ =1-2)                   | Esferoida<br>les                               | Elongados o<br>elipsoidales                           | Asperos y<br>rígidos  | Frecuente                      |
| Kg   | Intercre<br>cidos<br>1.5-6<br>$\bar{X}$ =2.5 | Esferoida<br>les                               | Elongados o<br>elipsoidales                           | Muy lisos   | Frecuente                      |
| SG   | 5-8<br>( $\bar{X}$ =7)                       | Muy Esfe-<br>roidales                          | -   | Lisos   | No se han<br>observado         |
| G    | Hasta 25                                     | Esferoidal<br>irregular                        | -   | Superficie<br>tipo coli-<br>flor, deba<br>jo rugoso   | -                              |

### CAPITULO 3

#### DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Uno de los descubrimientos científicos más importante en los últimos años, fué la actividad hidrotermal en las inmediaciones de la Dorsal de Pacífico Oriental a los 21° de latitud norte ( Grupo Cyamex, 1979). Los estudios de la química de las chimeneas hidrotermales (Edmond et al, 1982) y los depósitos de sedimentos metalíferos ricos en cobre, zinc y hierro en está area (Carranza et al., 1986) en está area, sugieren la posibilidad de una contribución significativa de metales desde la Dorsal hacia los terrenos de nódulos polimetálicos, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en el Océano Pacífico.

Se ha reportado (Piper et al, 1979) para el Pacífico Ecuatorial Norte una franja (Fig. 3-1) donde se encuentran los nódulos polimetálicos de máximo interés comercial, los cuales tienen un contenido relativamente alto de níquel y cobre, en un intervalo de 1 y 2 % respectivamente. Una porción de dicha franja está incluida en la Zona Económica Exclusiva de México (ZEE).

En el presente trabajo se estudian muestras de 18 estaciones localizadas en la región de la Dorsal del Pacífico Oriental, a la que se denominó Region A ;de 16 estaciones en el area correspondiente a la porción reportada como la zona rica en nódulos de interés comercial , a la que se denominó Región C; y de 2 transectos con 5 y 7 estaciones cada uno, los cuales ligan a las regiones A y C , a esta última región se le denominó Región B (Fig. 3-2).



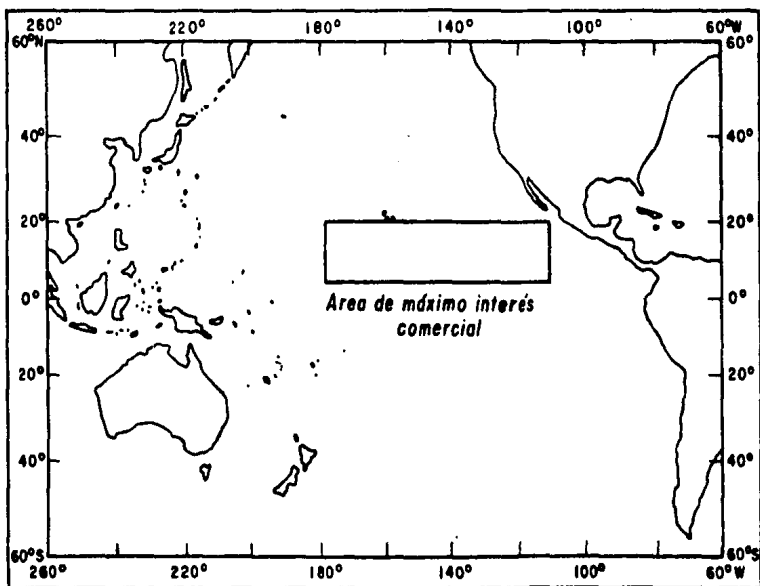


FIGURA 3-1.- AREA DE NODULOS POLIMETALICOS DE MAXIMO INTERES COMERCIAL (TOMADO DE : PIPER ET AL. , 1979).





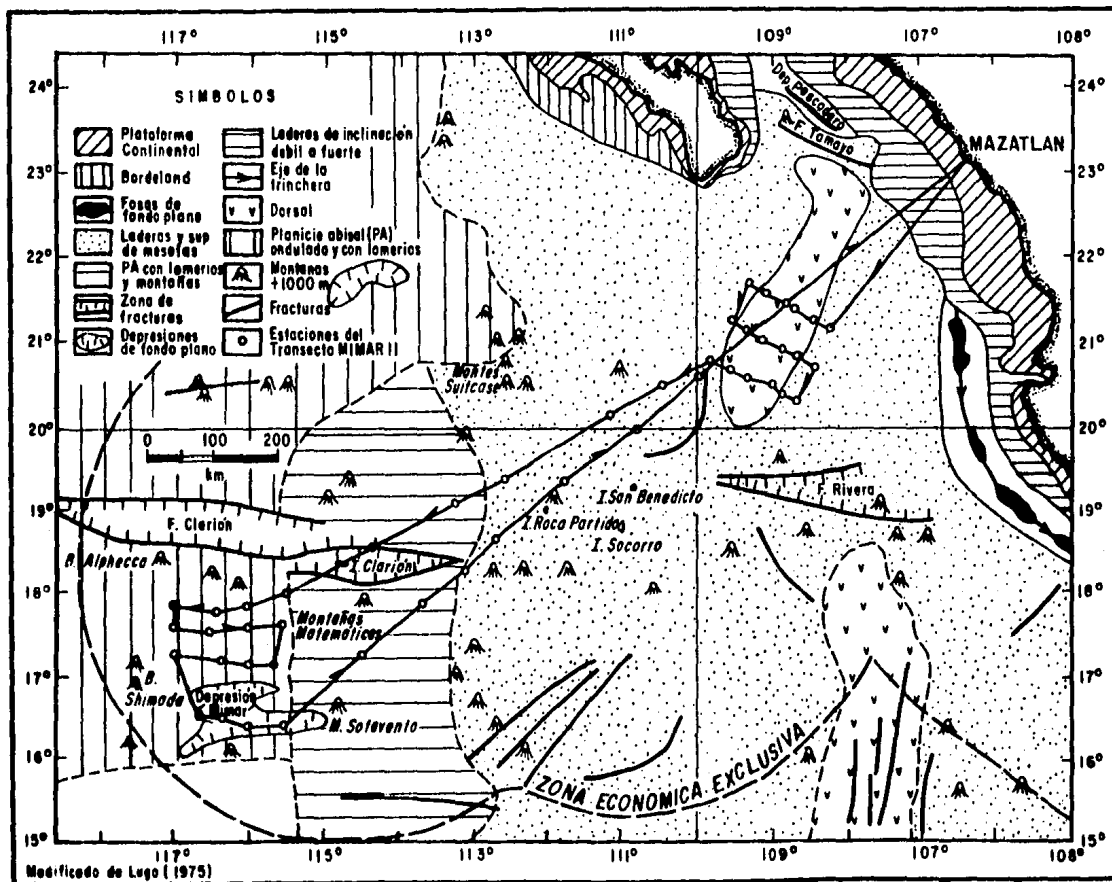


FIGURA 3-4. - MORFOESTRUCTURAS DEL FONDO OCEANICO.  
( TOMADO DE LUGO . 1985 ) .

El area de estudio se encuentra ubicada entre los meridianos  $105^{\circ}$  y  $118^{\circ}$  de longitud oeste, y entre los paralelos  $15^{\circ}$  y  $24^{\circ}$  de latitud norte en el Pacifico Oriental. (Fig.3-2). En la tabla 3-1 se enlista la posición geográfica de las estaciones estudiadas, la profundidad a la que se colectaron las muestras, así como la fecha de muestreo.

La Dorsal del Pacifico Oriental tiene una tasa de apertura entre 6 y 18 cm por año, alrededor de los  $21^{\circ}$ N está situado el último sector bien definido, antes de que la Dorsal se interne en el Golfo de California; entre las zonas de fractura Rivera y Tamayo. La cresta de la Dorsal está caracterizada en  $21^{\circ}$ N, por presentar una convexidad de 5 Km de ancho, cortada por un valle axial poco profundo. La cresta está formada por lavas de menos de 100,000 años y está situada a 2600 m de profundidad. La corteza más joven ocupa una banda estrecha hacia el centro del valle (Grupo Cyamex,1980). En la Fig. 3-3 se representan los límites geológicos del area de la Dorsal, constituidos por zonas de extrusion, de extensión y de grandes fallamientos en bloques. Las chimeneas hidrotermales se concentran en un area de 200 a 300 m de ancho dentro de la zona 1. De las 25 chimeneas localizadas en el area, 8 han sido estudiadas por el sumergible Alvin (Spiess et al., 1980).

Con objeto de visualizar con mayor claridad el area de estudio, se presenta el plano de morfoestructuras del fondo oceanico (Lugo, 1985). (Fig. 3-4).

Como se observa en la Fig.3-2 la profundidad del piso oceanico

TABLA 3-1.- LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

| ESTACION | LATITUD NORTE |      | LONGITUD OESTE |      | PROFUNDIDAD<br>m |
|----------|---------------|------|----------------|------|------------------|
|          | o             | i    | o              | i    |                  |
| 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 | 108            | 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 | 109            | 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 | 3550             |
| 41       | 17            | 52.7 | 113            | 43.3 | 3500             |
| 43       | 18            | 38.3 | 112            | 43.1 | 3350             |
| 44       | 29            | 23.3 | 111            | 47.3 | 3350             |
| 45       | 20            | 00.2 | 110            | 48.6 | 3150             |

aumenta hacia el oeste a partir de la Dorsal. Por otro lado, en la Fig 3-4 se observa que las zonas de fractura Riviera y Clarion, la isla Clarion y el archipiélago Revillagigedo trazan un lineamiento 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 (Ramirez, 1987).

Existe poca información respecto a la circulación en las zonas profundas de esta area, Ramirez (1987) plantea la hipótesis de una circulación general hacia el oeste a partir de la Dorsal del Pacífico Oriental, como está documentada para el Pacífico suroriental (Reid, 1982, Stommel, 1982).

Estudios realizados por Gurikova (1966) basados en datos de temperatura y densidad en el Pacífico Norte en el verano le permitieron proponer un modelo de circulación de corrientes de fondo, en el que a profundidades de 1500 a 3000 metros la circulación de fondo es en sentido opuesto a la de superficie: giros anticiclónicos se presentan en el oeste, con un gran giro ciclónico en el este. Cálculos geostroficos a profundidades de 0 a 500 metros y de 1500 a 3000 metros en la sección meridional de la parte este del océano indican un transporte mayor de agua profunda hacia el oeste que el agua de superficie transportada por la corriente del Pacífico Norte. La relación que hay entre la descarga superficial hacia el este y la descarga profunda hacia el oeste es del orden de 1:20.

Por otro lado estudios realizados por Huh (1979) usando la distribución de  $Ra^{226}$  para medir la circulación profunda del

Pacífico Norte, mostraron que a latitudes de  $32^{\circ}\text{N}$  y longitudes de  $128^{\circ}\text{W}$  a  $142^{\circ}\text{W}$ , el contenido de  $\text{Ra}^{226}$  muestra un aumento en dirección W-E indicando que su origen radica en el Pacífico Noreste.

En base a lo anterior cabe suponer que existe efectivamente un flujo de corriente en las aguas de fondo en sentido E-W .



## CAPITULO 4

### METODO DE TRABAJO

#### 4-1.- TRABAJO DE CAMPO .

Con base a la información existente en la literatura (Cronan, 1980 , Grupo Cyamex, 1979 ) se planeó la red de estaciones de muestreo, la colecta de las muestras se llevó a cabo utilizando el B/O El Puma.

Del 26 de enero al 10 de febrero de 1986 se efectuó la campaña oceanográfica Mimar II. Los muestreos se realizaron mediante el Tepule (nucleador de gravedad) , y el nucleador de caja (tipo Reineck) . En total se realizaron 17 lances con el nucleador de caja, recuperandose muestras en 5 de ellos, y se hicieron 54 lances con el Tepule , obteniendose muestras en 42 de ellos (Carranza-Edwards A., 1986). En algunas muestras se tomó el agua de fondo sobrenadante al sedimento.

Se recolectaron un total de 47 nucleos de sedimento, algunos de los cuales contenian nódulos polimetálicos. Los nucleos colectados con el Tepule se cortaron a bordo longitudinalmente, una mitad se guardo protegiéndola con plástico y madera y preservandola en uno de los congeladores de el B/O El Puma a temperatura de 4°C . La otra mitad del nucleo se dividió entre los subgrupos de investigación participantes, la parte correspondiente al grupo de química se colocó en bolsas de polietileno debidamente marcadas y se almacenaron a 4°C . A la brevedad posible se sujetaron a un proceso de exprimido por medio de presión con nitrógeno, usando un exprimidor similar al reportado por Robbins y Gustinis (1976); el

agua intersticial así obtenida se dividió en dos partes que se guardaron en frascos de polietileno de aproximadamente 30 ml. La parte destinada al análisis de metales se guardó en frascos previamente lavados con ácido (Moody y Lindstrom, 1977), y se acidularon con 1 ml de ácido clorhídrico diluido (5 ml de HCl concentrado en 2 litros de agua destilada); la otra parte se usó para determinar clorinidad, pH, Eh, y silicatos. Ambas fracciones se almacenaron a 4°C hasta su análisis.

En las muestras de agua de fondo se procedió de inmediato a fijar el oxígeno por el método de Winkler modificado (Carrit y Carpenter, 1966) ; y a valorar la concentración de sulfuros por el método de Clinf (1969) basado en la formación de un complejo de azufre con el N-N-metil p-fenilendiamin sulfato, sin embargo todas las muestras de agua de fondo analizadas no mostraron presencia de sulfúros, por lo que se consideró que estas muestras no eran representativas del agua de fondo.

#### 4-2.- TRABAJO DE LABORATORIO .

División de núcleos en fracciones.- Inicialmente se propuso la división del núcleo en las siguientes fracciones (en cm):

- |             |               |                 |
|-------------|---------------|-----------------|
| 1) 0-0.05   | 6) 4.0-5.5    | 11) 18.5-20.0   |
| 2) 0.5-1.0  | 7) 5.5-7.0    | 12) 50.0-53.0   |
| 3) 1.0-1.75 | 8) 7.0-8.5    | 13) 100.0-103.0 |
| 4) 1.75-2.5 | 9) 8.5-10.0   | 14) 150.0-153.0 |
| 5) 2.5-4.0  | 10) 13.5-15.0 | 15) 197.0-200.0 |

con objeto de tener más detalle en la parte superficial que es donde se llevan a cabo mayor número de cambios. Sin embargo el

dividir en estas fracciones permitía una mínima recuperación del agua intersticial, por lo que únicamente en el núcleo 5 ubicado en la región A se siguió este criterio, en el resto de núcleos estudiados, las fracciones que se tomaron fueron:

- |              |                |
|--------------|----------------|
| 1) 0-3.0     | 5) 15.0-20.0   |
| 2) 3.0-6.0   | 6) 50.0-60.0   |
| 3) 6.0-10.0  | 7) 95.0-105.0  |
| 4) 10.0-15.0 | 8) 140.0-150.0 |

#### Procesado de las muestras de sedimento.-

Una vez divididos los núcleos en fracciones el manejo de estos y de las muestras de sedimento fué el mismo.

Las muestras de sedimento se pusieron a secar en capsulas de porcelana a 105<sup>o</sup>C en la estufa. Una vez secas se molieron en morteros de porcelana y se guardaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, a partir de estas se realizaron los diferentes análisis.

Los análisis realizados en las muestras de sedimento fueron: carbonatos, materia orgánica y metales. Los métodos fueron estandarizados inicialmente para lo que se realizaron "n" (n=5..10) análisis de una misma muestra, y en base a estos resultados se pretendía calcular la precisión de la técnica, la desviación estandard, y el coeficiente de variación. Sin embargo el cálculo de precisión en análisis geoquímicos por el método tradicional dice:

$$P_c = \frac{2 S_c}{C} \times 100$$

P<sub>c</sub>.-Precisión

S<sub>c</sub>.-Estimación de la desviación estandard

C.- Concentración

Este método tiene varias desventajas (Fletcher, 1981) como son:

1) las muestras de control no son necesariamente representativas, ya sea física o químicamente del total de muestras.

2) la precisión así obtenida corresponde a una concentración específica, o bien se obtiene un valor de precisión promedio para un rango de concentraciones.

En base a lo anterior los autores sugieren métodos alternativos de cálculo de precisión (Fletcher, 1981).

En los resultados reportados en el presente trabajo todos los análisis están realizados por duplicado y se reporta el promedio de los dos análisis; los valores son aceptados cuando su coeficiente de variación ( $CV = \frac{100\sigma}{\bar{x}}$ ) es menor al 5 %; si el coeficiente de variación es mayor, se hacen dos nuevas determinaciones de tal modo que CV sea aceptable.

El límite de detección en un sistema analítico está dado por la concentración mínima que puede detectarse con un grado específico de confianza, generalmente se determina calculando la desviación estándar ( $\sigma$ ) de las lecturas de una misma muestra de baja concentración ( $c$ ):

$$L.D. = 2 \frac{\sigma}{\bar{x}} C$$

L.D.- límite de detección

$\sigma$ .- desviación estándar

C.- concentración

$\bar{x}$ .- promedio de lecturas de concentración

En el caso del límite de detección para metales por absorción atómica, el procedimiento consiste en preparar un estándar de concentración aproximadamente igual al límite de concentración

esperado (C<sub>1</sub>), y otro estandar del doble de concentración (C<sub>2</sub>), se hacen hasta 20 lecturas de cada uno y se determina el límite de detección respectivo:

$$L.D_1 = \frac{C_1 \times 2 \sigma}{x}$$

$$L.D_2 = \frac{C_2 \times 2 \sigma}{x}$$

$$L.D. = \frac{LD_1 + LD_2}{2}$$

Los límites de detección reportados en la literatura para diferentes elementos se especifican en la Tabla 4-1 .

**DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA.-** La concentración de carbono orgánico se obtuvo como carbono fácilmente oxidable ( Jackson, 1958; Gaudette, 1974; Loring y Rantala, 1977) , el sedimento seco y molido se somete a una oxidación con ácido crómico generado al mezclar una solución de dicromato de potasio con ácido sulfúrico concentrado, el calor producido en la reacción es suficiente para remover la materia orgánica. El exceso de dicromato de potasio se valora con una solución de sulfato ferroso-amonio usando difenil amina como indicador, se adiciona ácido fosfórico y fluoruro de sodio para eliminar las interferencias producidas por el hierro férrico ( Hesse, 1971).

**DETERMINACION DE CARBONATOS.-** El contenido de carbonatos en los sedimentos se obtuvo a través del uso de un calcímetro Bernard. Una cantidad previamente pesada de sedimento seco, la cual está en función del contenido de carbonatos en el sedimento, se coloca

**TABLA 4-1 LIMITE DE DETECCION DE METALES (Manual de Perkin Elmer, 1976)**

| ELEM | LIM DET<br>µg/ml | ELEM<br>ANAL | LIM DET<br>µg/ml |
|------|------------------|--------------|------------------|
| Al   | 0.02             | Mg           | 0.0001           |
| Ag   | 0.002            | Mn           | 0.0002           |
| Ba   | 0.008            | Na           | 0.0002           |
| Ca   | 0.0005           | Ni           | 0.005            |
| Cd   | 0.001            | Pb           | 0.01             |
| Co   | 0.01             | Si           | 0.02             |
| Cr   | 0.003            | Sn           | 0.07             |
| Cu   | 0.002            | Ti           | 0.04             |
| Fe   | 0.005            | Zn           | 0.001            |
| K    | 0.002            |              |                  |

**TABLA 4-2. CONDICIONES ESTANDARD USADAS PARA ANALISIS DE METALES POR AA.**

|    | Long. de<br>Onda nm | Apertura<br>Banda nm | Tipc<br>Flama  | Interv de<br>Trabajo nm |
|----|---------------------|----------------------|----------------|-------------------------|
| Fe | 248.30              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 2.5-10.0                |
| Mn | 279.50              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 1.0-4.0                 |
| Cu | 324.70              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 2.0-8.0                 |
| Ni | 232.00              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 3.0-12.0                |
| Co | 240.70              | 0.10                 | Acetileno/Aire | 3.0-12.0                |
| Zn | 213.90              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 0.4-1.6                 |
| Ti | 399.80              | 0.10                 | Acetileno/ ON  | 60.0-240.0              |
| Al | 309.30              | 0.20                 | Acetileno/ ON  | 40.0-200.0              |
| Si | 251.60              | 0.20                 | Acetileno/ ON  | 70.0-280.0              |
| Cr | 357.90              | 0.20                 | Acetileno/Aire | 2.0-8.0                 |
| Cd | 228.80              | 0.10                 | Acetileno/Aire | 0.5-2.0                 |
| Pb | 217.00              | 0.10                 | Acetileno/Aire | 5.0-20.0                |
| Ba | 553.60              | 0.20                 | Acetileno/ON   | 10.0-40.0               |
| Sn | 284.00              | 0.10                 | Acetileno/ON   | 25.0-100.0              |
| Ca | 422.70              | 0.20                 | Acetileno/ON   | 1.0-4.0                 |

en el matraz de reacción, se agregan 10 ml de ácido clorhídrico diluido al 10 % y se mide el CO<sub>2</sub> gaseoso desprendido de la reacción.

Los cálculos para una presión atmosférica de 586 mm de Hg (0.77 atm.) y 20 °C considerando 1.0 gramos de carbonatos producen un desplazamiento de volumen de 311.94 ml de acuerdo a:

$$V = \frac{n R T}{P} = \frac{9.991 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 0.082054 \text{ l-atm/}^{\circ}\text{K mol} \times 293^{\circ}\text{C}}{0.77 \text{ atm}}$$

$$V = 311.94 \text{ ml}$$

Cada ml de CO<sub>2</sub> desplazado corresponde a 3.205 x 10<sup>-3</sup> g de CaCO<sub>3</sub>. Por lo tanto considerando una muestra de 0.1 g:

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{3.205 \times 10^{-3} \times 100}{0.1 \text{ g de m}} \times \text{Vol. desplazado}$$

$$\% \text{ CaCO}_3 = 3.205 \times \text{ml desplazados}$$

**DETERMINACION DE METALES PESADOS.**- Para el análisis de metales en los sedimentos es necesario tener los metales en solución, por lo que se realiza primero una extracción ácida que permite pasar a los metales al estado de solución. Existen diferentes métodos de extracción reportados, pero de acuerdo al trabajo de Agemian y Chau (1976) donde efectuaron una comparación de los métodos de extracción más comunmente usados, la extracción efectuada en bombas de digestión ácida bajo condiciones de alta temperatura y presión es la que produce la recuperación mas alta de metales en los sedimentos. En el presente trabajo se siguió el método

descrito por Loring y Rantala (1977) utilizando bombas de digestión ácida de 125 ml Parr. El método de extracción, así como la preparación de standards y las condiciones analíticas utilizadas se describen a continuación.

**EXTRACCION.-** Para análisis de elementos mayores, en este caso Si, Al, Ca, y K, se usó aproximadamente 0.1 g de muestra finamente molida para la extracción, en tanto que para el análisis de elementos traza se usa 1.0 g de muestra.

Se pesa con precisión la muestra de sedimento y se coloca esta en un vaso de teflón dentro de una bomba de digestión Parr, se agrega un ml de agua regia ( $\text{HNO}_3:\text{HCl} / 1:3 \text{ v/v}$ ) y 6 ml de ácido fluorhídrico concentrado, se cierra herméticamente la bomba y se coloca en la estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 4 horas; Después de este tiempo se retira la bomba de la estufa y se deja enfriar, se abre y el extracto ácido se neutraliza con una solución saturada de ácido bórico ( 5.6 g ácido bórico en 100 ml de agua ) y se lleva a volumen constante de 25/50/100 ml dependiendo de la concentración de los elementos estudiados. Si se usa 1.0 g de muestra generalmente se forma un residuo de boro-silicato el cual no interfiere en la determinación de los elementos traza y el que se elimina por centrifugación y decantación. El extracto sobrenadante ya aforado se guarda en frascos de polietileno para su determinación posterior por absorción atómica. Las condiciones analíticas utilizadas se resumen en la tabla 4-2 .

**PREPARACION DE ESTANDARES.-** Los estándares utilizados se preparan a partir de ampollitas comerciales o bien a partir de las sales



metálicas correspondientes, las que se describen a continuación :

**Al.**-(1000µg/ml) Disolver 1.000 g de alambre de aluminio en una cantidad mínima de ácido clorhídrico (1+1) , agregar una pequeña gota de mercurio como catalizador. Diluir a 1 litro con ácido clorhídrico al 1 % (v/v). Filtrar la solución para remover el mercurio.

**Ca.**-(1000µg/ml) .Pesar 2.497 g de carbonato de calcio seco, agregar 50 ml de agua deionizada, agregar gota a gota un volumen mínimo de ácido clorhídrico ( aproximadamente 10 ml) con objeto de disolver completamente el carbonato. Diluir a 1 litro con agua deionizada.

**Fe.**- (1000µg/ml). Disolver 1.000 g de alambre de hierro en 50 ml de ácido nítrico (1+1). Diluir a 1 litro.

**Mg.**- (1000µg/ml). Disolver 1.000 g de tira de magnesio en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (1+1) . Diluir a 1 litro con ácido clorhídrico al 1 % (v/v).

**Mn.**- (1000µg/ml). Disolver 1.000 g de metal de manganeso en un volumen mínimo de ácido nítrico (1+1). Diluir a 1 litro con ácido clorhídrico al 1 % (v/v).

**Si.**- (1000µg/ml). Disolver 10.114 g de metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) y diluir a 1 litro con agua bidestilada.

**Ti.**- (1000µg/ml). Disolver 1.000 g de titanio metálico en 10 ml de ácido fluorhídrico concentrado, agregar 10 ml de agua gota a gota, la pasta que se forma se disuelve con 20 ml de ácido nítrico concentrado, al desaparecer los vapores nitrosos se afora a 1 litro.

litro.

Co.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.000 g de metal de cobalto en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (1+1). Diluir a 1 litro con ácido clorhídrico al 1 % (v/v).

Cr.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 3.735 g de cromato de potasio en 1 litro de agua. Si la determinación se lleva a cabo en una flama de aire-acetileno es necesario reducir el Cr<sup>6+</sup> a Cr<sup>3+</sup> (Rantala y Loring, 1975) . Para el analisis de sedimentos marinos se recomienda el uso de una flama de oxido nitroso-acetileno, ya que si bien tiene menor sensibilidad presenta menos interferencias.

Cu.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.000 g de metal de cobre en un volumen mínimo de ácido nítrico (1+1). Diluir a 1 litro con ácido nítrico al 1 % (v/v).

Ni.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.000 g de metal de níquel en un volumen mínimo de ácido nítrico (1+1). Diluir a 1 litro con ácido nítrico al 1 % (v/v).

Pb.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.598 g de nitrato de plomo en 1 litro de ácido nítrico al 1 % (v/v).

Zn.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.000 g de metal de zinc en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (1+1). Diluir a 1 litro con ácido clorhídrico al 1 % (v/v).

Cd.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.000 g de cadmio en un volumen mínimo de ácido nítrico 1:1, y diluir a 1 litro.

Ba.- (1000 $\mu$ g/ml). Disolver 1.7785 g de cloruro de bario (BaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) en agua y diluir a 1 litro.

**INTERCALIBRACION DEL METODO ANALITICO DE METALES.**— Con el objeto de que los diferentes laboratorios en el mundo que realizan análisis de metales puedan verificar los métodos analíticos usados, el laboratorio de Radioactividad Marina del Organismo Internacional de Energía Atómica ubicado en Mónaco, organizó en 1985 un ejercicio de intercalibración de metales (Report 24, Int.At. En. Ag. 1985).

El material usado en este ejercicio fué sedimento natural de tamaño fino colectado en los primeros 30 cm de la zona costera del Estuario Scheldt en el Mar del Norte cuya composición aproximada es de:

|       |                      |
|-------|----------------------|
| 60 %  | Cuarzo               |
| 20 %  | Calcita              |
| 10 %  | Minerales Arcillosos |
| 6 %   | Feldespatos          |
| 3 %   | Cloruro de Sodio     |
| 1-2 % | Pirita               |

En este ejercicio participaron 69 laboratorios, y los resultados se clasificaron en 3 categorías: A = Satisfactorio,; B = Aceptable y C = No Certificado.

Los criterios en los que se basaron para la certificación fueron:

1) Para un intervalo de concentración dado la incertidumbre relativa de la mediana total ( a un nivel de confianza de 0.05 ) no excede los siguientes límites:

|                           |       |      |
|---------------------------|-------|------|
| 100 - 500 $\mu\text{g/g}$ | $\pm$ | 20 % |
| 10 - 100 $\mu\text{g/g}$  | $\pm$ | 30 % |

0.1 - 10  $\mu\text{g/g}$  -50 % a +60 %

< 0.1  $\mu\text{g/g}$  -50 % a +100 %

2) La mediana total se basa en datos obtenidos cuando menos por 2 métodos diferentes.

3) Más de la mitad de las medianas de todas las medias de los grupos de laboratorios obtenidas por diferentes métodos analíticos y calculados en base a cuando menos 3 resultados, están comprendidas dentro de los límites de confianza de la mediana total.

4) El número relativo de medias de laboratorio rechazadas no excede: a) 0 %, b) 30 % y c) 50 %.

5) La mediana total se calculó en base a cuando menos el siguiente número de medias de laboratorio: a) 5, b) 3, c) 2.

Así el valor dado de concentración de un elemento se clasifico de acuerdo con los siguientes criterios:

CLASE A.- cuando llena los primeros tres criterios y el criterio 4b y 5a, se le considera un valor con un grado de confianza satisfactorio.

CLASE B.- cuando un análisis reúne los criterios 1,2,3,4b,5b o 1,2,3,4a,5a, se considera que tiene un grado aceptable de confianza.

CLASE C.- cuando el análisis reúne los criterios 4a y 5c o 4c y 5b y su intervalo de confianza es razonable en función del nivel de concentración a que se trabaje , se le considera información no-certificada.

De acuerdo con esta intercalibración, 14 elementos correspondieron a la CLASE A, 13 elementos a la CLASE B, 16 elementos a la CLASE C,. (La mayoría de estos últimos pasaría a la CLASE B con un poco más de información).

Algunos elementos como Al, Ca, Fe, Mg, Si, Ti, K, y Na no se certificaron debido a que usando métodos químicos tradicionales se puede obtener mayor exactitud que la reportada aquí. Sin embargo, los datos reportados en estos análisis se pueden usar como valores de referencia en aquellos casos donde variaciones de  $\pm 5\%$  se consideran aceptables.

La muestra de sedimentos SD-N-1/2 se analizó por duplicado en el laboratorio de química del ICML ( Cd. de México) , los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4-3 .

Los resultados de Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Al y Mg caen dentro del intervalo de confianza de 0.05, en tanto los resultados obtenidos para Cu, Cr, Mn y Fe , si bien estan fuera del intervalo de confianza de 0.05, se encuentran dentro del intervalo de concentración aceptado en esta intercalibración.

AGUA INTERSTICIAL.- Los análisis efectuados en una de las fracciones de agua intersticial fueron: salinidad, pH, Eh, y nutrientes; en la otra fracción se analizó Fe y Mn.

La salinidad se determinó por titulación de 1 ml de muestra cuidadosamente pesado, con una solución 0.20 N de  $\text{AgNO}_3$  , usando cromato de potasio como indicador ( Strickland y Parsons, 1968). Las lecturas de Eh y pH no se efectuaron inmediatamente después de obtenida el agua intersticial dado que el proceso de

**TABLA 4-3.- INTERCALIBRACION DEL METODO ANALITICO PARA METALES PESADOS.** Realizada con la muestra SD-N 1/2 proporcionada por el Laboratorio de Marine Radioactivity del Organismo Internacional de Energia Atómica . En base a la intercalibración realizada en Mónaco en Junio de 1985 los resultados son: A:Satisfactorio; B:Acceptable; C:No certificada.

|    | Intervalo de Concentración aceptado ( $\mu\text{g/g}$ ) | Conc. Promedio estab. ( $\mu\text{g/g}$ ) | Intervalo de Confianza ( $\alpha = 0.05$ ) | Result. Intercalibración 1985 | Conc. Rep. ICML ( $\mu\text{g/g}$ ) |
|----|---|---|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| Cu | 53.4 - 92.0   | 72.2                                      | 68.1 - 75.2                                | A                             | 57.0                                |
| Ni | 21.0 - 44.98  | 31.0                                      | 27.0 - 34.0                                | A                             | 30.5                                |
| Co | 7.48 - 14.50  | 12.1                                      | 11.2 - 12.7                                | A                             | 10.7                                |
| Cr | 51.0 - 213.86   | 149.0                                     | 125.0 - 161.0                              | A                             | 121.8                               |
| Pb | 85.5 - 154.0  | 120.0                                     | 112.0 - 132.0                              | A                             | 131.0                               |
| Zn | 342.0 - 549.0   | 439.0                                     | 432.0 - 452.0                              | A                             | 441.4                               |
| Cd | 7.6 - 13.3  | 11.0                                      | 10.0 - 12.0                                | A                             | 9.9                                 |
| Mn | 459.9 - 927.0   | 777.0                                     | 728.0 - 801.0                              | A                             | 841.5                               |
| Fe | 2.5 - 4.3   | 3.64                                      | 3.53 - 3.78                                | *                             | 4.22                                |
| Al | 3.36 - 4.01   | 3.75 %                                    | 3.53 - 3.78                                | *                             | 3.85                                |
| Mg | 0.67 - 0.82   | 0.76 %                                    | 0.74 - 0.79                                | *                             | 0.76                                |
| Si | 26.10 - 29.23   | 28.05 %                                   | 26.10- 29.23                               | *                             |                                     |
| Ti | 0.20 - 0.35   | 0.27 %                                    | 0.24 - 0.31                                | *                             | 0.45                                |

\* Valores no-certificados

extracción de esta fué en algunos casos muy lento.

Para la lectura de pH se usó un electrodo de vidrio, y un electrodo de referencia relleno con una solución de KCl 4M saturado con Ag . Los electrodos fueron calibrados con 2 soluciones buffer de pH de 4 y 7 . Las lecturas de pH se realizaron en un potenciómetro Orion Modelo 901.

Para las mediciones de Eh se empleó un electrodo de platino construido mediante la unión de un alambre de platino en el extremo de un tubo de vidrio. El alambre de platino usado fué de 0.5 mm de diametro y 16 mm de largo, el área del electrodo era de alrededor de  $25 \text{ mm}^2$  ( Bagander y Niemisto, 1978 ). El electrodo de referencia fué un electrodo de plata-cloruro de plata. Un puente de Agar y sal ( cloruro de potasio 0.12 M, nitrato de potasio 0.18 M y Agar al 2 % ) se usó para poner en contacto la muestra con el electrodo de referencia. El potencial del electrodo de referencia incluyendo el puente a  $25^\circ\text{C}$  es de 241 mv. Los electrodos se conectaron a un potenciómetro Orion Modelo 901.

Los electrodos se calibraron con una solución de Sobell (ferricianuro de potasio 0.003 M y cloruro de potasio 0.1 M ) que tiene un valor de Eh de +430 mv a  $25^\circ\text{C}$  .

Al calibrar el sistema de electrodos en el laboratorio con la solución de Sobell se obtuvo una lectura de 422.4 mv.

$$\text{lect.} + 241 \text{ mv (elect. ref.)} = 422.4 \text{ mv}$$

$$\text{E puente} = 422.4 - 185.6(\text{Sobell}) = 236.8 \text{ mv}$$

$$\text{Eh} = \text{lect.} + 236.8 \text{ mv}$$

La sílica en el agua intersticial se midió usando un

autoanalizador Technicon Mod II . El método usado fué la formación de un complejo azul de Ácido-B-Silico-molibdico, con absorción máxima a 880 nm (Technicon Multi.Test II, 1974).

Para determinar los metales en agua intersticial se usó inicialmente el horno de grafito CRA-90 Varian. Se inició la medición de cobre en un intervalo de 0.005 a 0.02 ppm , sin embargo todas las muestras analizadas (n=18) quedaban por debajo de este valor; en base a estos resultados, a la escasa muestra disponible, así como a lo caro de los análisis por horno de grafito se procedió a leer unicamente la concentración de Fe y Mn por analisis de absorción directa en la flama. Las condiciones de análisis son las mencionadas en la Tabla 4-2 .

NODULOS.- Posteriormente a la determinación de su peso, tamaño, morfología, y textura, se seleccionaron los nódulos para su estudio químico , en base a su posición geográfica y a su ubicación dentro de la columna de sedimentos. El material se molió y homogenizó; en algunos casos se guardó una mitad como testigo y en otros se molió el total del nódulo. En la Tabla 4-4 se detalla la relación de nódulos colectados así como la porción total o parcial utilizada en los análisis posteriores.

Por último, una vez homogenizadas las muestras de nódulos se procedió a la extracción de metales siguiendo el mismo método descrito para los sedimentos y a su cuantificación por absorción atómica.



**TABLA 4-4.- RELACION DE NODULOS RECOLECTADOS DURANTE LA CAMPANA  
 OCEANOGRAFICA MIMAR II .**

| EST. | NODULO<br>No. | PORCION<br>ANALIZADA | DESTINO PORCION NO-ANALIZADA              |
|------|---------------|----------------------|---|
| 19   | 2             | -                    | Colección (embebido completo en acrílico) |
| 19   | 2             | Mitad                | Colección (mitad embebida en acrílico)    |
| 20   | 3             | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 21   | 4             | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 22   | 5             | Completo             | -   |
| 22   | 6             | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 22   | 7             | -                    | Colección (embebido completo en acrílico) |
| 22   | 8             | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 22   | 9             | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 22   | 10            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 22   | 11            | Fragmento            | Resto disponible                          |
| 27   | 12            | Completo             | -   |
| 27   | 13            | -                    | Testigo disponible                        |
| 27   | 14            | Completo             | -   |
| 27   | 15            | -                    | Colección (embebido completo en acrílico) |
| 27   | 16            | Completo             | -   |
| 27   | 17            | -                    | Colección                                 |
| 27   | 18            | -                    | Colección                                 |
| 27   | 19            | Completo             | -   |
| 27   | 20            | Completo             | -   |
| 27   | 21            | Completo             | -   |
| 28   | 22            | Completo             | -   |
| 28   | 23            | Completo             | -   |
| 28   | 24            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 25            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 26            | Completo             | -   |
| 28   | 27            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 28            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 29            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 30            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 31            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 32            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 33            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 34            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 28   | 35            | Completo             | -   |
| 31   | 36            | -                    | Nódulo testigo                            |
| 32   | 37            | Completo             | -   |
| 32   | 38            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 39            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 40            | -                    | Colección                                 |
| 33   | 41            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 42            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 43            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 44            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |
| 33   | 45            | Mitad                | Mitad testigo disponible                  |

Tabla 4-4 Continuación

|    |    |           |                           |
|----|----|-----------|---------------------------|
| 33 | 46 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 33 | 47 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 33 | 48 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 36 | 49 | -         | Colección                 |
| 36 | 50 | Completo  | -                         |
| 36 | 51 | -         | Nódulo testigo disponible |
| 36 | 52 | Fragmento | Resto disponible          |
| 37 | 53 | Mitad     | Colección                 |
| 38 | 54 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 39 | 55 | Completo  | -                         |
| 38 | 56 | -         | Nódulo testigo            |
| 38 | 57 | -         | Nódulo testigo            |
| 38 | 58 | -         | Nódulo testigo            |
| 38 | 59 | -         | Colección                 |
| 39 | 60 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 39 | 61 | Mitad     | Mitad testigo disponible  |
| 39 | 62 | -         | Colección                 |
| 39 | 63 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 64 | -         | Colección                 |
| 39 | 65 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 66 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 67 | Mitad     | Mitad testigo             |
| 39 | 68 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 69 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 70 | -         | Nódulo testigo            |
| 39 | 71 | -         | Colección                 |
| 39 | 72 | Completo  | -                         |
| 40 | 73 | Fragmento | Colección (mitad)         |
| 45 | 74 | Mitad     | Mitad testigo             |
| 45 | 75 | -         | Colección                 |
| 45 | 76 | -         | Colección                 |
| 45 | 77 | -         | Colección                 |
| 45 | 78 | Mitad     | Mitad testigo             |

**ROCAS.-** Las rocas se molieron a un polvo fino, y fueron sometidas a un proceso de extracción de metales similar al usado para los sedimentos; sin embargo los valores obtenidos de concentración de Ti eran muy altos por lo que alternativamente se analizaron por medio de un método colorimétrico, usando sulfato de berilo en medio ácido (Armienta y Juárez, 1986).

La extracción de la muestra se llevó a cabo, por digestión en un vaso de teflón de 1 gramo de roca pulverizada con 10 ml de ácido perclórico y 30 ml de ácido fluorhídrico; la muestra se calienta y se evapora lentamente casi a sequedad hasta observar la expulsión de vapores de ácido perclórico. Se disuelve el residuo con 10 ml de ácido perclórico y 200 ml de agua, y se lleva a 250 ml. Esta solución se usa para formar el complejo colorido con el sulfato de berilio, el cual se lee en el espectrofotómetro a 420 nm .

## CAPITULO 5

### RESULTADOS

#### 5-1.- ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES .

Se ha reportado que el análisis detallado de la dispersión de elementos en los sedimentos permite localizar áreas de actividad hidrotermal (Cronan, 1980), y el análisis interelemental permite evaluar los componentes detríticos, autigénicos, hidrotermales y biogénicos de los sedimentos (Dymond, 1981). Por otro lado, el análisis de los datos mineralógicos de los sedimentos de cada región, permite inferir el papel de la mineralogía de los sedimentos en la química de los nódulos polimetálicos. En el presente trabajo se intenta, a través del análisis químico de las muestras de sedimento superficial y del agua intersticial de los mismos, analizar la distribución geoquímica de elementos y su posible relación con los diferentes procesos que intervienen en el aporte de metales.

En la Tabla 5-1-1 se presenta el color del sedimento superficial y los porcentajes de sus constituyentes expresados en tamaño de arena, grava y lodo (Ramirez-Argaez, 1987). En la Región A predominan los colores pardo-grisáceo, pardo-olivo y olivo; en tanto que en las regiones B y C, predominan los colores pardo-oscuro, y pardo-amarillento-oscuro. Desde 1956, Pettijohn reportó que existe una relación aparente entre el color y las condiciones redox del sedimento, los colores oscuros estan

Tabla 5-1-1 COLOR DEL SEDIMENTO Y PORCIENTO DE GRAVA, ARENA Y LODO  
EN EL SEDIMENTO SUPERFICIAL (Ramirez-Argaez, 1987).

| Estación | Color                      | Grava | Areña | Lodo  |
|----------|----------------------------|-------|-------|-------|
| 1        | Gris Olivo                 | 0.00  | 21.9  | 78.92 |
| 2        | Pardo grisáceo oscuro      | 0.00  | 6.1   | 93.9  |
| 5        | Pardo grisáceo oscuro      | 0.00  | 4.2   | 95.8  |
| 6        | Olivo                      | 0.00  | 0.8   | 99.2  |
| 7        | Pardo grisáceo             | 0.00  | 2.6   | 97.4  |
| 8        | Pardo grisáceo muy oscuro  | 0.00  | 3.2   | 96.8  |
| 10       | Pardo                      | 0.00  | 2.2   | 97.8  |
| 12       | Pardo grisáceo muy oscuro  | 0.00  | 2.3   | 97.7  |
| 13       | Pardo                      | 0.00  | 2.8   | 97.2  |
| 14       | Pardo oscuro               | 0.00  | 4.0   | 96.0  |
| 17       | Pardo olivo                | 0.00  | 2.7   | 97.3  |
| 18       | Pardo oscuro               | 0.00  | 3.9   | 96.1  |
| X        |                            | 0.00  | 4.72  | 95.3  |
| 19       | Pardo oscuro               | 0.30  | 3.1   | 96.6  |
| 20       | Pardo oscuro               | 0.00  | 3.3   | 96.7  |
| 21       | Pardo oscuro               | 0.00  | 1.9   | 98.1  |
| 22       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 0.7   | 99.3  |
| 40       | Pardo oscuro               | 0.30  | 2.1   | 97.6  |
| 41       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 1.0   | 99.0  |
| 44       | Pardo amarillento muy osc. | 0.00  | 1.8   | 98.2  |
| 45       | Pardo oscuro               | 1.10  | 8.7   | 90.2  |
| X        |                            | -     | 1.99  | 97.9  |
| 25       | Pardo oscuro               | 0.00  | 1.58  | 98.5  |
| 26       | Pardo                      | 9.6   | 0.9   | 89.5  |
| 27       | Pardo oscuro               | 0.00  | 2.0   | 98.0  |
| 28       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 1.7   | 98.3  |
| 30       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 2.4   | 97.6  |
| 31       | Pardo oscuro               | 0.00  | 0.4   | 99.6  |
| 32       | Pardo                      | 0.00  | 0.6   | 99.4  |
| 33       | Pardo oscuro               | 0.00  | 0.9   | 99.1  |
| 36       | Pardo amarillento oscuro   | 0.6   | 0.9   | 98.5  |
| 37       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 0.70  | 99.3  |
| 38       | Pardo oscuro               | 0.00  | 3.9   | 96.1  |
| 39       | Pardo amarillento oscuro   | 0.00  | 2.3   | 97.7  |
| X        |                            | -     | 1.52  | 97.6  |

asociados a ambientes más reductores, así el Fe férrico es de un color rojo intenso en un medio oxidante y se vuelve más tenue en un ambiente reductor. Los colores encontrados en el área de estudio sugieren condiciones más reductoras hacia la región A y más oxidantes hacia la región C.

En relación a la distribución granulométrica, se presenta una disminución general del porcentaje de arenas desde la Dorsal hacia el oeste, con excepción de la est. 45 cercana al archipiélago Revillagigedo donde se presenta un aumento en la proporción de arenas que no corresponde al comportamiento general y que aparentemente es un reflejo de la influencia de las islas del Archipiélago.

Un examen de la fracción arenosa al microscopio binocular, indica la presencia de elementos de origen volcánico submarino, organismos pelágicos, minerales autigénicos y concreciones de arcilla endurecida. (Ramírez-Argaez, 1987).

En la fracción A los detritos volcánicos predominan sobre los detritos de origen pelágico y prácticamente no se detectaron detritos autigénicos. En las regiones B y C los detritos de origen pelágico predominan sobre los detritos volcánicos, y los detritos autigénicos representan una porción importante de la fracción arenosa. El análisis del sedimento superficial al microscopio binocular (Ramírez-Argaez, 1987) muestra que en la región A hay valores de 2 a 10 % de palagonita y vidrio volcánico, la distribución de cuarzo en esta zona es bastante homogénea, el valor más bajo detectado se ubica en esta área (2 %) .La

proporción de óxidos e hidróxidos es más baja en la región A que en las regiones B y C , donde el rango varía de 4 a 8 %.

La distribución de radiolarios y diatomeas en la región A fluctúa entre el 15 y el 28 % habiendo más o menos la misma proporción de ambas. En la región B la concentración de palagonita y vidrio volcánico es de 3 a 9 %, incrementandose el contenido de estos hacia el norte y el oeste de esta área; el contenido de cuarzo más alto (9 %) de todas las regiones estudiadas se ubicó en esta área. La concentración de óxidos e hidróxidos varía entre 6 y 14.5 %. La distribución de radiolarios y diatomeas es similar al observado en la región A, con fluctuaciones entre el 15 y el 28 %, con un ligero predominio de radiolarios sobre diatomeas. (Ramirez-Argaez, 1987).

Según el mismo autor la región C presenta altas anomalías en su contenido de palagonita y vidrio, variando entre 5 y 19 % .En la estación 34 se observa el valor más alto. Por otro lado, el contenido de cuarzo varía entre 3 y 9 % sin apreciarse un patrón homogéneo en la distribución de la concentración de cuarzo. Los óxidos e hidróxidos presentan los valores más altos en la parte suroeste de la región C, el resto de esta región es muy similar a la región B. En la región C se aprecia un predominio de radiolarios sobre diatomeas.

De acuerdo a los datos anteriores los componentes principales de los sedimentos se pueden agrupar en 4 grupos que son: 1) los productos del vulcanismo submarino como son el vidrio volcánico, la palagonita y tal vez el cuarzo; 2) los aportes

biogénicos representados por las diatomeas y radiolarios; 3) productos autigénicos como los óxidos e hidróxidos así como los minerales opacos; 4) y los minerales arcillosos cuyo origen puede ser múltiple (Ramírez-Argaez, 1987).

La mineralogía de la fracción arcillosa de las muestras superficiales (0-40 cm) (Tabla 5-1-2), presenta a la montmorillonita ( $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2P(Al, Fe)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$ ), como el mineral más importante en todas las regiones estudiadas; le siguen en orden decreciente: illita ( $KAl_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ ), caolinita ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), cuarzo ( $SiO_2$ ), calcita ( $CaCO_3$ ), zeolitas (aluminosilicatos hidratados), y pirita ( $FeS_2$ ). (Lozano-Santa Cruz, en prensa).

La montmorillonita es más abundante en la región A, y va disminuyendo conforme la distancia a el continente aumenta; simultáneamente la illita aumenta su concentración lo que sugiere una mayor influencia de aportes terrigenos y/o volcánicos en la región A.

La caolinita se incrementa ligeramente al pasar de la región A a la C, el incremento alcanza a detectarse en las cercanías de la Isla Clarion; se ha reportado (Grim, 1953) que la caolinita puede formarse a partir de feldespatos y vidrio volcánico, bajo condiciones de alta temperatura y presión en presencia de hidroxido de aluminio, sílice, y cloruro de potasio, en condiciones ácidas; la relación  $Al_2O_3:SiO_2$  es el factor que determina el mineral que se va a formar.

En la fracción mayor que 0.064 mm y menor que 0.20 mm principalmente se encontraron los siguientes minerales: zeolitas



TABLA 5-1-2. -CONCENTRACION DE MINERALES EN ARCILLAS DE SEDIMENTOS  
 SUPERFICIALES EN EL AREA DE ESTUDIO (Modificado de  
 Lozano-SantaCruz, en prensa)

| Región | Estación | Montmorillonita | Illita | Caolinita | Cuarzo |
|--------|----------|-----------------|--------|-----------|--------|
|        | 2        | 31.5            | 47.2   | 11.1      | 10.0   |
|        | 5        | 38.4            | 48.3   | 5.8       | 7.6    |
|        | 7        | 33.1            | 54.0   | 8.8       | 5.8    |
| A      | 8        | 47.3            | 41.5   | 7.5       | 3.5    |
|        | 11       | 50.1            | 23.9   | 8.7       | 8.1    |
|        | 13       | 53.4            | 28.3   | 14.7      | 5.4    |
|        | 15       | 51.8            | 28.4   | 10.0      | 9.6    |
|        | X        | 44.94           | 33.7   | 9.3       | 7.14   |
|        | 21       | 26.1            | 55.9   | 11.9      | 5.8    |
|        | 22       | 40.0            | 43.8   | 11.0      | 4.9    |
|        | 40       | 22.5            | 56.5   | 14.3      | 6.5    |
| B      | 41       | 46.0            | 39.1   | 8.4       | 6.3    |
|        | 43       | 44.3            | 41.0   | 10.4      | 4.1    |
|        | 44       | 49.1            | 31.7   | 12.3      | 6.0    |
|        | 45       | 42.7            | 37.0   | 11.7      | 8.3    |
|        | X        | 38.67           | 43.57  | 11.43     | 4.98   |
|        | 25       | 18.9            | 66.2   | 11.0      | 3.6    |
|        | 26       | 28.0            | 57.9   | 7.6       | 6.4    |
|        | 27       | 31.2            | 50.5   | 10.1      | 7.9    |
|        | 28       | 43.4            | 40.1   | 10.3      | 6.0    |
|        | 30       | 28.8            | 55.9   | 7.7       | 7.4    |
| C      | 31       | 26.2            | 54.8   | 12.4      | 6.5    |
|        | 32       | 41.9            | 42.0   | 8.4       | 7.5    |
|        | 35       | 20.3            | 66.5   | 8.8       | 4.1    |
|        | 37       | 28.8            | 57.4   | 7.8       | 5.8    |
|        | 38       | 42.0            | 41.9   | 8.6       | 7.3    |
|        | 39       | 34.1            | 54.8   | 5.8       | 5.1    |
|        | X        | 31.23           | 53.45  | 8.95      | 6.14   |

(posiblemente philipsita  $(K_2Ca)(Al_2Si_4O_{12}) \cdot 4.5 H_2O$ , epistilbita  $(Na_2Ca)(Al_2Si_6O_{16}) \cdot 6H_2O$ , yeso  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$ , calcita  $(CaCO_3)$ , pirita  $(FeS)$ , y feldspatos  $(Na,K,Ca:Na(AlSi_3O_8)K(AlSi_3O_8)Ca(Al_2Si_2O_8))$ .

Las zeolitas presentes en la fracción arcillosa se observan en muy pequeña cantidad, pero en la fracción mayor que 0.064 las zeolitas son abundantes. Se ha reportado (Betejtin, 1970) que estos minerales surgen a bajas presiones en las últimas fases de bajas temperaturas de los procesos hidrotermales, encontrándose asociados al cuarzo y a la calcita entre otros.

El yeso se observó en ambas fracciones, tanto la arcillosa como la fracción mayor a 0.064 mm, en esta última se presentan cristales pequeños bien formados, estos pueden ser el producto de oxidación del azufre aportado en la región de la Dorsal el cual puede pasar a sulfato de calcio deshidratado (Lozano-Santa Cruz, en prensa).

La calcita se observa en ambas fracciones y su origen se atribuye a la descomposición de restos de origen orgánico ya que en la fracción mayor que 0.064 mm se encontraron restos de conchas y testas de foraminíferos principalmente. (Ramírez-Argaéz, 1987)

Se eligieron los elementos químicos a estudiar en 36 muestras de sedimentos superficiales correspondientes a los diferentes sitios de muestreo tomándose en consideración: 1) los estudios realizados de las aguas emanadas de las chimeneas hidrotermales localizadas a los  $21^\circ$  de latitud Norte (Edmond et al., 1982) que reportan anomalías en las concentraciones de elementos tales como: Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Si, etc. 2) los estudios de rocas colectadas en las inmediaciones de estas chimeneas (Carranza et al., 1986), que

reportan altas concentraciones de elementos tales como Zn, Fe, Cu, Pb; 3) la composición química de nódulos polimetálicos en donde se reportan (Usui, 1979) altas concentraciones de Fe, Mn, Ni, Cu, Co, Mg, Si, y 4) las concentraciones altas de Ti asociadas a procesos de vulcanismo (Spock, 1962).

Los resultados obtenidos en este estudio se reportan en la Tabla 5-1-3; un análisis de esta información muestra concentraciones más altas de materia orgánica y Zn en la región A, y un incremento de concentración de Cu y Ti de la región A hacia la C; con objeto de observar de una manera más clara la diferencia entre zonas, se calculó el valor promedio de cada parámetro, así como la desviación estándar en cada una de las regiones estudiadas, que permitiera medir el grado de dispersión de los valores promedio (Tabla 5-1-4). La Tabla 5-1-4 muestra un aumento gradual en la concentración de materia orgánica, Pb, Zn, Sn y Mg de la región C a la región A; en tanto que Cu, Ti, Mn, y Al aumentan su concentración al ir de la región A hacia las regiones B y C. Con objeto de comparar los datos del presente trabajo con datos reportados en la literatura, se reportan las concentraciones de los elementos mayores como óxidos (Tabla 5-1-5), y el valor promedio de cada zona, así como el valor promedio de arcillas pelágicas del Pacífico (APP) (Bischoff, 1979) en la Tabla 5-1-6; si bien los valores de APP están en su mayoría basados en análisis de espectrografía óptica y se consideran semicuantitativos, son, de acuerdo a Bischoff (1979) el valor mejor estimado a la fecha de la composición promedio de APP.

TABLA 5-1-3.- ANALISIS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES. (tomado de Carranza-Edwards, 1986)

| EST | COLOR | CARB | H.D. | Cu    | Ni    | Cr    | Co     | Pb      | Zn     | Ba    | Sn     | Fe   | Al   | Ti   | Mg   | Mn   | Si    | PRES. |     |
|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-----|
|     |       | (%)  | (%)  | (ppm) | (ppm) | (ppm) | (ppm)  | (ppm)   | (ppm)  | (ppm) | (ppm)  | (%)  | (%)  | (%)  | (%)  | (%)  | (%)   | (%)   | MOD |
| 2   | 2     | 1.17 | 1.97 | 239   | 442   | 43.26 | 27.5   | ND      | 415.4  | 127.8 | 130.3  | 4.82 | 5.21 | 0.66 | 2.22 | 0.18 | 20.11 | 0     |     |
| 5   | 2     | 1.65 | 1.47 | 150   | 277   | 50.28 | ND     | 89.28   | 206.74 | 249.7 | 783.4  | 5.63 | 6.56 | 0.47 | 0.54 | 0.11 | 24.58 | 0     |     |
| 6   | 1     | 1.2  | 2.25 | 192   | 388   | 37.3  | 38.39  | ND      | 409.41 | 149.4 | 597.7  | 4.83 | 4.98 | 0.46 | 2.02 | 0.41 | 18.74 | 0     |     |
| 7   | 2     | 1.11 | 1.66 | 206   | 457   | 36.4  | 70.36  | 70.29   | 328.43 | 122.7 | 600.8  | 4.77 | 5.15 | 0.53 | 1.47 | 1.7  | 21.29 | 0     |     |
| 8   | 2     | 1.05 | 0.46 | 403   | 290   | 41.2  | 70.08  | 53.63   | 289.04 | 145.6 | 91.9   | 4.95 | 4.79 | 0.56 | 1.65 | 0.96 | 17.51 | 0     |     |
| 10  | 2     | 1.33 | 1.95 | 147   | 146   | 36.6  | ND     | ND      | 250.57 | 351.5 | 51.1   | 4.9  | 6.13 | 0.32 | 0.56 | 0.09 | 38.74 | 0     |     |
| 11  | 3     | 1.65 | 1.3  | 127   | 306   | 20.2  | ND     | ND      | 177.64 | 429.3 | 91.8   | 5.18 | 6.1  | 0.63 | 3.41 | 0.23 | 25.73 | 0     |     |
| 12  | 2     | 1.59 | 0.7  | 216   | 456   | 10.5  | 42.05  | ND      | 306.49 | 640.1 | 99.7   | 5.27 | 6.78 | 0.47 | 0.18 | 0.17 | 27.23 | 0     |     |
| 13  | 3     | 1.52 | 0.83 | 177   | 262   | 29.1  | ND     | ND      | 159.4  | 193.8 | 193.8  | 9.24 | 4.26 | 0.45 | 0.26 | ND   | 24.79 | 0     |     |
| 14  | 4     | 1.52 | 0.63 | 171   | 301   | 23.2  | 40.57  | ND      | 123.22 | 431.8 | 96.2   | 5.98 | 4.13 | 0.43 | 0.17 | 0.76 | 19.23 | 0     |     |
| 15  | 1     | 1.2  | 0.07 | 178   | 205   | 30    | 64.39  | ND      | 276.65 | 444   | 3000   | 5.69 | 4.9  | 0.44 | 0.55 | 0.28 | 24.91 | 0     |     |
| 16  | 5     | 1.52 | 1.08 | 120   | 526   | 204.4 | 181.26 | 6421.75 | 143.67 | 248.9 | 5188   | 7.32 | 6.27 | 0.44 | 4.79 | 1.6  | 24.13 | 0     |     |
| 17  | 1     | 1.35 | 0.58 | 139   | 198   | 31.8  | 111.53 | ND      | 1286.2 | 877.5 | 1892.4 | 5.22 | 4.88 | 0.44 | 0.09 | 0.27 | 22.22 | 0     |     |
| 18  | 4     | 1.33 | 0.98 | 149   | 324   | 23.79 | 159.9  | 33.25   | 254.5  | 663.2 | 2063.3 | 4.35 | 4.72 | 0.52 | 0.09 | 0.53 | 26.74 | 0     |     |
| 19  | 4     | 2.22 | 0.61 | 205   | 372   | 24.33 | 208.5  | 75.27   | 153.56 | 827.3 | 1006.4 | 3.81 | 5.03 | 0.52 | 0.09 | 1.11 | 27.1  | 1     |     |
| 20  | 4     | 1.81 | 0.25 | 277   | 559   | 20.3  | 216.55 | 107.73  | 173.73 | 429.7 | 1898.9 | 4.1  | 6.99 | 0.53 | 0.09 | 1.75 | 27.2  | 1     |     |
| 21  | 4     | 1.11 | 0.51 | 265   | 369   | 15.8  | 273.9  | 135.25  | 119.24 | 755.7 | 1156.7 | 4.43 | 7.23 | 0.52 | 0.33 | 1.02 | 22.19 | 1     |     |
| 22  | 5     | 1.78 | 0.3  | 320   | 336   | 33.2  | 249.91 | 41.23   | 148.05 | 730.8 | 784.8  | 4.66 | 6.96 | 0.53 | 0.09 | 1.01 | 29.06 | 1     |     |
| 40  | 4     | 0.95 | 0.37 | 446   | 533   | 39.68 | 429    | 99.3    | 164.77 | 182.9 | ND     | 5.76 | 6.99 | 0.71 | 0.55 | 1.38 | 27.49 | 1     |     |
| 41  | 4     | 1.05 | 0.31 | 358   | 231   | 47.39 | 382.05 | 189.14  | 115.54 | 217.6 | 49.7   | 5.07 | 7.27 | 0.6  | 0.36 | 1.67 | 16.66 | 0     |     |
| 43  | 2     | 0.86 | 0.3  | 415   | 603   | 76.25 | 386.31 | 188.61  | 158.19 | 247.9 | ND     | 4.94 | 7.27 | 0.6  | 0.36 | 1.67 | 16.66 | 0     |     |
| 44  | 4     | 0.76 | 0.52 | 363   | 432   | 42.25 | 453.92 | 33.91   | 85.02  | 166.3 | ND     | 4.18 | 8.37 | 0.55 | 0.21 | 1.44 | 27.22 | 0     |     |
| 45  | 4     | 0.95 | 0.38 | 324   | 275   | 50.26 | 314.52 | ND      | 124.63 | 812.2 | 782.9  | 2.98 | 7.61 | 0.46 | 1    | 0.71 | 24.09 | 1     |     |
| 25  | 4     | 1.59 | 0.4  | 320   | 176   | 24.22 | 353.82 | ND      | 117.84 | 432.2 | 698.7  | 4.91 | 5.59 | 0.68 | 0.27 | 0.54 | 26.5  | 0     |     |
| 26  | 3     | 1.3  | 0.1  | 320   | 202   | 33.82 | 714.35 | ND      | 117.84 | 432.2 | 698.7  | 4.91 | 5.59 | 0.68 | 0.27 | 0.54 | 26.5  | 0     |     |
| 27  | 4     | 1.59 | 0.21 | 679   | 797   | 48.3  | 455.72 | 179.74  | 165.05 | 526.9 | 879.8  | 5.8  | 7.33 | 0.95 | 0.77 | 1.8  | 29.06 | 1     |     |
| 28  | 4     | 1.46 | 0.49 | 301   | 179   | 21.85 | 320.87 | 170.07  | 127.76 | 842.2 | 687.9  | 5.15 | 5.31 | 0.46 | 0.18 | 0.47 | 26.55 | 1     |     |
| 30  | 4     | 1.3  | 0.3  | 313   | 215   | 45.52 | 37.72  | 33.83   | 122.68 | 875.8 | 394    | 5.56 | 7.6  | 0.73 | 0.89 | 0.54 | 17.78 | 0     |     |
| 31  | 3     | 1.71 | 0.41 | 330   | 200   | 35.51 | 298.79 | 33.55   | 122.97 | 246.7 | 694    | 5.32 | 7.24 | 0.98 | 0.18 | 0.77 | 23.07 | 1     |     |
| 32  | 3     | 1.59 | 0.42 | 533   | 414   | 35.42 | 186.51 | 89.28   | 139.57 | 160.4 | 297    | 5.47 | 7.82 | 0.74 | 0.36 | 1.18 | 25.05 | 1     |     |
| 33  | 4     | 1.24 | 0.11 | 326   | 227   | 42.68 | 811.42 | 193.53  | 116.53 | 27.12 | 293.8  | 5.97 | 7.41 | 0.61 | 0.27 | 0.7  | 23.54 | 1     |     |
| 34  | 4     | 1.36 | 0.24 | 454   | 289   | 31.81 | 282.18 | ND      | 136.76 | 143.4 | 194.2  | 5.54 | 8.16 | 0.47 | 0.09 | 0.76 | 23.38 | 0     |     |
| 36  | 4     | 1.49 | 0.04 | 461   | 249   | 35.04 | 663.12 | 17.1    | 147.29 | 246.5 | 195.6  | 7.19 | 7.43 | 0.48 | 0.18 | 1.11 | 25.58 | 1     |     |
| 37  | 4     | 1.21 | 0.1  | 436   | 447   | 33.8  | 311.3  | 41.96   | 158.94 | 176.7 | 49.9   | 6.48 | 7.29 | 0.51 | 0.09 | 1.32 | 22.17 | 1     |     |
| 38  | 4     | 1.33 | 0.3  | 528   | 518   | 35.7  | 424.47 | 74.51   | 156.63 | 182.3 | ND     | 6.84 | 7.1  | 0.51 | 1.01 | 1.6  | 26.25 | 1     |     |
| 39  | 4     | 1.11 | 0.21 | 384   | 325   | 37.17 | 381.97 | 41.38   | 131.58 | 232.3 | 100.1  | 6.32 | 5.91 | 0.64 | 0.91 | 1.33 | 25.36 | 1     |     |

Color: 1.-Olivio 2.-Siseno 3.-Pardo 4.-Pardo Oscuro 5.-Negro  
 Modulos: 0.-Ausencia 1.-Presencia  
 ND: No se Detecto

TABLA 5-1-4.- VALOR PROMEDIO DE COMPOSICION QUIMICA ELEMENTAL EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES EN LAS DIFERENTES REGIONES DE ESTUDIO.

| Parametro | X       | REGION A   |          | X      | REGION B  |          |        | REGION C  |           |
|-----------|---------|------------|----------|--------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|
|           |         | Interv     | Desv.Est |        | Interv    | Desv.Est | X      | Interv    | Desv.Est. |
| N.Org(%)  | 1.22    | 0.46-2.25  | 0.60     | 0.40   | 0.25-0.61 | 0.12     | 0.29   | 0.09-0.5  | 0.17      |
| Carb(%)   | 1.38    | 1.05-1.67  | 0.21     | 1.34   | 0.76-2.22 | 0.51     | 1.36   | 0.95-1.71 | 0.21      |
| Cu (ppm)  | 136.70  | 120-403    | 107.00   | 330.00 | 205-446   | 75.30    | 415.00 | 301-679   | 114.50    |
| Ni (ppm)  | 327.00  | 146-526    | 112.00   | 403.00 | 176-603   | 142.90   | 333.00 | 179-797   | 174.40    |
| Cr (ppm)  | 44.00   | 10.5-204.4 | 47.30    | 36.00  | 15.8-76.2 | 18.50    | 37.50  | 21.85-50. | 7.59      |
| Co (ppm)  | 576.00  | 0.0-181    | 58.20    | 326.00 | 208.5-454 | 91.50    | 430.00 | 186-811   | 195.70    |
| Pb (ppm)  | 476.00  | 0.0-6500   | 1711.00  | 96.80  | 0.0-189   | 66.60    | 67.30  | 0.0-193   | 70.30     |
| Zn (ppm)  | 258.00  | 123-415    | 16.00    | 141.00 | 85-174    | 28.70    | 136.00 | 118-159   | 16.10     |
| Ba (ppm)  | 363.00  | 123-878    | 233.00   | 419.00 | 166-827   | 27.60    | 407.00 | 143-812   | 286.00    |
| Sn (ppm)  | 1085.00 | 51-5489    | 1566.00  | 544.00 | 0.0-1006  | 699.00   | 405.00 | 0.0-879   | 304.00    |
| Fe (ppm)  | 5.60    | 4.35-9.24  | 1.27     | 4.40   | 2.98-5.76 | 0.80     | 5.83   | 4.91-7.19 | 0.69      |
| Al (ppm)  | 5.35    | 4.13-6.56  | 0.86     | 7.10   | 5.0-8.37  | 0.89     | 7.01   | 5.31-8.16 | 0.87      |
| Ti (ppm)  | 0.49    | 0.43-0.66  | 0.09     | 0.57   | 0.52-0.71 | 0.08     | 0.63   | 0.46-0.95 | 0.15      |
| Mg (ppm)  | 1.29    | 0.09-4.79  | 1.42     | 0.56   | 0.1-1.0   | 0.71     | 0.38   | 0.1-1.0   | 0.34      |
| Mn (ppm)  | 0.52    | 0.0-1.7    | 0.55     | 1.20   | 0.71-1.44 | 0.38     | 0.95   | 0.47-1.80 | 0.44      |
| Si (ppm)  | 23.99   | 17.5-38.7  | 5.25     | 25.42  | 18.7-29.0 | 3.25     | 24.83  | 17.8-29.1 | 2.94      |

TABLA 515 - COMPOSICION QUIMICA DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LAS REGIONES DE ESTUDIO

| Est | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | TiO <sub>2</sub> | MgO  | CaCO <sub>3</sub> |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|------|-------------------|
| 2   | 43.04            | 9.84                           | 6.89                           | 0.23 | 1.1              | 3.68 | 1.95              |
| 5   | 52.67            | 12.39                          | 8.34                           | 0.14 | 0.78             | 0.89 | 2.75              |
| 6   | 40.15            | 9.41                           | 6.91                           | 0.53 | 0.77             | 3.35 | 2                 |
| 7   | 45.54            | 9.72                           | 6.82                           | 2.03 | 0.92             | 2.44 | 1.85              |
| 8   | 37.45            | 9.05                           | 7.08                           | 1.24 | 0.93             | 2.73 | 1.75              |
| 10  |                  | 11.58                          | 7                              | 0.01 | 0.53             | 0.93 | 2.22              |
| 11  | 55.03            | 11.52                          | 7.41                           | 4.61 | 1.05             | 5.65 | 2.75              |
| 12  | 58.24            | 12.81                          | 7.53                           | 0.22 | 0.78             | 0.3  | 2.65              |
| 13  | 53.06            | 8.04                           | 13.21                          | 0    | 0.75             | 0.43 | 2.53              |
| 14  | 41.13            | 7.8                            | 8.55                           | 0.98 | 0.72             | 0.28 | 2.53              |
| 15  | 53.28            | 9.26                           | 8.13                           | 0.36 | 0.73             | 0.91 | 2                 |
| 16  | 51.61            | 11.85                          | 10.47                          | 2.06 | 0.73             | 2.65 | 2.53              |
| 17  | 47.52            | 9.22                           | 7.46                           | 0.35 | 0.73             | 0.15 | 2.58              |
| 18  | 57.19            | 8.92                           | 6.22                           | 1.19 | 0.87             | 0.15 | 2.22              |
| 19  | 57.96            | 9.5                            | 5.48                           | 1.43 | 0.87             | 0.15 | 3.7               |
| 20  | 58.18            | 13.2                           | 5.86                           | 2.26 | 0.88             | 0.15 | 3.02              |
| 21  | 47.46            | 13.66                          | 6.33                           | 1.32 | 0.87             | 0.55 | 1.85              |
| 22  | 62.16            | 13.15                          | 6.66                           | 1.3  | 0.88             | 0.15 | 2.97              |
| 40  | 58.8             | 13.2                           | 8.23                           | 1.78 | 1.18             | 0.91 | 1.58              |
| 41  | 55.25            | 13.77                          | 7.24                           | 0.3  | 1.11             | 3.81 | 1.75              |
| 43  | 39.91            | 13.73                          | 7.06                           | 2.15 | 1                | 0.6  | 1.43              |
| 44  | 58.22            | 15.81                          | 5.97                           | 1.86 | 0.92             | 0.35 | 1.27              |
| 45  | 51.53            | 14.31                          | 4.26                           | 0.92 | 0.77             | 1.66 | 2.65              |
| 25  | 56.38            | 13.13                          | 7.56                           | 0.81 | 1.32             | 0.15 | 1.58              |
| 26  | 56.68            | 10.56                          | 7.02                           | 0.7  | 1.13             | 0.45 | 2.17              |
| 27  | 62.16            | 13.85                          | 8.29                           | 2.32 | 1.58             | 1.28 | 2.65              |
| 28  | 61.07            | 10.03                          | 7.36                           | 0.61 | 0.77             | 0.3  | 2.43              |
| 30  | 38.03            | 14.36                          | 7.95                           | 0.7  | 1.22             | 1.48 | 2.17              |
| 31  | 49.35            | 13.67                          | 7.61                           | 0.99 | 0.97             | 0.3  | 2.85              |
| 32  | 53.56            | 14.77                          | 7.82                           | 1.52 | 1.23             | 0.6  | 2.65              |
| 33  | 49.28            | 14.05                          | 8.53                           | 0.9  | 1.02             | 0.45 | 2.07              |
| 34  | 50               | 15.42                          | 7.92                           | 0.98 | 0.78             | 0.15 | 2.27              |
| 36  | 54.71            | 14.03                          | 10.28                          | 1.43 | 0.8              | 0.3  | 2.48              |
| 37  | 47.42            | 13.77                          | 9.27                           | 1.7  | 0.85             | 0.15 | 2.02              |
| 38  | 13.41            | 9.77                           | 2.06                           | 0.85 | 1.67             | 1.67 | 2.22              |
| 39  | 54.67            | 11.17                          | 9.04                           | 1.72 | 1.07             | 1.51 | 1.85              |

El análisis comparativo de las regiones del presente estudio y APP muestra que la concentración de  $\text{SiO}_2$  es muy similar entre las regiones B y C y APP, sin embargo el valor de la región A es significativamente más bajo. No obstante, según Heath y Dymond (1977), para hacer una comparación válida entre sedimentos con diferentes proporciones de sus componentes, la relación entre los óxidos de los elementos revela diferencias más reales. El aluminio usualmente se presenta en la fracción arcillosa y se usa para normalizar los elementos presentes en esta fracción (Heath y Dymond, 1977); en tanto que el manganeso se usa para normalizar los elementos de la fracción hidrogénica (Krishnawami, 1976).

Los valores de la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tabla 5-1-7) muestran que la región A es relativamente más alta en su concentración de  $\text{SiO}_2$  que las zonas B, C o APP; adicionalmente en la zona A se observan mayores variaciones en el contenido de sílica pues presenta una desviación estándar más grande (Tabla 5-1-5) que en B o C. De acuerdo con Cronan (1980), es posible ubicar depósitos hidrotermales por la concentración elevada de sílica en las inmediaciones de dichos depósitos; en la Fig. 5-1-1 se presentan los gradientes de concentración de sílica en la región A, en la cual se observa una concentración anormalmente alta de sílica en la Est 10, la que está muy cercana al área de chimeneas hidrotermales estudiadas por el DSRV Alvin (Fig. 3-3) lo que apoya el concepto de sílica asociada a las chimeneas hidrotermales propuesto por Cronan (1980).

En la región C los valores más altos se presentan en la Est. 27 y

TABLA 5-1-6.- COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DE LAS REGIONES  
DE ESTUDIO Y DE ARCILLAS PELAGICAS DEL PACIFICO

| %                              | REGION A | REGION B | REGION C | APP  |
|--------------------------------|----------|----------|----------|------|
| SiO <sub>2</sub>               | 48.92    | 54.38    | 52.78    | 54.9 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.1     | 13.37    | 13.25    | 16.6 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.0      | 6.34     | 8.34     | 7.7  |
| MgO                            | 1.75     | 0.92     | 0.68     | 3.4  |
| CaO                            | 1.29     | 1.26     | 1.27     | 0.7  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.81     | 0.94     | 1.06     | 0.78 |
| MnO                            | 0.98     | 1.55     | 1.26     | 0.56 |
| C. Org.                        | 1.22     | 0.39     | 0.29     | 0.27 |

\* Bischoff, 1979

TABLA 5-1-7.- RELACION DE OXIDOS DE LOS ELEMENTOS DE LAS REGIONES DE  
ESTUDIO Y DE ARCILLAS PELAGICAS PROMEDIO DEL PACIFICO.

|  | Región A | Región B | Región C | APP <sup>a</sup> |
|--|----------|----------|----------|------------------|
| SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 4.84     | 4.06     | 3.98     | 3.30             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.79     | 0.47     | 0.63     | 0.46             |
| MgO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                             | 0.17     | 0.069    | 0.051    | 0.20             |
| TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>               | 0.08     | 0.07     | 0.08     | 0.05             |
| MnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                             | 0.097    | 0.116    | 0.095    | 0.033            |

\* Bischoff, 1979



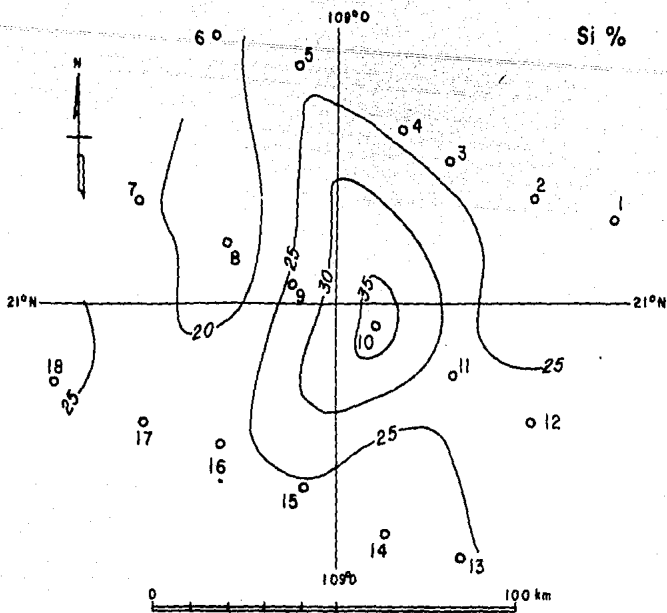


FIGURA 5-1-1. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE SILICE EN LA REGION A .

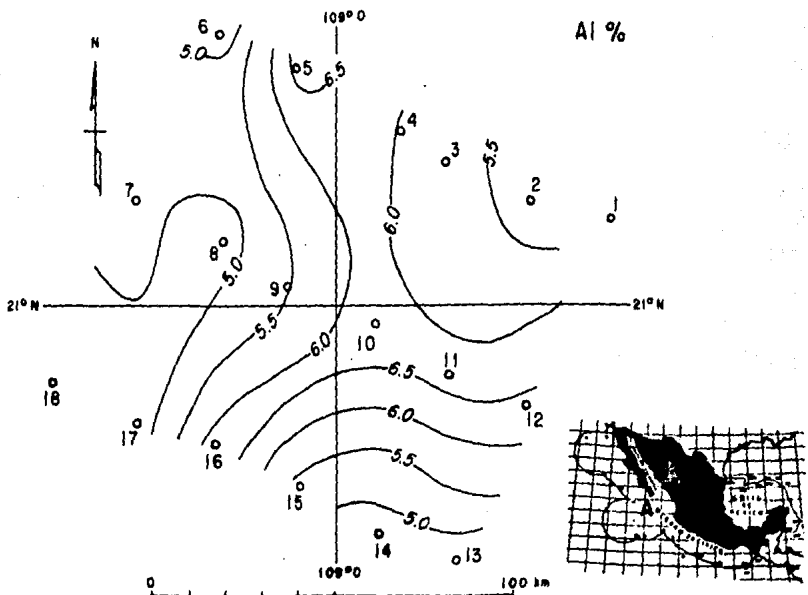
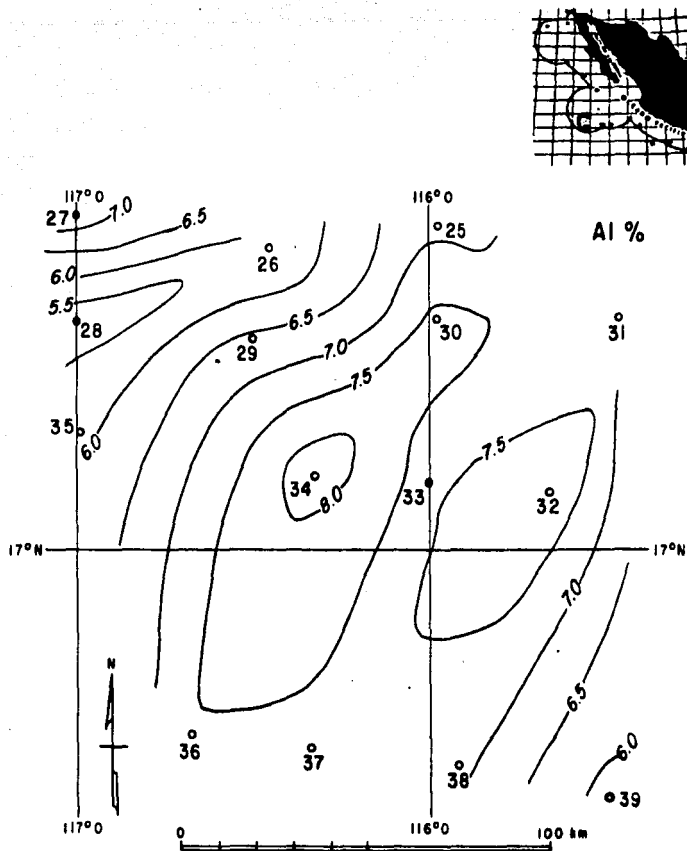


FIGURA 5-1-2. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE ALUMINIO EN LA REGION A .

se observa una tendencia hacia una mayor acumulación de sílica en la Depresión Mimar.

Se ha reportado (Bostrom et al., 1969), que los aportes de aluminio por los sistemas hidrotermales es nulo. La baja concentración o ausencia de este elemento se ha usado como parámetro indicativo de la presencia de sedimentos concentrados de origen hidrotermal; en el presente trabajo se encontraron los valores más bajos de aluminio en la región A (10.1 %) (Fig.5-1-2); los valores más altos de aluminio se presentan hacia el centro de la región A, con una disminución paulatina hacia los flancos. Las concentraciones más bajas de aluminio dentro de la región A, se registran en las Est. 8, 13, y 14, lo que sugiere actividad hidrotermal cercana a estas estaciones de muestreo. En las regiones B y C se observaron valores promedio de 13 % de  $Al_2O_3$ , que si bien es más alto que los valores observados en la región A, está por debajo de los valores promedio de los APP (16.6 %). Los valores más altos de aluminio se presentan hacia el centro de la región C (Fig.5-1-3), la región B presenta valores intermedios de aluminio (Fig.5-1-4). Al representar graficamente la relación  $SiO_2$  vs  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$  vs  $Al_2O_3$  (Fig 5-1-5y 5-1-6), se observa una tendencia de separación entre las diferentes regiones de estudio, especialmente la región A, y las regiones B y C dada por las concentraciones más bajas de aluminio en la región A.

Si se considera el contenido de  $Al_2O_3$  en las APP, como el aporte de arcillas pelágicas, y se toma este valor como referencia; el contenido de  $Al_2O_3$  en el área de estudio refleja 60.8 % de



**FIGURA 5-1-3.- GRADIENTES DE CONCENTRACION DE ALUMINIO EN LA REGION C .**

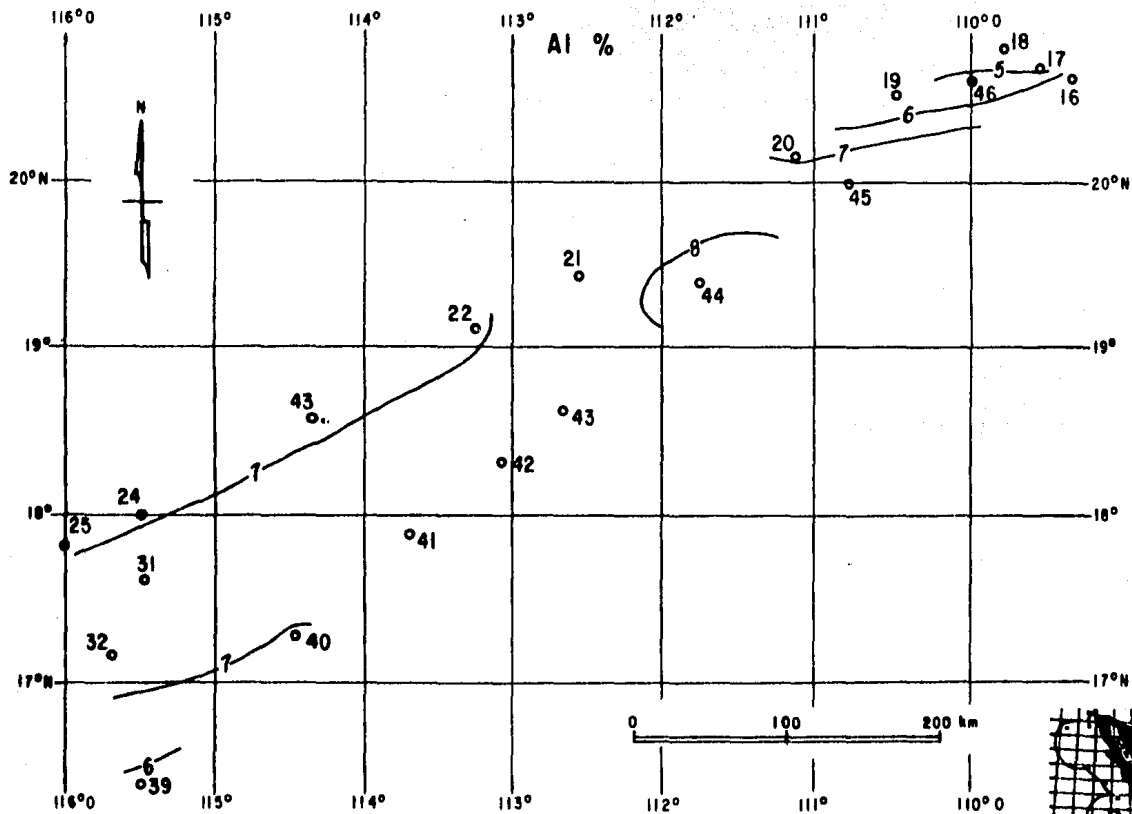
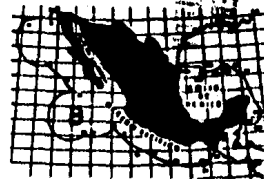


FIGURA 5-1-4 . - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE ALUMINIO EN LA REGION B .

ESTE TEXTO  
 SERA DE LA  
 COLECCION  
 DE LA  
 BIBLIOTECA  
 NACIONAL  
 DE CIENCIAS  
 Y TECNOLOGIA



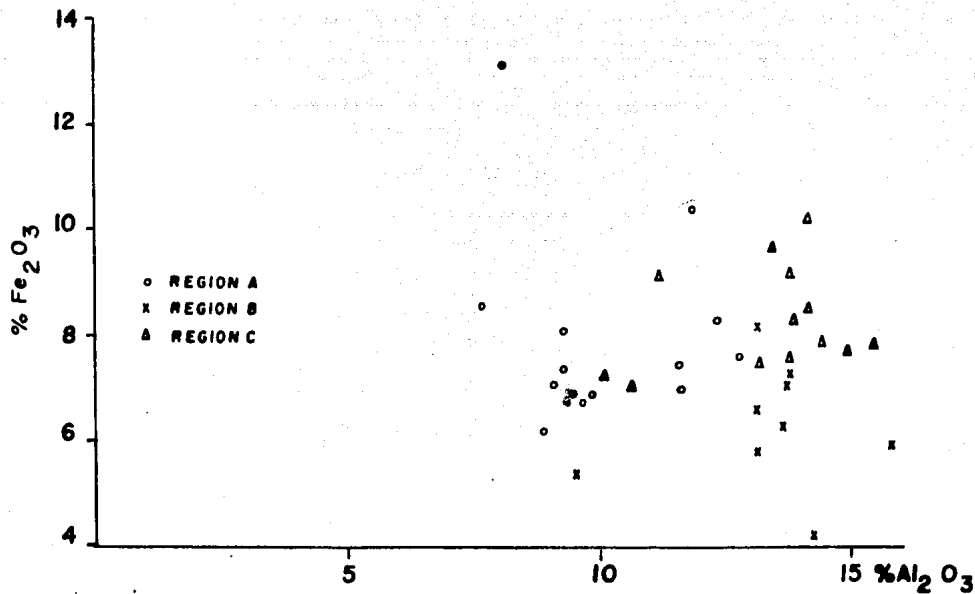


FIGURA 5-1-5.- RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE HIERRO Y ALUMINIO.

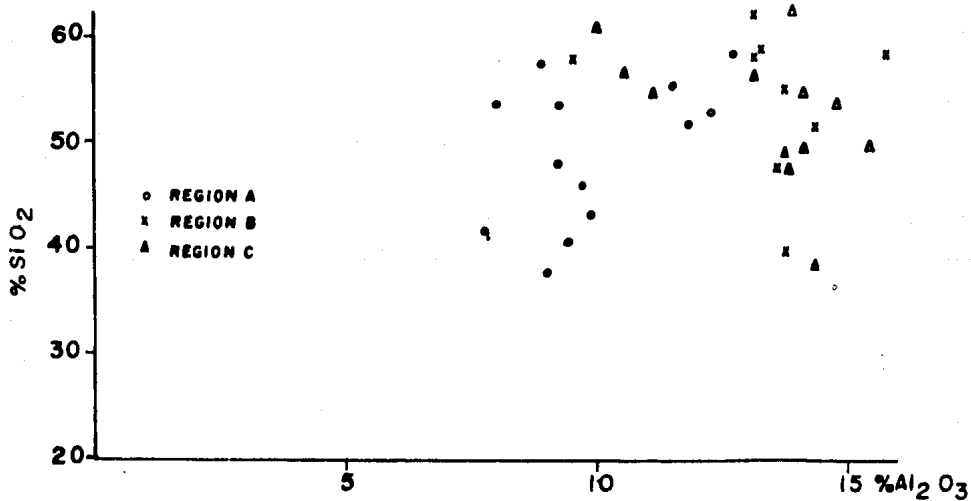


FIGURA 5-1-6.- RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE SILICE Y ALUMINIO.

arcillas pelágicas en la región A, 80.5 % en la región B y 79.82 % en la región C.

El valor de la relación  $Fe_2O_3/Al_2O_3$  es esencialmente idéntica para la región B y para las APP, lo que indica una asociación regular de  $Fe_2O_3$  a las arcillas, sin embargo este valor es significativamente más alto en las regiones A y C; esto sugiere que hay un aporte de hierro por los procesos que se están llevando a cabo en estas áreas, hidrotermales en la región A, formación de nódulos polimetálicos en la región C. . Dado que se han reportado concentraciones altas de hierro en sedimentos asociados a procesos hidrotermales (Dymond y Veeh, 1975), y al alto contenido de hierro encontrado en los nódulos polimetálicos, lo que sugiere una anomalía de concentración de hierro en los sedimentos asociados. Calvert y Price (1977) estudiando la relación nódulo-sedimento concluyeron que estos tienen una composición semejante cuando los nódulos se han formado por la precipitación directa de los metales a partir del agua de mar. Por otro lado la parte norte de la región C , donde se presentan los nódulos más ricos en Hierro , está ubicada en el dominio de la fractura Clarion donde la posibilidad de la existencia de procesos hidrotermales similares a los que se presentan en la región A es alta.

La distribución de Fe en la región A (Fig. 5-1-7) muestra una concentración mayor de Fe hacia el extremo sur de esta región, (Est. 13 Fig. 5-1-7); en tanto que en la región C la mayor concentración de Fe se presenta en la depresión Mimar. (Fig.5-1-8). La distribución de Ca y Mg en los sedimentos de mar profundo está

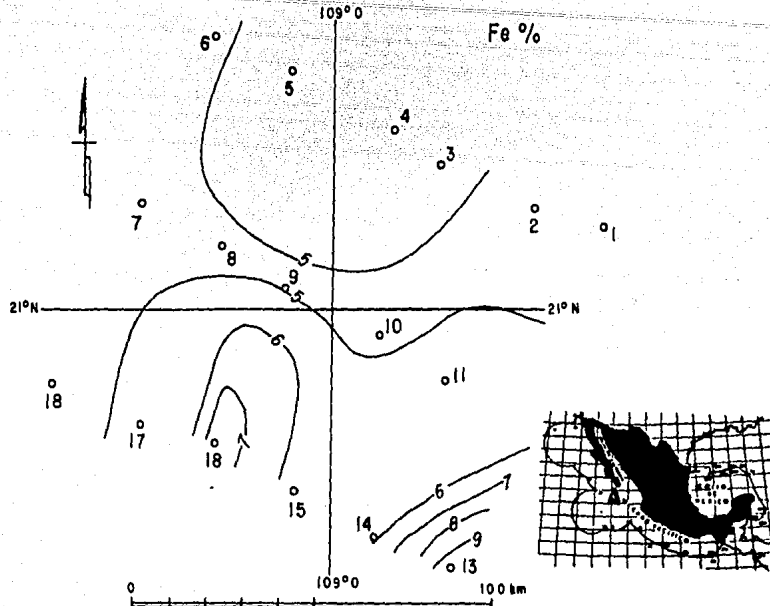


FIGURA 5-1-7. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE HIERRO EN LA REGION A.

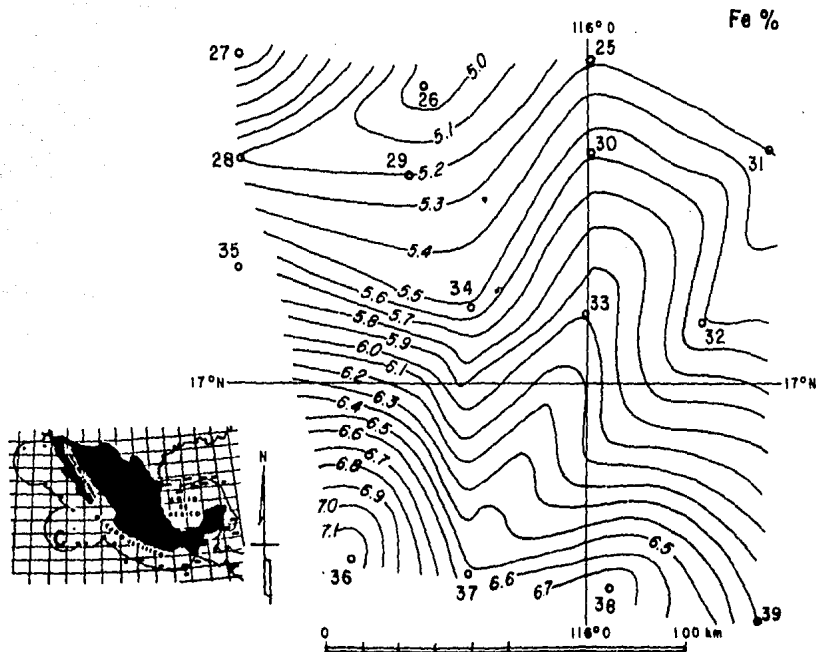


FIGURA 5-1-8. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE HIERRO EN LA REGION C.

controlada en gran parte por los procesos biológicos (Riley y Chester, 1976). Ambos elementos pueden incorporarse también como minerales por lixiviación de la corteza (minerales arcillosos, feldespatos, etc.) y ser transportados al oceano con los detritus terrestres; aparentemente este es el caso, pues el análisis de la fracción arcillosa por rayos X, señala una mayor concentración de montmorillonita en la región A.

El valor de la relación  $TiO_2/Al_2O_3$  es más alto en las áreas estudiadas en el presente trabajo que en las APP. El titanio puede estar presente en los sedimentos de mar profundo como parte del material terrígeno, basáltico, autigénico ó en las fases biogénicas (Riley y Chester, 1976); Goldberg y Arrhenius (en: Riley y Chester, 1976) mostraron que los sedimentos adyacentes a fuentes volcánicas mostraban un contenido hasta de 2.5 % de Ti, el cual decrecia paulatinamente hasta valores de 0.78 % a distancias de 350 Km de la fuente volcánica. En el presente estudio, la mayor concentración de Ti se presenta en las estaciones cercanas a la isla Clarion (Est. 25, 40, 41), (Fig. 5-1-9, 5-1-10), posiblemente como

un producto de halmirolisis de los materiales volcánicos de la isla, en la cual se encontraron valores de Ti en rocas hasta de 3.00 %.. Golberg (1954) y Cronan (1972) han reportado una relación directa entre Fe y Ti en los sedimentos, debido a que durante la precipitación de óxidos férricos se incorpora el Ti. Sin embargo, se considera que el principal mecanismo de aporte del Ti hacia los sedimentos de mar profundo son los materiales terrígenos, ya que



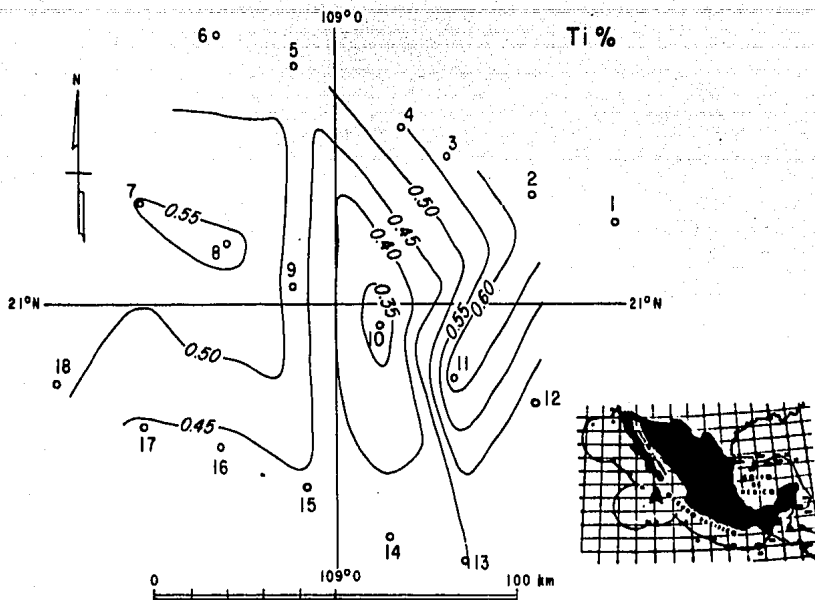


FIGURA 5-1-9. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE TITANIO EN LA REGION A .

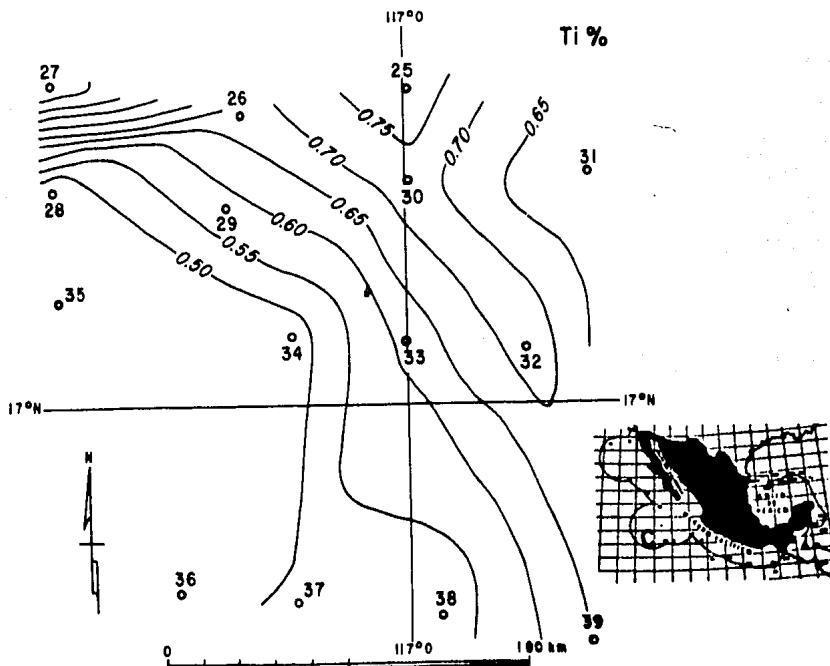


FIGURA 5-1-10. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE TITANIO EN LA REGION C .

el Ti se presenta como un constituyente menor en muchos aluminosilicatos como sucede en las micas, los feldespatos, etc. La alta correlación que se observa entre Ti/Fe y Al/Fe en el presente trabajo (Tabla 5-1-8), sugiere diferentes fuentes de aporte de este elemento a los sedimentos estudiados.

El Mn es el único elemento de los componentes mayores de los sedimentos, cuya concentración es mayor en los sedimentos de mar profundo que en los sedimentos de áreas someras; para explicar esta anomalía Riley y Chester (1976) , mencionan 3 posibles fuentes de Mn: a) aporte de rios, este mecanismo no puede sin embargo suplir todo el Mn presente en los sedimentos de mar profundo. b) migración post-depositacional del Mn en el sedimento, este proceso está controlado por las condiciones redox de la interfase agua-sedimento, el Mn no puede difundirse a través de las capas oxicas que se presentan en grandes zonas del oceano. c) actividad volcánica submarina, en este caso, el Mn puede ser aportado por tres procesos:

- 1) el lavado por el agua de mar por la lava recién aportada.
- 2) por el aporte de las chimeneas hidrotermales.
- 3) por el intemperismo producido por el agua de mar sobre las rocas volcánicas.

El descubrimiento de depósitos ricos en Fe/Mn en la cresta de cordilleras activas en los centros de dispersión oceánica (Bostrom et al., 1969) probaron la validez de este último mecanismo de aporte. Edmond (1982) ha reportado grandes cantidades de Mn divalente disuelto, el cual es disipado por las corrientes

TABLA 5-1-B .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES .

|         | Color | Carb | M.Org. | Cu   | Ni   | Cr   | Co   | Pb   | Zn   | Ba   | Sn   | Fe   | Al   | Ti   | Mg   | Mn   | Si   | P. Mod |
|---------|-------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Color   | 1.00  | 0.32 | 0.48   | 0.35 | 0.15 | 0.19 | 0.47 | 0.28 | 0.61 | 0.13 | 0.06 | 0.09 | 0.44 | 0.23 | 0.03 | 0.45 | 0.23 | 0.50   |
| Carb    |       | 1.00 | 0.01   | 0.21 | 0.07 | 0.11 | 0.21 | 0.08 | 0.30 | 0.31 | 0.22 | 0.03 | 0.13 | 0.20 | 0.08 | 0.13 | 0.24 | 0.32   |
| M.Org.  |       |      | 1.00   | 0.57 | 0.00 | 0.11 | 0.63 | 0.11 | 0.27 | 0.15 | 0.04 | 0.10 | 0.42 | 0.29 | 0.46 | 0.37 | 0.01 | 0.47   |
| Cu      |       |      |        | 1.00 | 0.42 | 0.07 | 0.59 | 0.21 | 0.33 | 0.25 | 0.40 | 0.10 | 0.60 | 0.59 | 0.25 | 0.58 | 0.02 | 0.53   |
| Ni      |       |      |        |      | 1.00 | 0.28 | 0.07 | 0.23 | 0.10 | 0.15 | 0.11 | 0.05 | 0.22 | 0.40 | 0.17 | 0.71 | 0.04 | 0.19   |
| Cr      |       |      |        |      |      | 1.00 | 0.04 | 0.92 | 0.07 | 0.20 | 0.64 | 0.32 | 0.09 | 0.20 | 0.64 | 0.31 | 0.11 | 0.21   |
| Co      |       |      |        |      |      |      | 1.00 | 0.03 | 0.32 | 0.18 | 0.15 | 0.03 | 0.50 | 0.34 | 0.26 | 0.43 | 0.16 | 0.50   |
| Pb      |       |      |        |      |      |      |      | 1.00 | 0.08 | 0.09 | 0.76 | 0.29 | 0.00 | 0.14 | 0.66 | 0.26 | 0.02 | 0.12   |
| Zn      |       |      |        |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.22 | 0.18 | 0.08 | 0.39 | 0.23 | 0.00 | 0.28 | 0.16 | 0.31   |
| Ba      |       |      |        |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.25 | 0.26 | 0.17 | 0.05 | 0.29 | 0.21 | 0.18 | 0.00   |
| Sn      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.10 | 0.23 | 0.20 | 0.37 | 0.11 | 0.03 | 0.13   |
| Fe      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.11 | 0.05 | 0.12 | 0.03 | 0.05 | 0.03   |
| Al      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.33 | 0.13 | 0.39 | 0.15 | 0.38   |
| Ti      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.04 | 0.32 | 0.08 | 0.18   |
| Mg      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.04 | 0.19 | 0.31   |
| Mn      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.05 | 0.46   |
| Si      |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 | 0.23   |
| P. Mod. |       |      |        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.00   |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.418)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.325)

Los diferentes tipos de color estan considerados en la Tabla 5-1-3

intermedias; Lupton (1980) detectó concentraciones altas de He y Mn a una distancia de 200 m sobre las chimeneas hidrotermales ubicadas a 21° N, 109° W. Esto permite considerar que la precipitación de Mn en la columna de agua contribuye a la formación de depósitos de sedimentos metalíferos.

En el presente estudio el valor de la relación  $MnO/Al_2O_3$  en sedimentos superficiales, es considerablemente más alta (Tabla 5-1-8) en las diferentes regiones estudiadas que en las APP. Sin embargo, en la región A se observan las mayores variaciones (Fig. 5-1-11). Cronan (1980) propone un método para ubicar depósitos hidrotermales a través de la evaluación de la concentración de Si en las inmediaciones de las áreas hidrotermales, seguido por un área rica en Fe y posteriormente a unos 20 Km aproximadamente se localiza un área rica en Mn con valores de 7 a 12.7 % de Mn. En la región A del presente estudio en ciertas estaciones (7, 8, 16) se presentan valores anómalos de Mn (1.7, 0.96, 1.60 %), en tanto en la región C la mayoría de las estaciones estudiadas presentan valores mayores del 1.00 % . En general las concentraciones más altas se presentan en aquellas estaciones donde se encontraron nódulos (Tabla 5-1-3). Para diferenciar el origen hidrotermal o hidrogénico del Mn Cronan (1980) propone estudiar la relación de elementos traza con el Mn , ya que el contenido de elementos traza es mayor en los sedimentos cuyos metales tienen un origen hidrogénico. Analizando el contenido de materia orgánica se observa que los valores que se presentan en la región C (0.29 %), son comparables

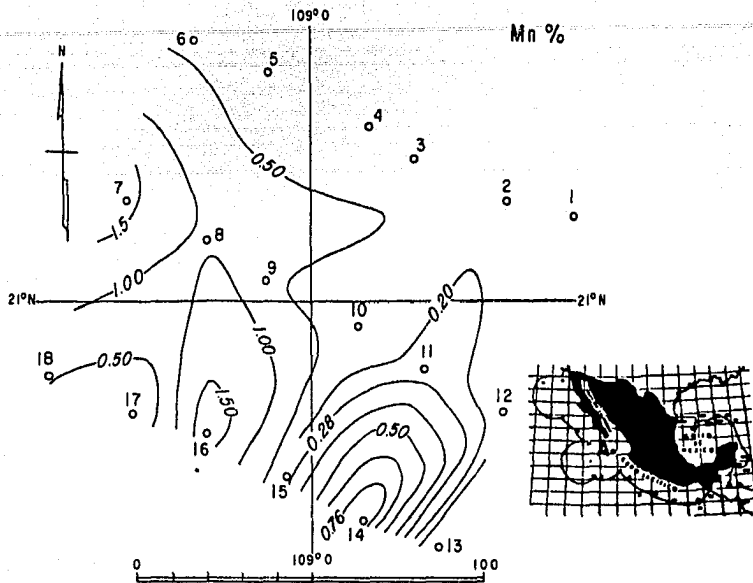


FIGURA 5-1-11. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE MANGANESO EN LA REGION A .

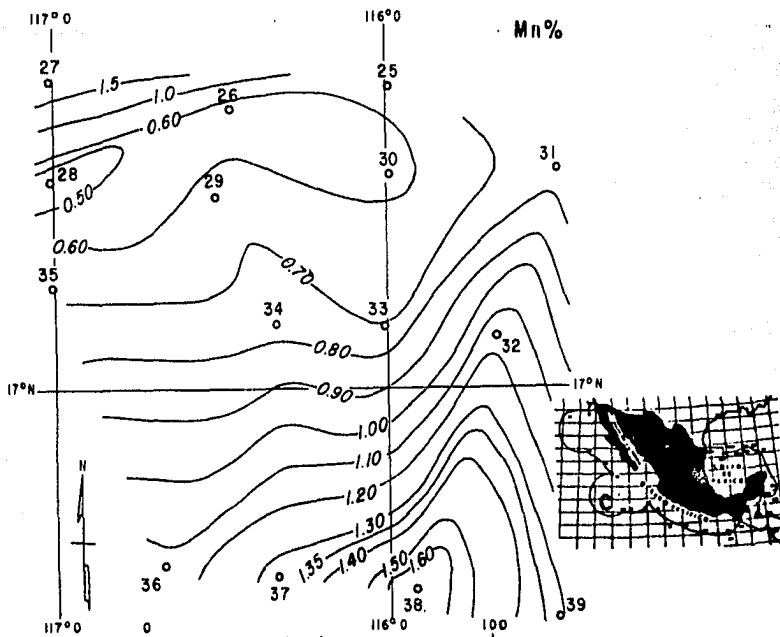


FIGURA 5-1-11. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE MANGANESO EN LA REGION C .

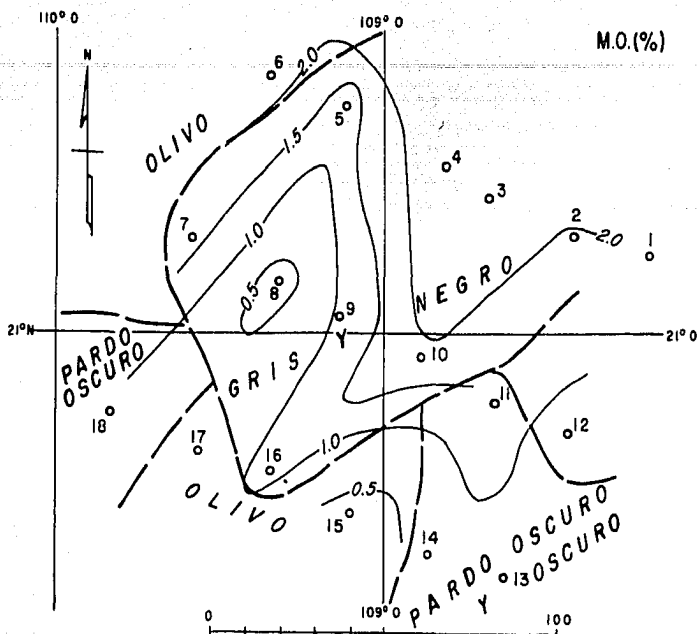


FIGURA 5-1-12. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE MATERIA ORGANICA EN LA REGION A .

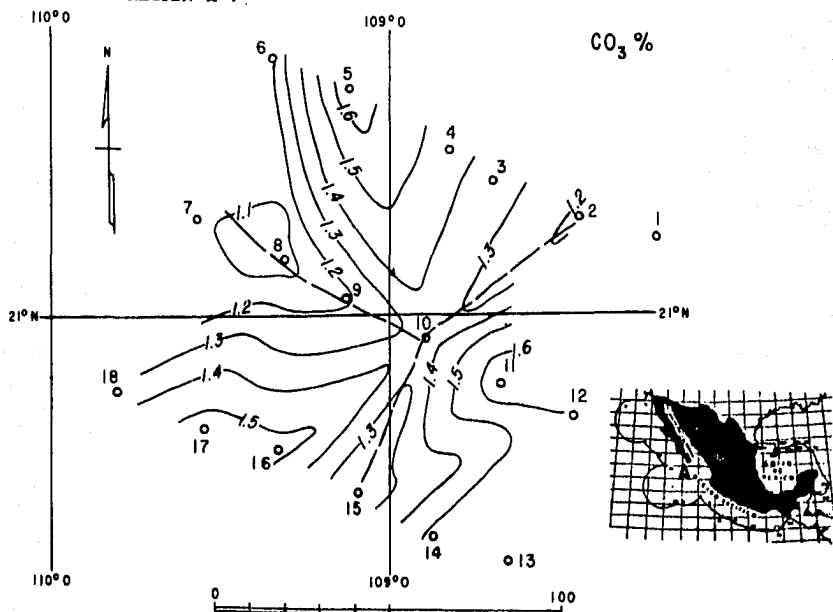


FIGURA 5-1-13. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN LA REGION A .

a los valores reportados para APP (0.27 %); en la región de transición B , son ligeramente más altos (0.39 %), en tanto que en la región A son significativamente más altos (1.22 %). El diagrama de distribución de materia orgánica en la región A (Fig. 5-1-12), muestra los valores más altos de materia orgánica en las estaciones más cercanas al continente con un decrecimiento gradual hacia mar profundo.

Los valores de carbonatos son muy homogéneos y similares entre si en las tres regiones de estudio, en general el valor promedio en las tres regiones es A:B:C/1.38:1.34:1.36 . El analisis del patrón de distribución de carbonatos en la región A (Fig.5-1-13) muestra valores similares a ambos lados de la Dorsal, con un aumento gradual de concentración a partir de esta; en las regiones B y C (Fig.5-1-14 y 5-1-15), los valores más altos se presentan en las estaciones 22, 31 y 32, ; el principal mecanismo de aporte de carbonatos son los procesos biológicos, a partir de los cuales se forman minerales de origen biogénico (calcita y aragonita), sin embargo desde 1966 Bonatti ha descrito la precipitación de minerales carbonatados a partir de las emanaciones hidrotermales. Las isoclinas de Cu (Fig. 5-1-16y 5-1-17) muestran una mayor concentración hacia la región C, en donde se presenta la estación con la concentración más alta (Est.27). Esta estación fué de las que tuvo un mayor número de nódulos superficiales. En general los valores de Cu en los sedimentos superficiales de la región C estan dentro de un rango comprendido entre 350 y 500 ppm. Estos valores son más altos que los observados en la región A, lo que se

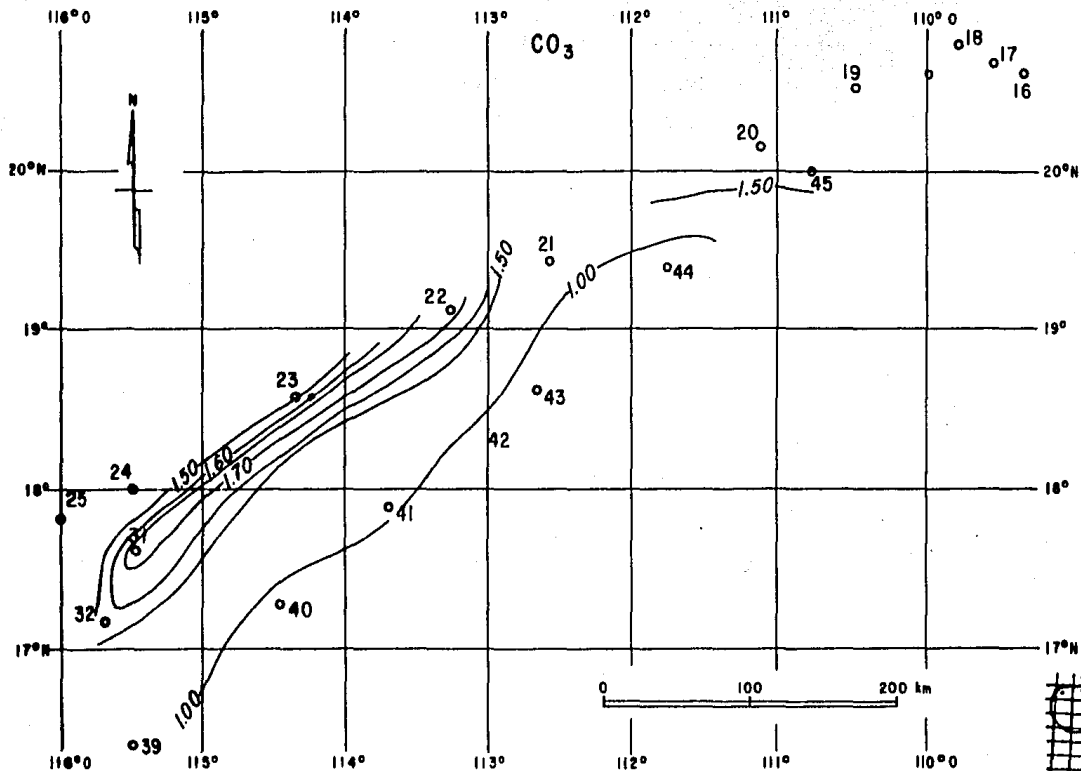


FIGURA 5-1-14. -GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN LA REGION B.



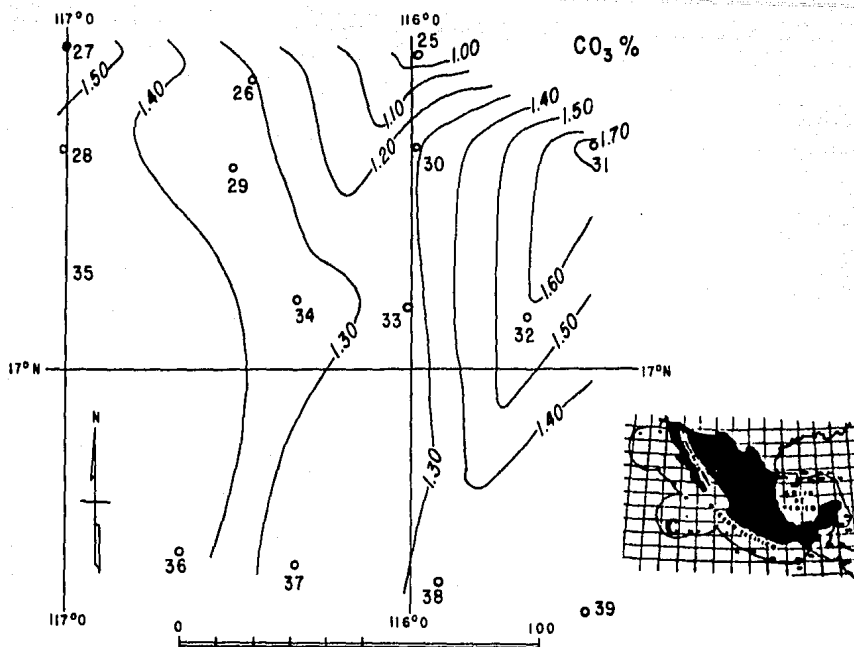


FIGURA 5-1-15. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE CARBONATOS EN LA REGION C .

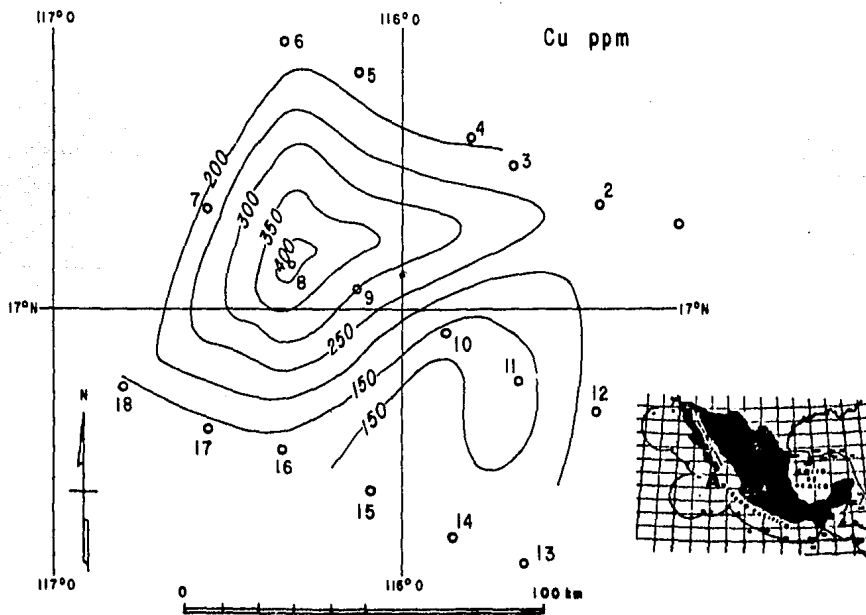


FIGURA 5-1-16. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE COBRE EN LA REGION A .

atribuye a la presencia de nódulos en el área. En la región A , se observa un intervalo de 150 a 400 ppm de Cu, el valor más alto se presenta en la Est. 8 ubicada dentro del dominio de la Dorsal; dado que en las chimeneas hidrotermales de esta area (Carranza et al., 1986) se han reportando depositos ricos en Cu, el valor anómalo de Cu en este punto sugiere un aporte hidrotermal.

Los valores de Ni (Tabla 5-1-3) son similares en las tres regiones de estudio; en la región A, los valores más altos se presentan en los extremos de esta (Fig.5-1-18); en tanto que en la región C, la mayor concentración se presenta en la Est. 27 con una disminución gradual a partir de este punto; en el centro de la Depresión Mimar (Fig. 5-1-19) se presentan valores altos que gradualmente disminuyen.

Las concentraciones de Co son significativamente más altas en las regiones B y C que en la región A (Tabla 5-1-4), en la cual practicamente no se detecta Co; las isolíneas de Co en la región C, muestran los valores más altos en las estaciones 26, 33 y 36 (Fig.5-1-20); se ha reportado que la composición promedio de Co en sedimentos superficiales del Pacífico es de 116 ppm (Riley y Chester, 1976) por lo que los valores reportados en la región C si representan un enriquecimiento palpable.

El Zn presenta las concentraciones más altas en la región A (Tabla 5-1-3). Se ha reportado (Hekinian et al, 1980) que la concentración de Zn en muestras de origen hidrotermal es considerablemente más alta que en muestras de sedimento normal, especialmente en depositos hidrotermales del tipo de sulfuros, por la alta afinidad

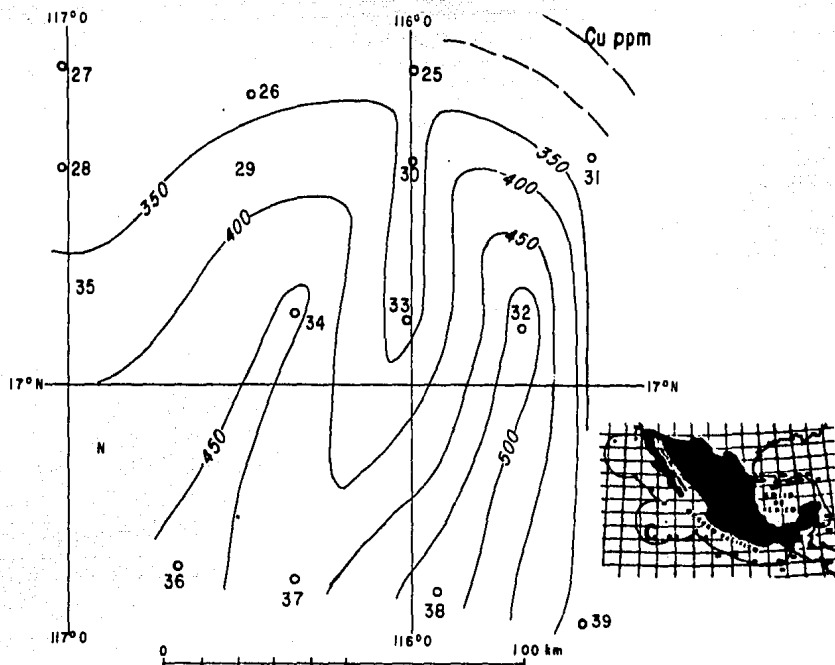


FIGURA 5-1-17. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE COBRE EN LA REGION C .

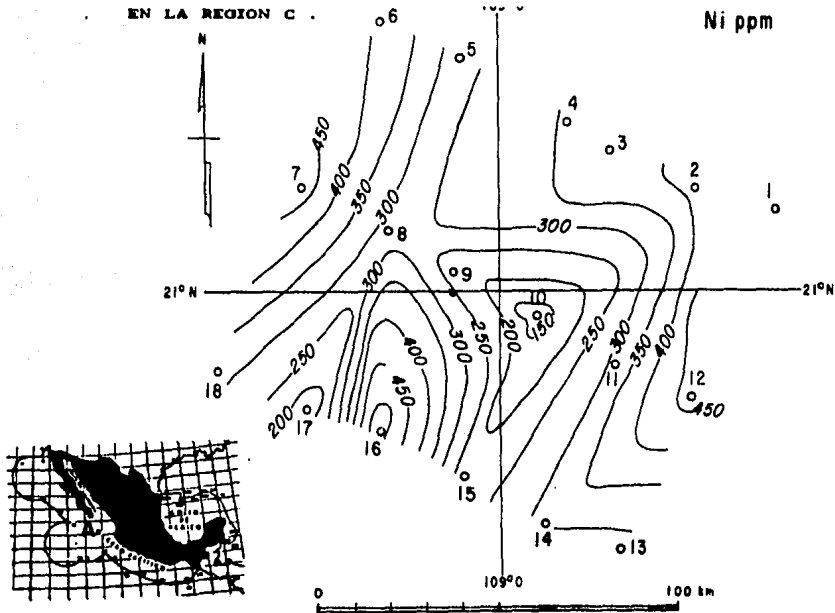


FIGURA 5-1-18. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE NIQUEL EN LA REGION A .

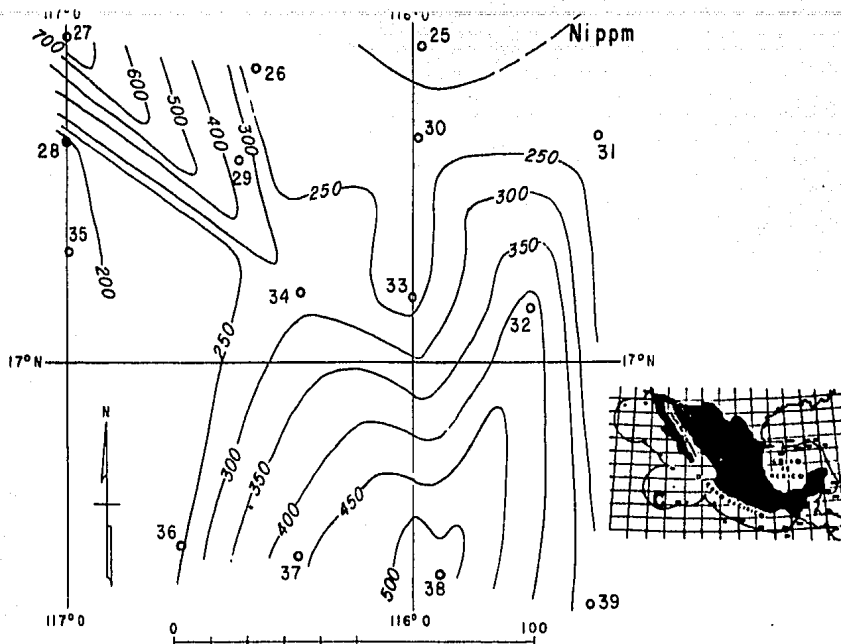


FIGURA 5-1-10. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE NIQUEL EN LA REGION C .

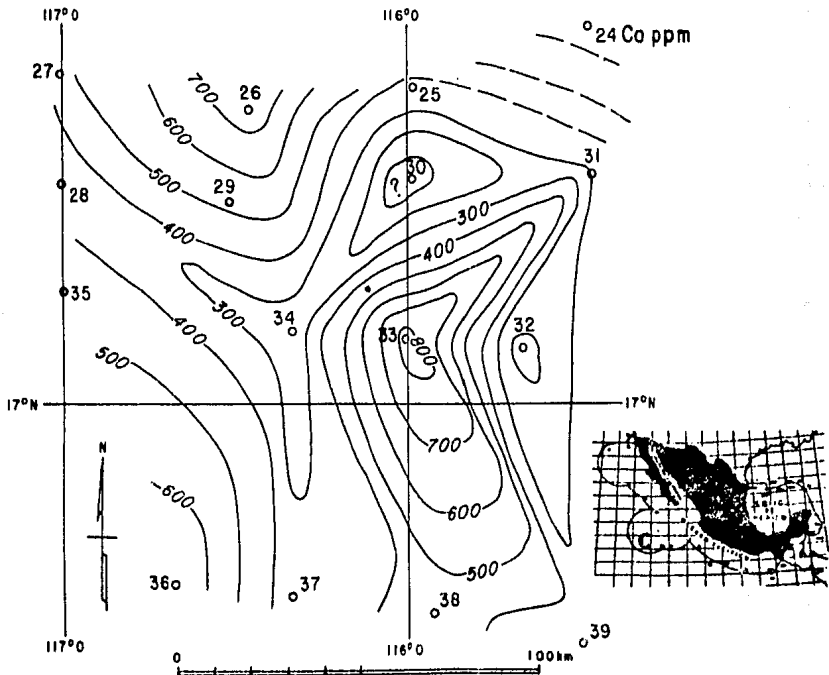


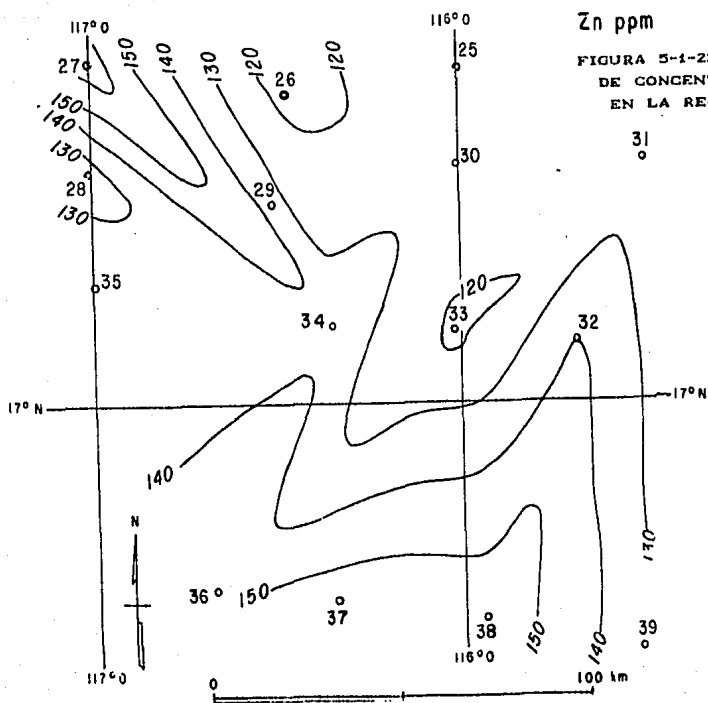
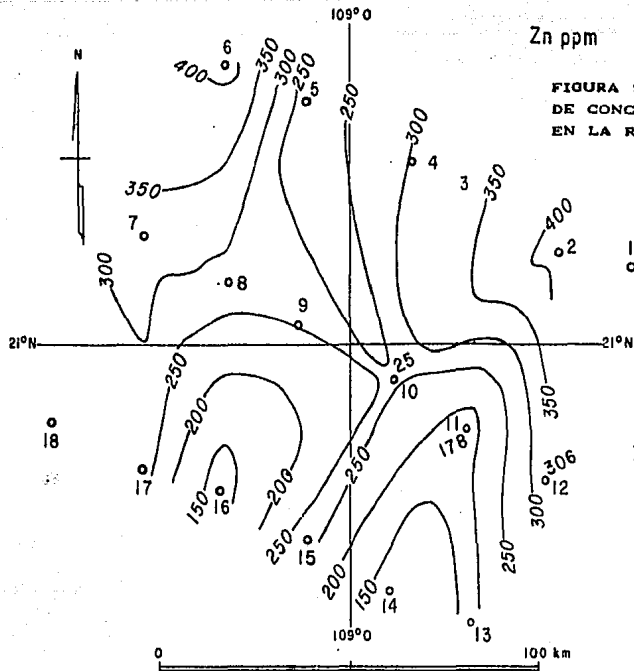
FIGURA 5-1-20. - GRADIENTES DE CONCENTRACION DE COBALTO EN LA REGION C .

existente entre el zinc y el azufre, la masa fundamental de los depósitos de esfalerita (ZnS) es de origen hidrotermal. (Betejtin, 1970). El intervalo de concentración de Zn en la región A (Fig. 5-1-21) es de 150-400 ppm, con las máximas concentraciones a ambos lados de la Dorsal en los extremos de la región A. Hekinian *et al.*, (1980) han reportado que los sulfuros pueden tener dos orígenes: 1) reducción de los sulfatos del agua de mar durante la circulación geotérmica de esta, y 2) la movilización de los sulfuros de los basaltos que los contienen. Cualquiera de estos mecanismos ó una mezcla de los dos procesos puede dar lugar a la presencia de depósitos de sulfuros. La concentración de Zn en la región C (Fig.5-1-22) guarda un patrón de circulación similar al de Cu y Ni, enriquecimiento en la Est. 27 y en la Depresión Mimar, con una disminución gradual a partir de estas.

La concentración de Pb es baja (0 a 193 ppm) en las tres regiones de estudio (Tabla 5-1-3), si se compara con los valores promedio de APP (162 ppm) (Riley y Chester, 1976). Existe una estación (16) en la región A con valores anormalmente altos de Pb, en este mismo lugar se localizó un valor más alto de Fe con el cual parece asociarse.

La alta correlación entre el Cr y el Al (Tabla 5-1-8) sugiere la concentración mayor de el Cr en la componente pelágica de los sedimentos, sin embargo los valores de concentración encontrados son similares en las diferentes regiones de estudio.

Respecto al contenido de Ba y Sn , se encuentran enriquecimientos en áreas muy localizadas, sin que exista un patrón bien definido.



Con el objeto de evaluar algunos parámetros en el agua intersticial de los sedimentos superficiales que permitiera ayudar a entender los procesos químicos que se llevan a cabo, el sedimento superficial fué sujeto a un proceso de exprimido. Los parámetros estudiados fueron: salinidad, pH, potencial redox (Eh), concentración de sílice, hierro, y manganeso (Tabla 5-1-9). En la Tabla 5-1-9 se presentan los intervalos obtenidos en los parámetros estudiados, así como el valor promedio de cada uno de estos parámetros en las diferentes áreas.

Debido a los fenómenos de exclusión de iones, intercambio de iones, procesos de absorción y fenómenos bacterianos, se ha reportado que el agua intersticial tiene poca similitud con el agua de fondo (Horne, 1969). En general en la columna de agua, la salinidad desciende con la profundidad, así en el fondo del océano se han reportado valores de alrededor de 34.75 %. Los valores de salinidad en el agua intersticial correspondiente a las muestras del área de estudio varían entre 30.51 % y 35.48 %, una disminución en la concentración de electrolitos respecto al agua de fondo se puede deber a exclusión de iones. El valor promedio de salinidad para la región A es de 35.1 %, mientras que en las regiones B y C el promedio observado es de 34.6 %. El contenido más alto de materia orgánica en la región A respecto a las regiones B y C, hace que los procesos de degradación bacteriana sean más importantes en esta región; los cambios químicos producidos en el agua intersticial por estos procesos de degradación son muy importantes. Gieskes et al (1982) señalan

TABLA 5.1.9 .-- PARAMETROS MEDIDOS EN EL AGUA INTERSTICIAL OBTENIDA DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES

| Est. | S%    | pH   | Eh(mv) | Si (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) |     |
|------|-------|------|--------|----------|----------|----------|-----|
| 2    | 34.77 | 8.12 | 462.8  | 7.65     | 0.05     | 1.8      |     |
| 5    | 35.31 | 8.30 | 408.90 | 9.13     | 1.35     | 0.340    |     |
| 6    | 35.18 | 8.12 | 415.00 | 10.10    | 0.00     | 0.011    |     |
| 7    | 35.08 | 7.75 | 437.30 | 10.10    | 1.21     | 0.014    |     |
| 8    | 34.42 | 7.50 | 451.40 | 7.06     | 2.86     | 0.041    |     |
| 10   | 35.23 | 8.20 | 457.70 | 7.09     | 2.62     | 0.013    |     |
| 11   | 35.48 | 7.54 | 449.80 | 9.68     | 0.00     | 0.000    |     |
| 12   | 35.25 | 7.95 | 451.10 | 10.15    | 0.38     | 0.000    |     |
| 13   | 34.86 | 7.95 | 449.80 | 9.69     | 0.03     | 0.015    |     |
| 14   | 34.70 | 7.81 | 452.40 | 9.69     | 0.17     | 0.000    |     |
| 15   | 35.28 | 7.83 | 468.70 | 9.96     | 2.06     | 0.090    |     |
| 17   | 35.44 | 7.85 | 457.60 | 10.52    | 2.15     | 0.130    |     |
| 18   | 35.36 | 7.75 | 467.60 | 10.70    | 1.38     | 0.030    |     |
| 19   | 35.14 | 7.87 | 458.90 | 9.36     | 0.08     | 0.000    | S   |
| 20   | 35.05 | 7.94 | 454.30 | 9.36     | 0.20     | 0.000    | E   |
| 21   | 35.04 | 7.93 | 465.80 | 10.24    | 1.34     | 0.020    | S/E |
| 22   | 34.92 | NA   | NA     | NA       | 0.07     | 0.067    | S/E |
| 25   | 35.13 | 7.71 | 394.60 | 10.52    | 1.04     | 0.100    |     |
| 26   | 35.40 | 7.85 | 388.50 | NA       | 0.00     | 0.050    |     |
| 27   | 34.99 | NA   | 407.10 | NA       | 1.09     | 0.090    | S/E |
| 28   | 35.14 | 7.75 | 411.60 | NA       | 1.00     | 0.095    | S   |
| 30   | 34.92 | 7.91 | 400.90 | 11.25    | 0.69     | 0.095    |     |
| 31   | 34.73 | 7.91 | 415.30 | 11.28    | 0.29     | 0.021    | S   |
| 32   | 30.51 | 7.31 | 426.40 | 12.69    | 0.82     | 0.087    | S/E |
| 33   | 34.92 | 7.89 | 407.10 | 10.57    | 0.40     | 0.062    | E   |
| 34   | 35.11 | 7.86 | 404.00 | 12.60    | 0.00     | 0.046    |     |
| 36   | 35.19 | 7.23 | 429.10 | NA       | 0.20     | 0.012    | S/E |
| 37   | 35.35 | 7.68 | 430.80 | 10.61    | 0.13     | 0.040    | E   |
| 38   | 34.46 | 7.50 | 420.90 | 12.49    | 0.38     | 0.054    | S   |
| 39   | 34.80 | 7.70 | 438.60 | 8.29     | 0.36     | 0.000    | S/E |
| 40   | 34.81 | 7.78 | 393.10 | 12.79    | 0.37     | 0.000    | S   |
| 41   | 34.61 | 7.84 | 415.40 | 10.01    | 0.34     | 0.000    |     |
| 43   | 34.97 | 7.87 | 438.70 | 10.61    | 0.42     | 0.095    |     |
| 44   | 33.73 | 7.91 | 422.50 | 11.49    | 0.71     | 0.179    |     |
| 45   | 33.52 | 7.81 | 427.60 | NA       | 0.95     | 0.160    | S   |

NA Insuficiente

S Nodulos Superficiales

E Nodulos Sepultados



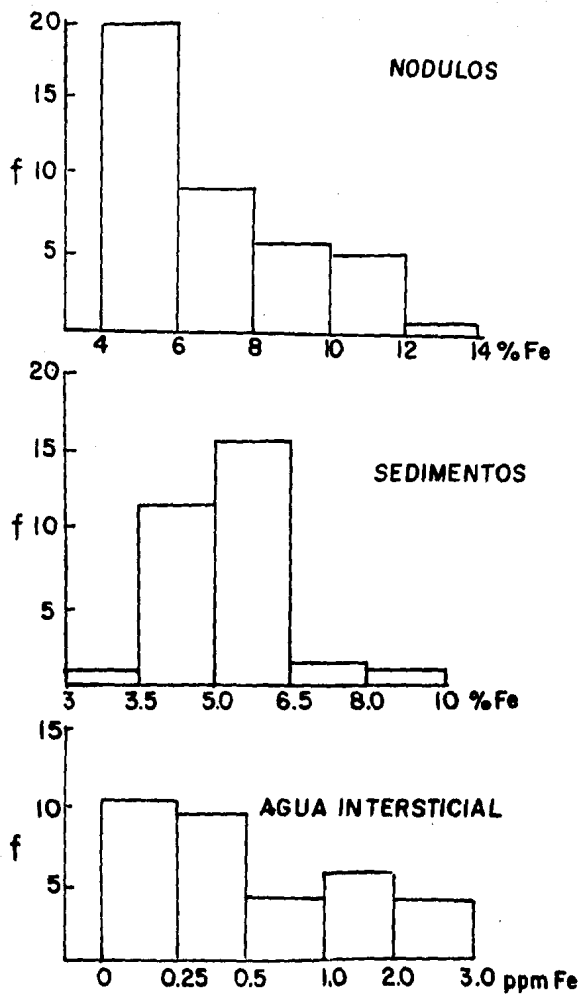
entre otros un aumento significativo de bicarbonatos y iones amonio en el agua intersticial de las áreas hidrotermales, lo que contribuye a un aumento en la salinidad del agua intersticial. Los valores de pH medidos están comprendidos dentro del intervalo 7.23-8.30. En general los valores observados son bastante homogéneos, las muestras ubicadas en la Depresión Mimar muestran los valores más bajos, usualmente los valores de pH por debajo de los valores usuales en agua se atribuyen (Horne, 1969) a la producción de  $\text{CO}_2$  por la descomposición bacteriana de la materia orgánica.

El potencial de redox medido en el área, está comprendido en el intervalo de 393 a 496 mv, estos valores corresponden a aguas de fondo bien oxigenadas.

La concentración de sílice en el agua, se evaluó considerando que las aguas aportadas por procesos hidrotermales son ricas en sílice con valores de sílice de 21.5 mmol/Kg (767.86 ppm) (Edmond, 1982), un valor 134 veces mayor a los valores reportados en el agua de mar normal de 0.16 mmol/Kg (5.7 ppm). Sin embargo los datos obtenidos muestran un aumento en la concentración de sílice de la región A hacia las regiones B y C; este aumento se explica en base a la disolución de diatomeas y radiolarios (región A: 16.38 % en promedio de radiolarios y 2.30 % promedio de diatomeas; región B: 45.5 % en promedio de radiolarios y 5.22 % promedio de diatomeas; región C: 24.9 % en promedio de radiolarios y 3.0 % promedio de diatomeas) ya que estos son más abundantes en las regiones B y C. El Fe es un elemento que se ha reportado como un constituyente

importante de las emanaciones de las chimeneas hidrotermales localizadas a 21°N (Edmond, 1982); es también un constituyente importante de los nódulos polimetálicos localizadas en las regiones B y C. Los valores encontrados de Fe varían entre 0 y 2.86 ppm (Tabla 5-1-10). En la Fig 5-1-23 se representa en forma de un diagrama de barras la distribución de la concentración de Fe en el agua intersticial; un análisis de la Fig.5-1-23 permite concluir que las estaciones con la concentración más alta de Fe se encuentran en la región A, asimismo se observa que en la parte inferior de la región A es donde se presenta los valores más bajos de Fe. En las regiones B y C se observan valores altos de Fe en las estaciones 21, 25, 27, 28, 45 y 32, las que corresponden a las estaciones con el contenido más bajo de Fe en sedimentos y la presencia de nódulos polimetálicos ricos en Fe.

El Mn es un elemento que se presenta en abundancia en los nódulos polimetálicos, también se han reportado altas concentraciones de Mn en las emanaciones hidrotermales con valores de 610  $\mu\text{mol/Kg}$  (11.1 ppm) de Mn en comparación a 0.002  $\mu\text{mol/Kg}$  (0.000036 ppm) en el agua (Edmond, 1982). En la región A se observan fluctuaciones muy altas en la concentración de Mn en el agua intersticial, con un valor alto de 1.8 ppm en la estación 2 y valores también altos en las estaciones: 5 (0.34 ppm) y 17 (0.13 ppm), el resto de estaciones de la región A muestra valores muy por debajo de estos valores. En las regiones B y C la concentración de Mn en el agua intersticial del sedimento superficial es mucho más homogénea; en general la concentración es de orden de centésimas de ppm



**FIGURA 5-1-29. - DISTRIBUCION DE LA CONCENTRACION DE HIERRO EN AGUA INTERSTICIAL, SEDIMENTOS Y NODULOS.**

TABLA 5-1-10.-INTERVALOS DE CONCENTRACION OBSERVADOS EN EL AGUA INTERSTICIAL EN LAS DIFERENTES REGIONES DE ESTUDIO

|      | INT. TOTAL  | REGION A    | REGION B    | REGION    |
|------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| S %  | 30.51-35.48 | 34.42-35.48 | 33.52-35.14 | 30.51-35. |
| Prom |             | 35.10       | 34.64       | 34.66     |
| pH   | 7.23-8.30   | 7.50-8.30   | 7.78-7.94   | 7.23-7.91 |
| Prom |             | 7.89        | 7.87        | 7.69      |
| Eh   | 393.1-468.7 | 408.9-468.7 | 393.1-465.8 | 394.6-438 |
| Prom |             | 448.46      | 434.54      | 413.45    |
| Si   | 7.09-12.79  | 7.06-10.70  | 9.36-12.79  | 8.29-12.6 |
| Prom |             | 9.35        | 10.55       | 11.14     |
| Fe   | 0.0-2.86    | 0.0-2.86    | 0.08-1.34   | 0.0-1.04  |
| Prom |             | 1.12        | 0.55        | 0.049     |
| Mn   | 0.0-1.8     | 0.0-1.8     | 0.0-0.179   | 0.0-0.10  |
| Prom |             | 0.19        | 0.057       | 0.058     |

(0-0.179 ppm), el valor promedio observado en estas dos regiones (0.58 ppm y 0.057 ppm) es similar (Tabla 5-1-10). Los valores de concentración de Mn observados en la región C son los más altos, las estaciones en las que se encontraron nódulos ricos en Mn, mostraron en los sedimentos valores intermedios de concentración, y valores bajos en el agua intersticial correspondiente. .

## 5-2.- ANALISIS DE NUCLEOS DE SEDIMENTO .

Con objeto de analizar la variación de la composición química de núcleos de sedimento, en función de su posición geográfica, se eligieron originalmente para su estudio los núcleos: 5, 18, 20, 22, 25, 36 y 39. Posteriormente se incluyeron también los núcleos 27 y 33, el núcleo 27 por ser la estación donde se recolectaron la mayor cantidad de nódulos; y el núcleo 33 por presentar nódulos a diferentes niveles: 5 nódulos a 100 cm, 3 nódulos a 154 cm y un nódulo a 175 cm, lo que permitiría estudiar si la presencia de los nódulos en el núcleo afectaba la composición química de este.

Los parámetros considerados en los núcleos de sedimento fueron: textura, mineralogía, materia orgánica, carbonatos, hierro, manganeso, cobre, níquel, cobalto, zinc, aluminio y sílica.

Considerando que uno de los objetivos primarios del proyecto era analizar el posible origen de elementos tales como: Mn, Fe, Cu, Ni, Co y Zn en los nódulos polimetálicos, se considero de interés evaluar las concentraciones de estos elementos en los sedimentos de los núcleos, se estudió también la concentración de Al y Si, dado que el Si puede tener un origen detrítico o biogénico, y el Al es generalmente de origen detrítico; así pues su evaluación permite observar su patrón de distribución y los factores que están influyendo en cada área.

Asimismo, en el presente trabajo se evaluaron: S %, pH, Eh, Fe, Mn y Si en el agua intersticial extraída de los núcleos de sedimento estudiados; el número de parámetros evaluados estuvo limitado por la cantidad de muestra disponible, la cual vario entre 3 y 10 ml.

Edmond et al.,(1982) han reportado que las aguas emanadas de las chimeneas hidrotermales estan enriquecidas entre otros elementos en su contenido de Mn, Fe, Si, y tienen un bajo contenido de Mg y  $SO_4$ , respecto al agua de mar, son fuertemente ácidas y con un pH de 4 a  $25^{\circ}C$  y 1 atm de presión (Von Damn y Edmond, 1982). En base a esto, se considera aqui importante evaluar dichos parametros , considerando que reflejan los aportes y anomalias hidrotermales. Los sedimentos de la región A , presentan un contenido de microfauna pelágica abundante. De acuerdo a los estudios de micropaleontología y paleoceanografía (Carranza-Edwards, 1987), el límite Holoceno-Pleistoceno se encuentra en el nivel de 30 cm en el nucleo B, ubicado hacia la parte central de esta region, lo que indica una tasa de sedimentación en el Holoceno de 2.72 cm/1000 años. La base de este nucleo se encuentra a una profundidad de 2.86 m, y su edad podría ser considerada entre 58,300 y 105,500 años, según se estime la tasa de acuerdo a Ahrrenious (1952) y Van Andel *et al.*, (1976) o bien si se extrapola la tasa de sedimentación del Holoceno.

El estudio del nucleo 44 ubicado en la parte media de la región B, mostró el contacto Holoceno-Pleistoceno en este nucleo en el nivel 20 cm, lo que indica una tasa de sedimentación de 1.81 cm/1000 años. La base de este nucleo se encuentra a una profundidad de 1.60 m y su edad podría ser considerada entre 49,700 y 88,400 años.

El nucleo 33 ubicado en la region C, mostró el contacto Holoceno-Pleistoceno en el nivel 12 cm., lo que indica una tasa de

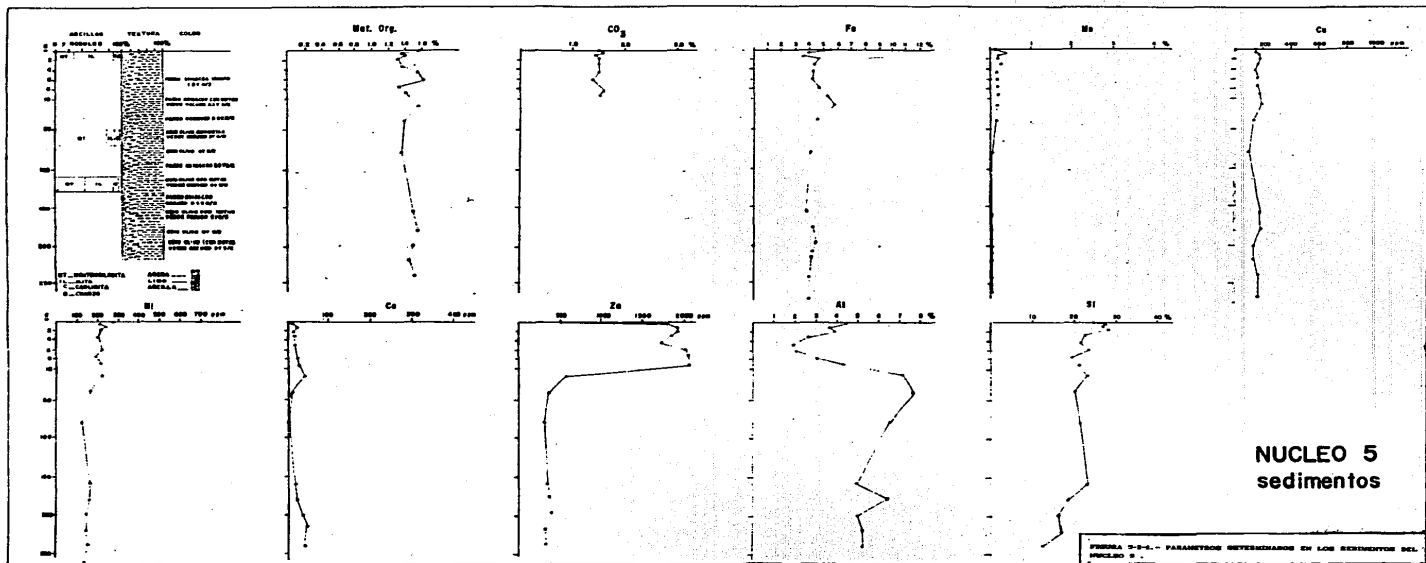
sedimentación de 1.09 cm/1000 años . La base del núcleo se encuentra a 1.86 cm de profundidad, y su edad podría considerarse entre 90,000 y 170,600 años.

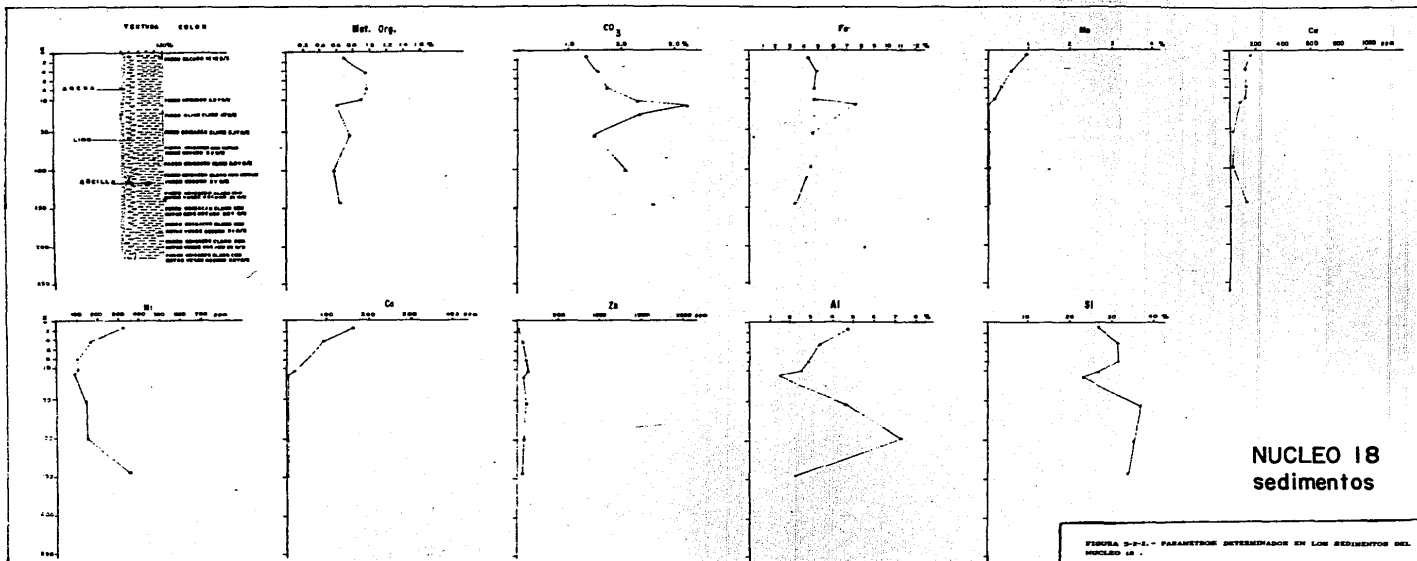
De acuerdo a el análisis anterior la velocidad de sedimentación es 2.5 veces más alta en la región A que en la región C.

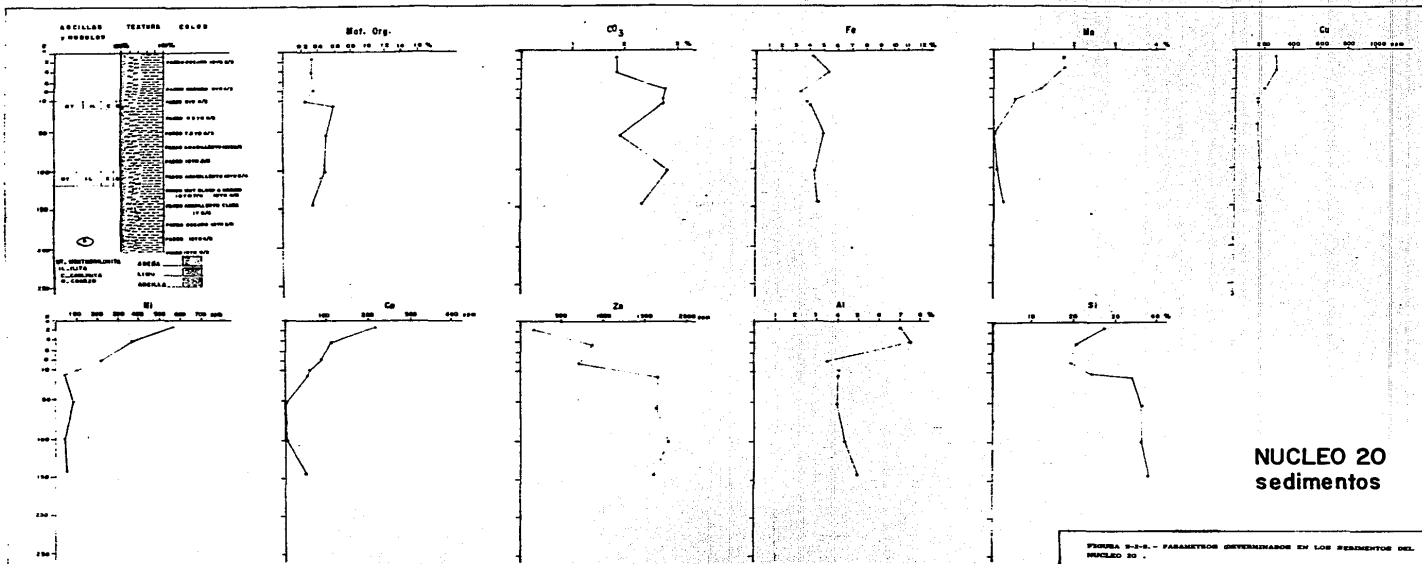
En todos los núcleos estudiados (Figs. 5-2-1 a 5-2-9) predominan las arcillas sobre limos y arenas (Ramírez-Argaes, 1987). Las arenas están en un intervalo de concentración entre 2 y 19 %, los limos entre 15 y 43 %, y las arcillas entre 54 y 74 %. En general el contenido de arena disminuye al ir de la región A hacia la región C; el contenido de limos y arcillas tiene una distribución homogénea. El análisis mineralógico de las arcillas (Lozano *et al.*, en prensa) muestra que las arcillas están constituidas básicamente por: montmorillonita de 12.8 a 78.9 %, illita de 10.9 a 75.8 %, caolinita de 5.4 a 18.3 % y el cuarzo de 2.6 a 11.7 % .(Lozano *et al.*, en prensa) reportan una disminución del contenido de montmorillonita al alejarse del eje de dispersión de la Dorsal. así reportan valores más altos en la región A que en la región B, y esta última mayores que en la región C. La illita se comporta de manera inversa, en tanto que la caolinita y el cuarzo prácticamente permanecen constantes. Por otro lado, se observa un aumento en la concentración de montmorillonita en relación a la profundidad.

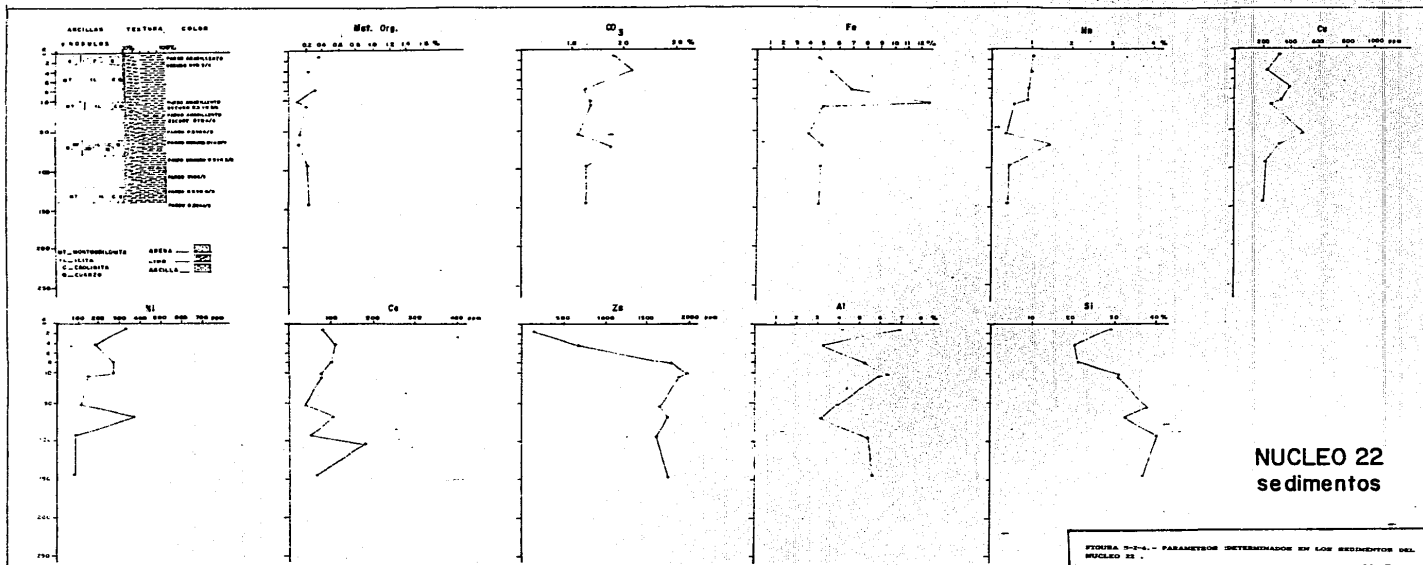
La materia orgánica varía en un intervalo de concentración comprendido entre 0.05 y 1.6 % ; el valor de concentración en la superficie está en posición directa de la posición geográfica, con





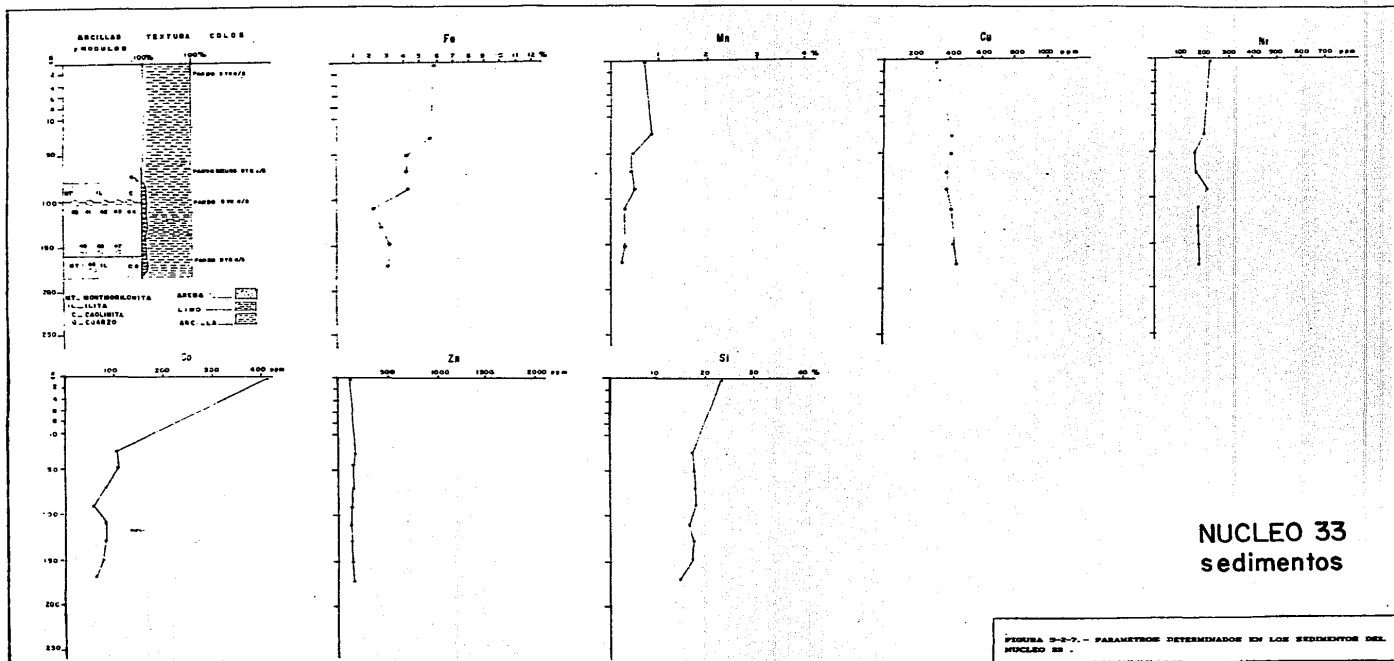


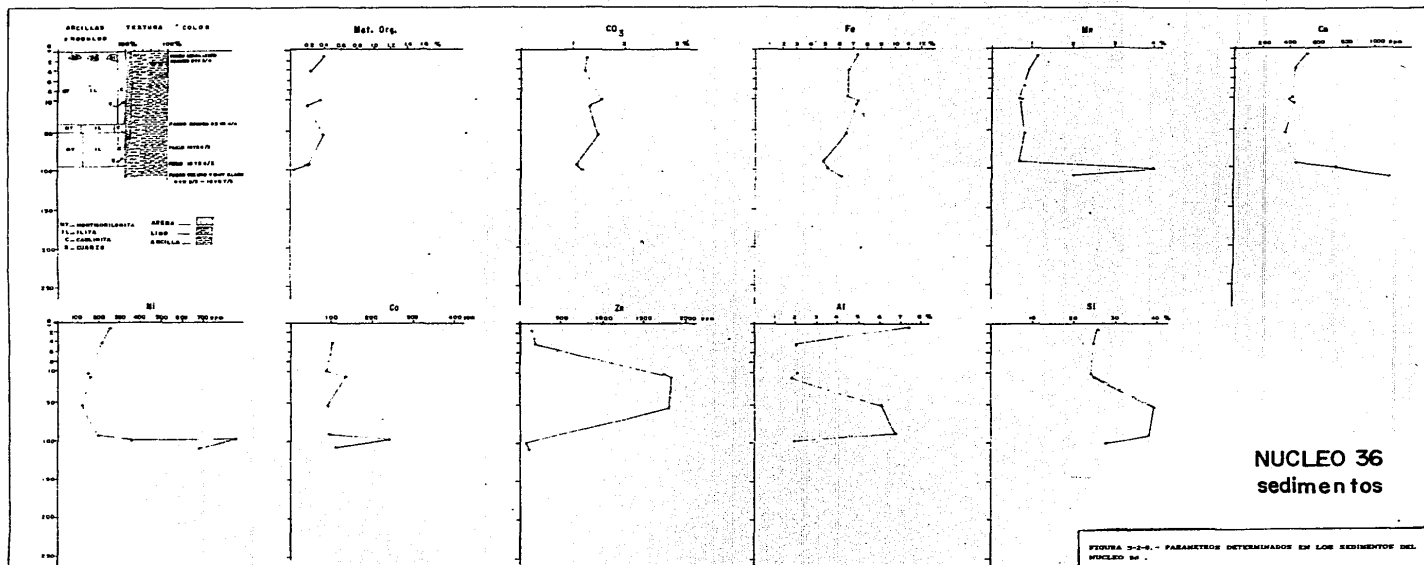




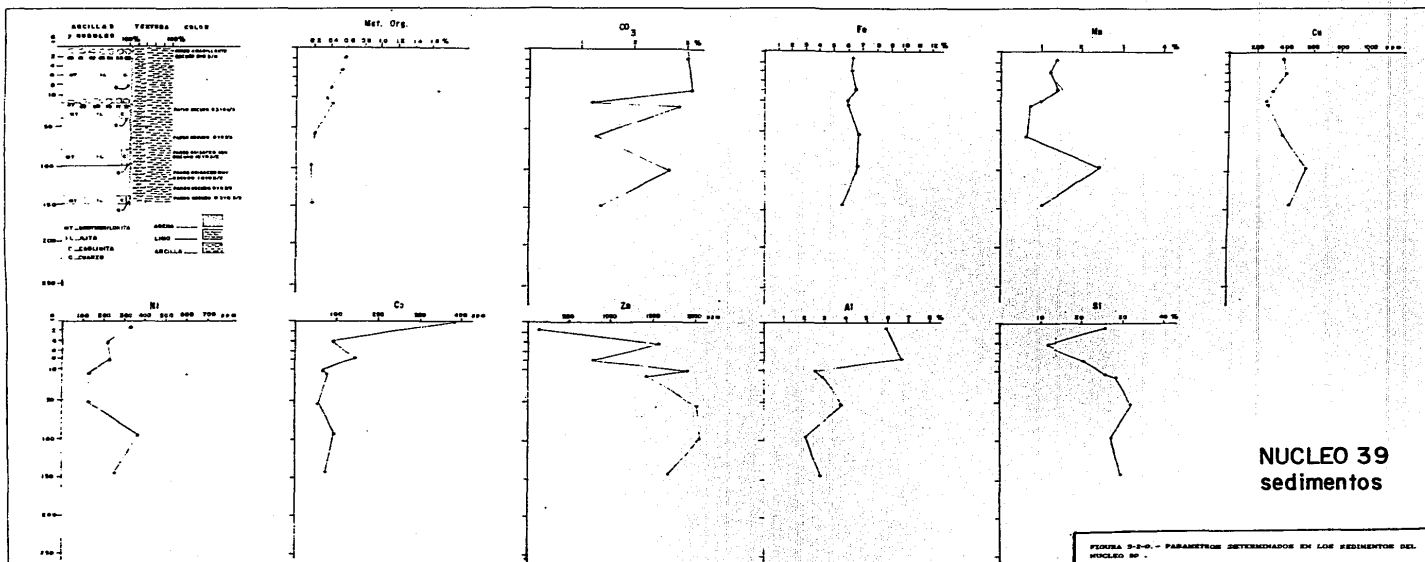








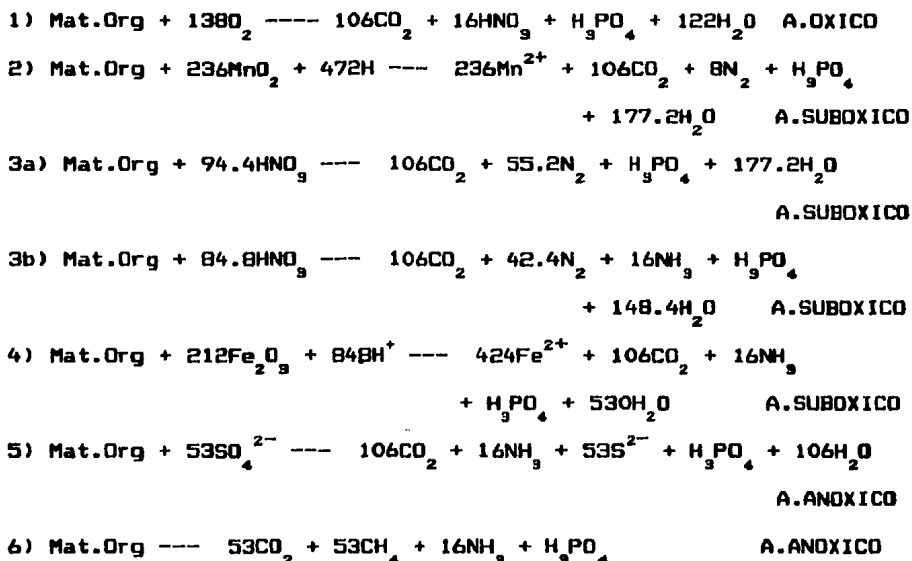




los valores más altos en la región A. La materia orgánica dentro de los sedimentos marinos es la primera en ser oxidada. En la Tabla 5-2-1 se enlistan las reacciones por las cuales la materia orgánica es oxidada, la reacción 1, es la única que se lleva a cabo en ambientes óxicos.

El ambiente oxidante de los núcleos estudiados se infiere a partir de los valores obtenidos de Eh en el agua intersticial, los cuales están en el intervalo de +360 a 440 mv, estos valores sugieren reacciones entre oxígeno, nitrógeno y manganeso; adicionalmente se ha reportado (Cronan, 1980) que los nódulos sepultados solo pueden existir en ambientes oxidantes, pues al presentarse un ambiente reductor, el Mn presente en los nódulos se disuelve y se difunde hacia arriba en la columna de sedimentos donde al encontrarse un ambiente oxidante se precipita de nuevo.

De los núcleos estudiados el 5 y el 22 muestran un perfil homogéneo de concentración de materia orgánica con la profundidad; los núcleos 18, 25, 36 y 39 muestran hacia la parte inferior una tendencia hacia menores concentraciones; y el núcleo 20 muestra mayor concentración en la parte inferior a partir del nivel 10 cm. En los núcleos 5, 18 y 20 la alta concentración de materia orgánica y la tasa de sedimentación alta, sugieren un perfil homogéneo de distribución. La disminución de materia orgánica con la profundidad de sepultamiento sugiere de acuerdo a la reacción 1 (Tabla 5-2-1) una disminución de pH y de Eh lo cual en general es el caso, ya que esta disminución (pH, Eh) se observa en aquellos núcleos (18, 25, 36 y 39) en los que se presenta una disminución




---

TABLA 5-2-1.- REACCIONES DE OXIDACION DE LA MATERIA ORGANICA EN  
SEDIMENTOS MARINOS. Modificado de: Froelich *et al.*, 1979. Mat.Org =  
Formulación de Redfield =  $(\text{CH}_2\text{O})_{106} (\text{NH}_3)_{16} (\text{H}_3\text{PO}_4)$ .

de materia orgánica con el nivel.

Si bien se ha reportado (Stum y Morgan, 1970) que el estado redox de un sedimento es el resultado de una serie de procesos químicos (degradación de materia orgánica, etc.) y biológicos (actividad biológica que produce un consumo de oxígeno) ya sean de naturaleza reversible y/o irreversible lo que dificulta su estudio. De acuerdo con Stum y Morgan (1970) la concentración de especies químicas que presentan reacciones reversibles es tan

baja que no es posible obtener mediciones confiables de Eh. Considerando la complejidad de los sistemas redox naturales el valor del potencial medido no representa de acuerdo a su definición un valor de potencial verdadero sino que es solo la fuerza electromotriz de una celda electroquímica (Bagander y Niemisto, 1978). A pesar de lo anterior, el potencial redox se usa para caracterizar un ambiente sedimentario; Larsen y Chilingar (1983) y Krumbein (1967), a través de este valor analizan los minerales más probables en los sedimentos, y las especies químicas más comunes en el agua. De acuerdo a estos autores en condiciones oxidantes ( $Eh > 0$ ) y en un intervalo de pH comprendido entre 7.0 y 8.0, los minerales más comunes presentes en los sedimentos son: hematita ( $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita ( $\text{HFeO}_2$ ) óxidos de Mn ( $\text{MnO}_2$ ), sílica ( $\text{SiO}_2$ ), chamosita ( $\text{Fe}_4\text{..Al}(\text{Si}_3\text{Al}_{10})(\text{OH})_n\text{H}_2\text{O}$ ), calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), fosforita; si las condiciones de pH son más alcalinas (intervalo de pH 8.0 a 9.0) se presentan los mismos minerales ya mencionados con una mayor abundancia de calcita. En el presente trabajo se observa en general un predominio de los óxidos de Fe, Mn así como la presencia de silicoaluminatos. La concentración de carbonatos está en el intervalo de 1.07 a 2.9 %, y en general no presenta un comportamiento definido. Actualmente ya se ha demostrado la importancia de los organismos silíceos y calcáreos en el transporte de elementos traza a los sedimentos marinos, así como de la profundidad de compensación de la calcita y la velocidad de disolución de los carbonatos durante el aporte de metales a los sedimentos (Halbach y

Puteanus, 1984) .

Basicamente la disolución de carbonatos aporta Fe a los sedimentos. Existe una relación inversa aparente entre la concentración de carbonatos en los sedimentos y la concentración de Fe, esta relación se observa en los núcleos 20, 22 y 25 ; en el resto de núcleos estudiados la concentración de carbonatos con la profundidad es altamente variable.

La concentración de metales traza en los sedimentos está íntimamente ligada a la concentración en el agua intersticial; el reciclamiento de metales traza en las capas superiores de los sedimentos marinos es una parte importante del ciclo geoquímico de estos elementos . La concentración de metales traza en el agua intersticial y su gradiente de concentración, permite observar los procesos de diagénesis temprana y el flujo de metales en los sedimentos a la columna de agua y a las capas inferiores de sedimentos. Estudios de este tipo han mostrado (Li *et al.*, 1969) la existencia de un gradiente de Mn en el agua intersticial que refleja la disolución de Mn en los sedimentos del fondo , y una difusión hacia arriba, lo que causa que la porción superior de la columna de sedimentos relativamente oxidada, esté enriquecida en Mn sólido.

El Ni a menudo se encuentra asociado a el horizonte enriquecido de Mn en los sedimentos (Sawlan y Murray, 1983) . El análisis de correlación en los núcleos de sedimento muestra una alta correlación Ni/Mn en los núcleos 20, 22, 36 y 39 (Tablas 5-2-4, 5-2-5, 5-2-7, 5-2-8), en los núcleos 5 y 18, (Tablas 5-2-2, 5-2-3)

TABLA 5-2-2 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 5 .

|       | PROF. | CARB. | M.O.  | Cu    | Ni    | Co    | Zn    | Fe    | Al    | Mn    | Si    | NOD  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| PROF. | 1.00  | 0.073 | 0.36  | -0.34 | -0.78 | 0.47  | -0.69 | -0.30 | 0.35  | -0.67 | -0.74 | 0.00 |
| CARB. |       | 1.000 | -0.44 | -0.15 | -0.18 | 0.23  | -0.07 | 0.22  | 0.26  | 0.18  | -0.15 | 0.00 |
| M.O.  |       |       | 1.00  | 0.14  | 0.03  | 0.18  | -0.41 | 0.21  | 0.12  | -0.45 | -0.29 | 0.00 |
| Cu    |       |       |       | 1.00  | 0.56  | 0.47  | 0.38  | 0.35  | -0.14 | 0.31  | 0.28  | 0.00 |
| Ni    |       |       |       |       | 1.00  | -0.19 | 0.51  | 0.45  | -0.21 | 0.52  | 0.63  | 0.00 |
| Co    |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.20 | 0.05  | 0.18  | -0.22 | -0.45 | 0.00 |
| Zn    |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.18 | -0.82 | 0.73  | 0.47  | 0.00 |
| Fe    |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.37  | -0.10 | 0.14  | 0.00 |
| Al    |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.44 | 0.19  | 0.00 |
| Mn    |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.63  | 0.00 |
| Si    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.00 |
| NOD.  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00 |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.575)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.632)

TABLA 5-2-3 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 18 .

|       | PROF. | CARB. | M.O.  | Cu     | Ni    | Co     | Zn    | Fe    | Al    | Mn     | Si     | NOD |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|
| PROF. | 1     | 0.324 | -0.6  | -0.466 | 0.503 | -0.499 | 0.02  | 0.044 | 0.269 | -0.6   | 0.59   | 0   |
| CARB. |       | 1     | -0.47 | -0.123 | -0.17 | -0.57  | 0.16  | 0.521 | -0.5  | -0.627 | -0.42  | 0   |
| M.O.  |       |       | 1     | 0.36   | -0.43 | 0.125  | 0.51  | -0.17 | -0.33 | 0.28   | -0.007 | 0   |
| Cu    |       |       |       | 1      | 0.33  | 0.65   | -0.37 | -0.14 | -0.54 | 0.72   | -0.62  | 0   |
| Ni    |       |       |       |        | 1     | 0.44   | -0.67 | -0.62 | 0.17  | 0.34   | 0.17   | 0   |
| Co    |       |       |       |        |       | 1      | -0.75 | -0.17 | 0.14  | 0.97   | -0.35  | 0   |
| Zn    |       |       |       |        |       |        | 1     | 0     | -0.22 | -0.65  | 0.27   | 0   |
| Fe    |       |       |       |        |       |        |       | 1     | -0.35 | -0.16  | -0.6   | 0   |
| Al    |       |       |       |        |       |        |       |       | 1     | 0.068  | 0.57   | 0   |
| Mn    |       |       |       |        |       |        |       |       |       | 1      | -0.35  | 0   |
| Si    |       |       |       |        |       |        |       |       |       |        | 1      | 0   |
| NOD.  |       |       |       |        |       |        |       |       |       |        |        | 1   |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.765)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.632)

TABLA 5-2-4 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 20 .

|       | PROF. | CARB. | M.O.  | Cu     | Ni     | Co     | Zn    | Fe    | Al    | Mn    | Si    | NOD |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| PROF. | 1     | 0.13  | 0.19  | -0.436 | -0.576 | -0.58  | 0.49  | 0.26  | -0.27 | -0.6  | 0.76  | 0   |
| CARB. |       | 1     | 0.295 | -0.67  | -0.65  | -0.051 | 0.55  | -0.69 | -0.87 | -0.53 | 0.08  | 0   |
| M.O.  |       |       | 1     | -0.47  | -0.49  | -0.47  | 0.31  | 0.07  | -0.3  | -0.6  | 0.61  | 0   |
| Cu    |       |       |       | 1      | 0.927  | 0.83   | -0.88 | 0.28  | 0.86  | 0.946 | -0.59 | 0   |
| Ni    |       |       |       |        | 1      | 0.94   | -0.93 | 0.066 | 0.77  | 0.93  | -0.59 | 0   |
| Co    |       |       |       |        |        | 1      | -0.87 | -0.15 | 0.635 | 0.87  | -0.57 | 0   |
| Zn    |       |       |       |        |        |        | 1     | 0.029 | -0.63 | -0.89 | 0.56  | 0   |
| Fe    |       |       |       |        |        |        |       | 1     | 0.655 | 0.03  | 0.28  | 0   |
| Al    |       |       |       |        |        |        |       |       | 1     | 0.69  | -0.23 | 0   |
| Mn    |       |       |       |        |        |        |       |       |       | 1     | -0.8  | 0   |
| Si    |       |       |       |        |        |        |       |       |       |       | 1     | 0   |
| NOD.  |       |       |       |        |        |        |       |       |       |       |       | 1   |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.765)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.632)

TABLA 5-2-5 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 22 .

|       | PROF. | CARB. | M.O.  | Cu    | Ni    | Co    | Zn    | Fe    | Al    | Mn    | Si    | NOD   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| PROF. | 1.00  | -0.30 | -0.24 | -0.35 | -0.51 | -0.47 | 0.35  | -0.37 | -0.12 | -0.42 | 0.76  | -0.11 |
| CARB. |       | 1.00  | 0.21  | -0.36 | 0.44  | 0.62  | -0.72 | -0.13 | -0.44 | 0.68  | -0.50 | 0.51  |
| M.O.  |       |       | 1.00  | -0.20 | 0.12  | 0.14  | -0.69 | -0.33 | 0.43  | 0.03  | -0.37 | 0.23  |
| Cu    |       |       |       | 1.00  | 0.26  | -0.17 | 0.17  | 0.13  | -0.08 | 0.06  | -0.04 | 0.07  |
| Ni    |       |       |       |       | 1.00  | 0.67  | -0.26 | 0.33  | 0.06  | 0.92  | -0.48 | 0.77  |
| Co    |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.16 | 0.25  | -0.26 | 0.82  | -0.84 | 0.32  |
| Zn    |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.33  | -0.01 | -0.30 | 0.33  | -0.48 |
| Fe    |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.36  | 0.21  | -0.25 | -0.22 |
| Al    |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.26 | 0.13  | 0.02  |
| Mn    |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.56 | 0.73  |
| Si    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.05 |
| NOD.  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.735)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.602)

TABLA 5-2-6 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 25 .

|       | PROF | CARB. | M.O.  | Cu    | Ni    | Co    | Zn    | Fe    | Al    | Mn    | Si    | NOD  |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| PROF. | 1.00 | -0.34 | -0.38 | 0.95  | 0.09  | 0.00  | 0.56  | -0.52 | 0.11  | -0.86 | 0.63  | 0.00 |
| CARB. |      | 1.00  | 0.42  | -0.18 | 0.77  | 0.54  | -0.28 | -0.37 | 0.53  | 0.02  | -0.19 | 0.00 |
| M.O.  |      |       | 1.00  | -0.57 | -0.47 | -0.09 | 0.08  | 0.27  | 0.06  | 0.43  | 0.14  | 0.00 |
| Cu    |      |       |       | 1.00  | 0.27  | 0.19  | 0.34  | -0.46 | 0.16  | -0.77 | 0.46  | 0.00 |
| Ni    |      |       |       |       | 1.00  | 0.35  | -0.39 | -0.30 | 0.81  | -0.23 | 0.20  | 0.00 |
| Co    |      |       |       |       |       | 1.00  | -0.22 | -0.10 | -0.23 | -0.13 | -0.44 | 0.00 |
| Zn    |      |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.72 | -0.15 | -0.66 | 0.47  | 0.00 |
| Fe    |      |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.40 | 0.72  | -0.42 | 0.00 |
| Al    |      |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.22 | 0.48  | 0.00 |
| Mn    |      |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.76 | 0.00 |
| Si    |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.00 |
| NOD.  |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00 |

Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.834)

Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.707)

TABLA 5-2-7 .- COEFICIENTES DE CORRELACION EN SEDIMENTOS DEL NUCLEO 36 .

|       | Prof | M.O.  | Carb. | Fe    | Al    | Mn    | Si    | Cu    | Ni    | Zn    | Co    | Nod   |
|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prof. | 1.00 | -0.57 | -0.41 | -0.92 | 0.15  | 0.57  | 0.62  | 0.55  | 0.59  | 0.07  | 0.48  | -0.20 |
| M.O.  |      | 1.00  | 0.62  | 0.60  | 0.53  | -0.67 | 0.17  | -0.78 | -0.72 | 0.28  | -0.77 | 0.23  |
| Carb  |      |       | 1.00  | 0.66  | -0.17 | -0.29 | -0.13 | -0.45 | -0.34 | 0.48  | -0.30 | -0.17 |
| Fe    |      |       |       | 1.00  | -0.22 | -0.49 | -0.58 | -0.51 | -0.52 | 0.13  | -0.36 | 0.15  |
| Al    |      |       |       |       | 1.00  | -0.29 | 0.64  | -0.30 | -0.30 | 0.05  | -0.46 | 0.47  |
| Mn    |      |       |       |       |       | 1.00  | -0.14 | 0.97  | 1.00  | -0.57 | 0.95  | 0.26  |
| Si    |      |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.15 | -0.15 | 0.43  | -0.27 | -0.26 |
| Cu    |      |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.98  | -0.59 | 0.95  | 0.29  |
| Ni    |      |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | -0.57 | 0.95  | 0.24  |
| Zn    |      |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.47  | -0.63 |
| Co    |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  | 0.16  |
| Nod   |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1.00  |

\* Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 (>0.798)

o Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 (>0.666)



TABLA 5-2-B .- COEFICIENTES DE CORRELACION DEL NUCLEO 39 .

|       | Prof | Carb | M.O.  | Cu    | Ni    | Co    | Zn    | Fe    | Al    | Mn    | Si    | Nod   |
|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prof. | 1    | 0.47 | -0.87 | 0.65  | 0.3   | -0.37 | 0.59  | -0.1  | -0.55 | 0.36  | 0.49  | -0.39 |
| Carb  |      | 1    | 0.57  | 0.07  | 0.42  | 0.44  | -0.68 | 0.23  | 0.57  | 0.14  | -0.56 | 0.44  |
| M.O.  |      |      | 1     | -0.54 | -0.11 | 0.58  | -0.86 | -0.18 | 0.68  | -0.45 | -0.58 | 0.59  |
| Cu    |      |      |       | 1     | 0.73  | 0     | 0.2   | 0.46  | -0.19 | 0.75  | -0.09 | -0.29 |
| Ni    |      |      |       |       | 1     | 0.52  | -0.21 | 0.29  | 0.14  | 0.75  | -0.09 | 0.07  |
| Co    |      |      |       |       |       | 1     | -0.63 | 0.13  | 0.51  | 0.25  | -0.05 | 0.67  |
| Zn    |      |      |       |       |       |       | 1     | 0.12  | -0.88 | 0.34  | 0.73  | -0.41 |
| Fe    |      |      |       |       |       |       |       | 1     | 0.13  | 0.42  | 0.09  | -0.15 |
| Al    |      |      |       |       |       |       |       |       | 1     | -0.31 | -0.7  | 0.11  |
| Mn    |      |      |       |       |       |       |       |       |       | 1     | 0.38  | -0.01 |
| Si    |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       | 1     | 0.17  |
| Nod   |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 1     |

\* Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.765)

o Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.632)

la correlación es positiva pero no significativa, en el núcleo 25 sin embargo el comportamiento es totalmente diferente; este hecho aunado a la composición diferente de los nódulos localizados en la parte norte de la región C sugiere diferentes procesos químicos en los sedimentos de esta región.

El Cu produce un patrón más alto de difusión, y en general muestra asociación significativa con la materia orgánica presente en el sedimento. En los núcleos del presente estudio el comportamiento del Cu es variable. En los núcleos 18, 20, y 36 (Tablas 5-2-3, 5-2-4, 5-2--7) el Cu se asocia al Mn.

Dos estudios de Klinkhammer, (1980); Klinkhammer *et al.*, (1982) y uno de Callendar y Bowser (1980), resumen el conocimiento a la fecha de los procesos relacionados con Cu y Ni en agua intersticial y Fe y Mn en sedimentos de zonas abisales:

1) La oxidación aeróbica del carbono orgánico mantiene una concentración de Cu en el agua intersticial de las capas superiores de 10 a 20 veces mayor que en el agua de fondo (4-6 nmol/Kg). El flujo difusivo hacia el océano explica el enriquecimiento de Cu en el océano profundo.

2) En las áreas de reducción de Mn, el Ni y en menor grado el Cu son liberados del sedimento al agua intersticial como participantes pasivos, durante la reducción y la disolución de los óxidos de Mn.

3) En las áreas de reducción de Fe, la concentración de Cu y Ni disminuye con la profundidad de sepultamiento.

Por otro lado existen estudios referentes a la química y a la génesis de los sedimentos en la Dorsal del Pacífico Oriental (Bender

et al., 1971) , en los que se ha encontrado que los sedimentos de estas areas estan enriquecidas en Fe, Mn, As, B, Hg, U y otros elementos. La alta concentraci3n de estos elementos en los sedimentos se atribuye a la precipitaci3n de metales insolubles de las emanaciones volc3nicas de la cresta de la Dorsal. El an3lisis de un nucleo de sedimento en la cresta de la Dorsal (Bender, 1971), muestra que el Mn y el Pb tienen un origen volc3nico, en tanto que el U, Sr y tierras raras provienen del agua de mar. La presencia de un m3ximo de Fe a profundidades medias reportada por varios autores (Spencer et al., 1970), sugiere un origen volc3nico para este.

Los valores obtenidos en el presente trabajo de metales en sedimentos se representan de una manera esquem3tica en las Figs. 5-2-1 a 5-2-9. Los valores de Fe en los nucleos de sedimento est3n en el intervalo de 2.14 a 12.6 % ; al realizar el an3lisis de sedimentos superficiales (Cap 5-1) se observ3 que los valores altos se concentran en las regiones A y C; ; por lo que respecta a su variaci3n con la profundidad se observa en general que al haber n3dulos enterrados en los sedimentos, la concentraci3n de Fe en estos disminuye en la parte superior inmediata al n3dulo o en los sedimentos que rodean al n3dulo, y aumenta la concentraci3n de Fe en el agua intersticial asociada. As3 se observa lo siguiente:

1) En el nivel 70 cm del nucleo 22, en el intervalo donde se localizaron 3 n3dulos se presenta una disminuci3n en la concentraci3n de Fe en los sedimentos y un aumento de concentraci3n de Fe en el agua

TABLA 5-2-9 .- CONCENTRACION DE MANGANESO Y HIERRO EN AGUA INTERSTICIAL DE NUCLEOS DEL PACIFICO NORTE (  $\mu\text{mol/Kg}$  ).

| NUCLEO 7BC15B2<br>PROF. 3100m<br>8 48' N 104 00' W |       |       | NUCLEO 9BC26B2<br>PROF. 3600m<br>6 33'N 92 48'W |       |       | NUCLEO 145-15<br>PROF. 388m<br>20 21.5'N 105 50.0'W |    |      | NUCLEO 5<br>PROF. 2870m<br>21 34.7'N 107 06.8'W |      |     | NUCLEO 18<br>PROF. 2820m<br>20 48.1'N 109 48.2'W |     |       | NUCLEO 39<br>PROF. 3950m<br>16 22.3'N 115 31.0'W |     |      |
|--|-------|-------|---|-------|-------|---|----|------|---|------|-----|--|-----|-------|--|-----|------|
| INT(cm)  | Mn    | Fe    | INT(cm)   | Mn    | Fe    | INT(cm)   | Mn | Fe   | INT(cm)   | Mn   | Fe  | INT(cm)  | Mn  | Fe    | INT(cm)  | Mn  | Fe   |
| 0-2.3  | <0.02 | <0.06 | 0-2.2   | <0.02 | <0.06 | 0-2   | 5  | 9.7  | 0-0.5   | 14.7 | 25  | 0-3  | T   | 18.80 | 0-3  | ND  | 6.5  |
| 2.3-4.5  | <0.02 | <0.06 | 2.2-4.4   | <0.02 | <0.06 | 2-4   | 14 | 25.0 | 0.5-1.0   | 23.7 | 18  | 3-6  | ND  | 10.20 | 6-10   | ND  | 5.7  |
| 4.5-6.7  | 0.24  | <0.06 | 4.4-6.6   | <0.02 | <0.06 | 4-6   | 12 | 22.0 | 1-1.75  | 67.3 | 21  | 6-10   | ND  | ND    | 10-15  | 0.3 | 8.5  |
| 6.7-9.1  | 13.00 | <0.06 | 6.6-8.8   | 0.02  | <0.06 | 6-8   | 12 | 20.0 | 1.75-2.5  | 20.2 | 147 | 10-15  | ND  | ND    | 15-20  | 7.8 | 70.0 |
| 9.1-11.3   | 22.00 | <0.06 | 8.8-11  | 0.01  | -     | 8-10  | 9  | 17.0 | 2.5-4   | 11.6 | 20  | 15-20  | ND  | ND    | 30-40  | 2.5 | 8.0  |
| 11.3-13.5  | 25.00 | 0.1   | 11-13.2   | 1.30  | -     | 10-15   | 7  | 6.0  | 4-5.5   | 25.5 | 125 | 50-60  | 2.0 | 8.20  | 90-100   | 0.7 | 3.6  |
| 13.5-15.7  | 39.00 | 2.4   | 13.2-15.  | 3.60  | -     | 15-18   | 5  | 3.0  | 5.5-7   | 63.5 | 12  | 95-105   | 3.4 | 5.70  | 140-150  | 1.4 | 17.3 |
| 15.7-18  | 48.00 | 9.3   | 15.4-17.  | 7.10  | <0.06 | 18-20   | 2  | 1.0  | 7-8.5   | 59.5 | 13  | 140-150  | 3.1 | 1.43  | -  | -   | -    |
| 18.0-20.3  | 58.00 | 12.0  | 17.6-19.  | 8.40  | <0.06 | -   | -  | -    | 8.5-10  | 58.2 | 5.9 | -  | -   | -     | -  | -   | -    |
| 20.3-22.6  | 62.00 | 14.0  | 19.8-22   | 9.50  | <0.06 | -   | -  | -    | 13.5-15   | 0.3  | 2.7 | -  | -   | -     | -  | -   | -    |
| 22.6-25.1  | 56.00 | 16.0  | 22-24.2   | 11.00 | <0.06 | -   | -  | -    | 18.5-20   | 1.2  | -   | -  | -   | -     | -  | -   | -    |
| 25.1-27.3  | 58.00 | 21.0  | 27-29.2   | 24.00 | -     | -   | -  | -    | -   | -    | -   | -  | -   | -     | -  | -   | -    |
| 27.3-29.5  | 58.00 | 18.0  | 29.2-31.  | 27.00 | -     | -   | -  | -    | -   | -    | -   | -  | -   | -     | -  | -   | -    |

Klinkhammer, 1980  
Sawian y Murray, 1983  
Este Trabajo

intersticial.

2) En el núcleo 27 se localizaron nódulos a diferentes niveles: superficie, nivel 75 cm, y nivel 110 cm, los sedimentos en estos 3 intervalos muestran una disminución respecto al resto de sedimentos en el núcleo; la concentración de Fe en el agua intersticial se detectó a lo largo del núcleo con un aumento apreciable de concentración de Fe en la superficie.

3) En el núcleo 33 se localizaron nódulos a niveles de: 100, 154 y 175 cms, la concentración de Fe en estos sedimentos es de 2.14, 2.96 y 2.99 % respectivamente, a partir de los 100 cm, la concentración de Fe en sedimentos aumenta hasta alcanzar un valor de 5.6 % en la superficie.

4) En el núcleo 36, los sedimentos adyacentes al nódulo ubicado a 100 cm son más bajos en su concentración de Fe que el resto de los sedimentos del núcleo, entanto el agua intersticial muestra el comportamiento contrario.

Los valores de Mn están comprendidos en el intervalo de 0.0 a 2.41 % en los núcleos de sedimento, en general el comportamiento del Mn a lo largo de los núcleos de sedimento estudiados es constante a excepción del núcleo 5. En este los valores medidos de Mn son muy bajos (0.06 a 0.15 %) y contrariamente fueron los valores más altos de Mn en agua intersticial.

En el resto de los núcleos estudiados, en general el Mn muestra concentraciones altas en los sedimentos superficiales, con una disminución gradual hasta valores prácticamente de cero. (la profundidad a la cual el valor alcanza cero es variable). Se

aprecia sin embargo, un comportamiento anómalo por lo que respecta a la concentración de Mn en los sedimentos cuando hay nódulos, ya que en algunos casos es evidente el aumento de concentración de Mn en los sedimentos al haber nódulos. Así se puede señalar un aumento de concentración de Mn en los sedimentos de los núcleos 20, 22 y 36 en los niveles donde se localizan nódulos, en tanto que en los núcleos 27, 33 y 39 no se observa ningún incremento en la concentración de Mn en los sedimentos asociados a los nódulos. Este comportamiento irregular, sugiere que el aumento de concentración de Mn en sedimento en algunos casos es debido a un efecto de contaminación del nódulo al sedimento.

En la Tabla 5-2-9 se hace una comparación de los valores de Fe y Mn en el agua intersticial de algunos de los núcleos de sedimento estudiados en el presente trabajo, (la concentración está expresada en  $\mu\text{moles/Kg}$ ) con valores de otras áreas del Pacífico Ecuatorial. Los primeros dos núcleos reportados en la Tabla 5-2-9 corresponden al trabajo de Klinkhammer (1980), el primer núcleo (Núcleo: 7BC15B2, localizado a  $8^{\circ}48'N$  y  $104^{\circ}00'W$ ) se ubica a 20-30 Km al este de los ejes de dispersión de la Dorsal, a 3100 m de profundidad, y con una capa de sedimentos de 5 a 6 m; el segundo núcleo (Núcleo: 7BC26B2, localizado a  $6^{\circ}33'N$  y  $92^{\circ}48'W$ ) se ubica a 3600 m de profundidad en una planicie de la cuenca de Guatemala, a 1000 Km al Este de la cresta de la Dorsal. La concentración de Fe y Mn en el agua intersticial de la parte superior de los núcleos estuvo por debajo del límite de detección ( $0.2 \mu\text{mol/Kg}$  para Fe y  $0.02 \mu\text{mol/Kg}$  para Mn); valores muy

cercanos a los usualmente reportados en el agua de mar; esta concentración aumenta con la profundidad hasta 4 ordenes de magnitud en unos cuantos centímetros.. En estos nucleos se reporta que la zona de oxidación de Mn se encuentra entre los 5 y 20 cm de profundidad; los flujos de Mn y  $O_2$  sugieren que el flujo de  $O_2$  es suficiente para oxidar el Mn que se difunde hacia arriba, por debajo de la zona de reducción de Mn se presenta la reducción de Fe en la zona suboxica. Se han reportado 4 procesos procesos (Klinkhammer, 1980) como los responsables de los perfiles de distribución de Fe y Mn; estos son:

- 1) Producción de oxidos metastables
- 2) Reducción de los oxidos por la materia orgánica en reacciones con microorganismos.
- 3) Equilibrio con la fase sólida
- 4) Difusión

En el nucleo 145-15 estudiado por Sawlan y Murray (1983), (localizado a  $20^{\circ} 21.5' N$ ,  $105^{\circ} 50.0' W$ , ubicado a una profundidad de 388 m) desde la superficie se aprecian concentraciones de Mn y Fe, que tienden a disminuir linealmente con la profundidad, la reducción de Mn disminuye simultaneamente con la concentración de nitratos; si el nitrato es consumido en la superficie, la concentración de Mn en la superficie es cero.

Los nucleos del presente trabajo muestran comportamientos diferentes, el nucleo 5 es similar al nucleo 145-15 (Tabla 5-2-9), en tanto que en el nucleo 18 el Fe se alcanza a detectar en la superficie hasta alrededor de los 8 cm de profundidad, debajo de

este nivel su concentración está por debajo de los límites de detección. En el núcleo 39, la concentración de Fe es apreciable a lo largo del núcleo, con un aumento considerable de concentración en el nivel de 20 cm donde se localizaron 6 nódulos. A partir del análisis anterior se desprende lo siguiente:

1) el núcleo 5 es el que presenta mayores diferencias si se compara con el resto de núcleos estudiados; la alta concentración de Zn en las capas superiores de sedimento, sugiere una fuerte influencia hidrotermal en estas primeras capas, considerando que el origen hidrotermal del zinc está ampliamente reportado (Edmond, 1984).

La alta correlación Zn/Mn que se observa (Tabla 5-1-8) se atribuye asimismo a un aporte hidrotermal del Mn. Campbell *et al.*, (1984), han reportado aguas hidrotermales enriquecidas hasta un millón de veces en Mn, el cual es dispersado por la circulación general 100-200 m arriba de la cresta de la cordillera.

2) En general se observa una alta correlación entre Mn con Cu, Ni, y Co así como de Cu con Ni y Co, en el resto de núcleos estudiados, lo que sugiere mecanismos de formación o aporte iguales para estos elementos.

3) No se observa una correlación significativa entre la presencia de nódulos en los núcleos y la concentración de metales en los sedimentos correspondientes.



### 5-3.- ANALISIS DE ROCAS .

A partir de datos existentes en la literatura (Juteau *et al.*, 1980; Carranza *et al.*, 1986) se hace una comparación entre las rocas tanto basálticas como hidrotermales de la region A del área de estudio, con rocas colectadas y estudiadas en la isla Clarión (Hidalgo, 1987) ubicada en uno de los extremos de la región B y próxima a sitios de recolección de nódulos polimetálicos.

La composición de una roca es el resultado de la interacción de procesos magmáticos y secundarios, y refleja una secuencia de cristalización. Los magmas más primitivos tienen un mayor contenido de Mg (Fornary *et al.*), al sufrir una cristalización fraccionada la concentración de Mg baja; esto puede en parte deberse a la acumulación de fases ferromagnesianas en los basaltos cristalinos. Por otro lado, la cristalización fraccionada de la roca hace que haya una tendencia hacia un aumento en la concentración de TiO<sub>2</sub>. En las rocas estudiadas por Fornary *et al.*, (1982) pertenecientes a la boca del Golfo de California, las rocas más primitivas tienen las concentraciones más bajas de TiO<sub>2</sub> (1.33 a 1.47 %), en tanto que las rocas más evolucionadas presentan valores más altos (1.70 a 2.35 %). El menor contenido de FeO es una consecuencia de la naturaleza menos fraccionada de la roca.

Juteau *et al.*, (1980) estudiaron muestras de rocas de la cresta de la Dorsal del Pacífico Oriental (21°N y 109°W), su muestreo incluyó: almohadillas, lavas con flujo laminar y pilares basálticos. Dichas muestras corresponden a toleitas oceánicas

bajas en potasio. La homogeneidad en la composición de las muestras (tabla 5-3-1) se refleja en el diagrama FeO/MgO respecto a TiO<sub>2</sub> (Fig. 5-3-1). No se observaron muestras con un contenido menor a 1 % de TiO<sub>2</sub> y bajos valores de la relación FeO/MgO que fueron muy comunes en el área Famous (French American Mid-Ocean Undersea Study) del Atlántico (Arcyana, 1977, Bryan y Moore, 1977). Tampoco fué posible detectar ferrobasaltos, con un contenido mayor a 12 % FeO y 2 % TiO<sub>2</sub>, como los encontrados en el área de dispersión de las Galapagos (Anderson *et al.*, 1975; Byerly *et al.*, 1976; Ballard *et al.*, 1979).

El hecho de que la composición química total de elementos mayores de las almohadillas de lava, sábanas de lava y pilares, no muestre ninguna diferencia significativa entre si, señala que la fracción acumulativa en niveles someros no fué un paso importante en el proceso de cristalización de los diferentes tipos de magma. Lo más probable es que el magma se haya desplazado rápidamente a través de las cámaras magmáticas y fuera extruido después de una subida adiabática rápida, evitándose entonces una cristalización significativa .

Rocas estudiadas por Lopez *et al.*, (1978) en la boca del Golfo de California, muestran una composición similar a las rocas estudiadas de la Dorsal del Pacífico Oriental por Juteau *et al.*, (1980). Su composición de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub> las clasifica como toleitas oceánicas, las cuales tienen concentración más bajas de K, P, Pb, Ti y Zr.

Por otro lado Carranza *et al.*, (1986) , analizaron muestras de rocas

TABLA 5-3-1.- COMPOSICION DE ROCAS BASALTICAS DE LA CORDILLERA DEL PACIFICO ESTE. 21<sup>°</sup>N, 109<sup>°</sup>W. (Juteau *et al.*, 1980) (reportado en %).

| TIPO                           | FLUJOS LAMINARES |       |       | ALMOHADILLAS |       |       | PILARES |       |       |
|--------------------------------|------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------|-------|-------|
|                                | 1                | 2     | 3     | 4            | 5     | 6     | 7       | 8     | 9     |
| SiO <sub>2</sub>               | 50.73            | 50.33 | 50.55 | 50.94        | 49.84 | 50.19 | 51.16   | 50.03 | 50.53 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 14.30            | 14.75 | 14.70 | 14.27        | 15.98 | 16.18 | 14.75   | 13.07 | 13.92 |
| FeO                            | 9.78             | 10.81 | 10.52 | 10.37        | 9.37  | 9.20  | 10.21   | 10.36 | 10.18 |
| MnO                            | 0.31             | 0.03  | 0.25  | 0.07         | 0.15  | 0.26  | 0.04    | 0.16  | 0.20  |
| MgO                            | 7.17             | 7.09  | 7.23  | 7.21         | 8.04  | 8.04  | 7.61    | 8.70  | 9.03  |
| CaO                            | 11.46            | 11.23 | 11.08 | 11.24        | 11.58 | 11.01 | 11.30   | 12.54 | 12.00 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.03             | 2.86  | 2.92  | 3.15         | 2.56  | 2.82  | 3.08    | 2.53  | 2.58  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.16             | 0.10  | 0.09  | 0.08         | 0.16  | 0.08  | 0.12    | 0.07  | 0.03  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.95             | 1.87  | 1.81  | 1.91         | 1.33  | 1.31  | 1.66    | 1.55  | 1.43  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.44             | 0.57  | 0.40  | 0.31         | 0.42  | 0.29  | 0.46    | 0.25  | 0.32  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03             | 0.00  | 0.01  | 0.08         | 0.12  | 0.05  | 0.00    | 0.06  | 0.12  |

TABLA 5-3-2 COMPOSICION DE ROCAS RECOLECTADAS EN DEPOSITOS HIDROTERMALES DE LA CORDILLERA DEL PACIFICO ESTE (21<sup>°</sup>N, 109<sup>°</sup>W) (Carranza *et al.*, 1986) (reportadas en %).

|         | ZnO   | FeO   | CuO  |
|---------|-------|-------|------|
| 923 R7A | 40.20 | 38.72 | 0.81 |
| 917 R3A | 8.58  | 35.76 | 0.19 |

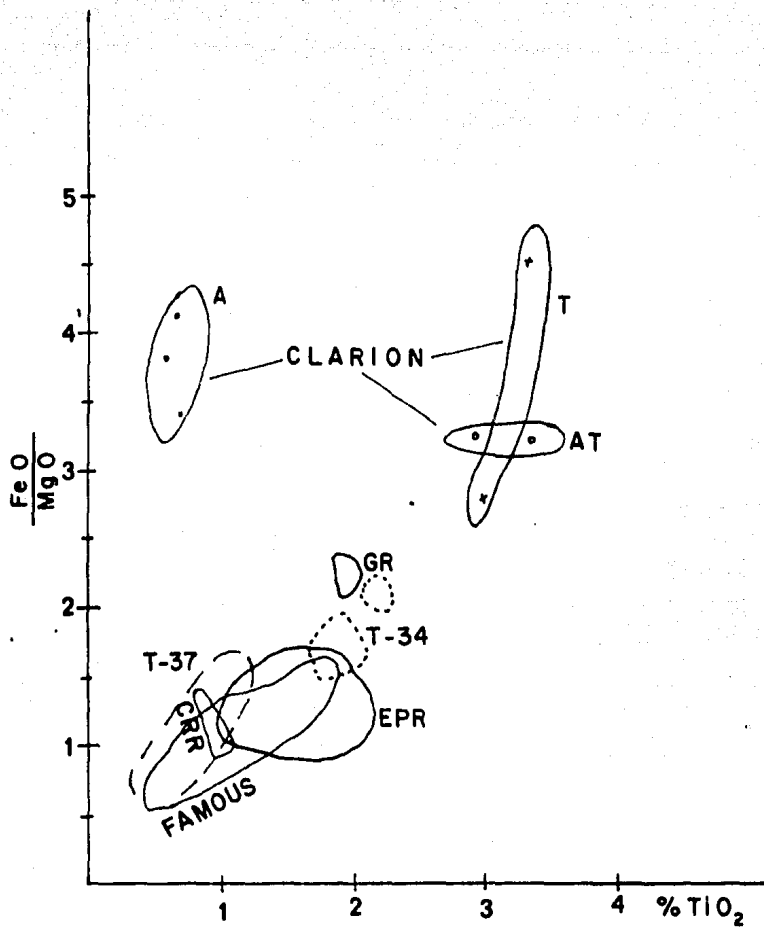


FIGURA 5-9-1. - RELACION  $\text{FeO}/\text{MgO}$  CON  $\text{TiO}_2$  PARA ROCAS PROCEDENTES DE DIFERENTES AREAS HIDROTERMALES.

del EPR a  $21^{\circ}\text{N}$  y  $109^{\circ}\text{W}$  , recolectadas en las zonas de depósitos hidrotermales, encontrando que estas rocas son ricas en su contenido de Zn, Fe y Cu (Tabla 5-3-2). En el presente estudio se recolectaron muestras de rocas de diferentes áreas de la Isla Clarión (Fig. 5-3-2) , las rocas seleccionadas corresponden a las diferentes áreas geológicas localizadas en la isla.

La isla Clarion corresponde a la cima de un enorme complejo volcánico submarino de más de 4000 metros de altura sobre la base del piso oceánico . De acuerdo con Hidalgo (1987) está constituida básicamente por 8 unidades litológicas cuya distribución geográfica se representa en la figura 5-3-2 .

En la isla afloran rocas volcánicas y una pequeña cantidad de sedimentos (arenas y gravas de coral) en la bahía Azufre. Debido a su posición tectónica las rocas que constituyen la isla pueden ser: basaltos alcalinos y/o toléiticos (Hidalgo, 1987) .

En la Tabla 5-3-3 se presentan los datos de concentración obtenidos en este estudio de algunos elementos; comparativamente se dan los resultados reportados por Hidalgo (1987) de algunas de las rocas analizadas por fluorescencia de rayos X . Debido a que por absorción atómica se obtenían valores muy altos para la concentración de  $\text{TiO}_2$  , se decidió usar el método colorimétrico reportado por Armienta (1986) para evaluar la concentración de  $\text{TiO}_2$  en rocas. Asimismo se reporta la concentración de Cu , Ni y Co en las rocas con objeto de analizar la posible relación entre la concentración de estos elementos en las rocas con la concentración de estos elementos en los sedimentos y nódulos

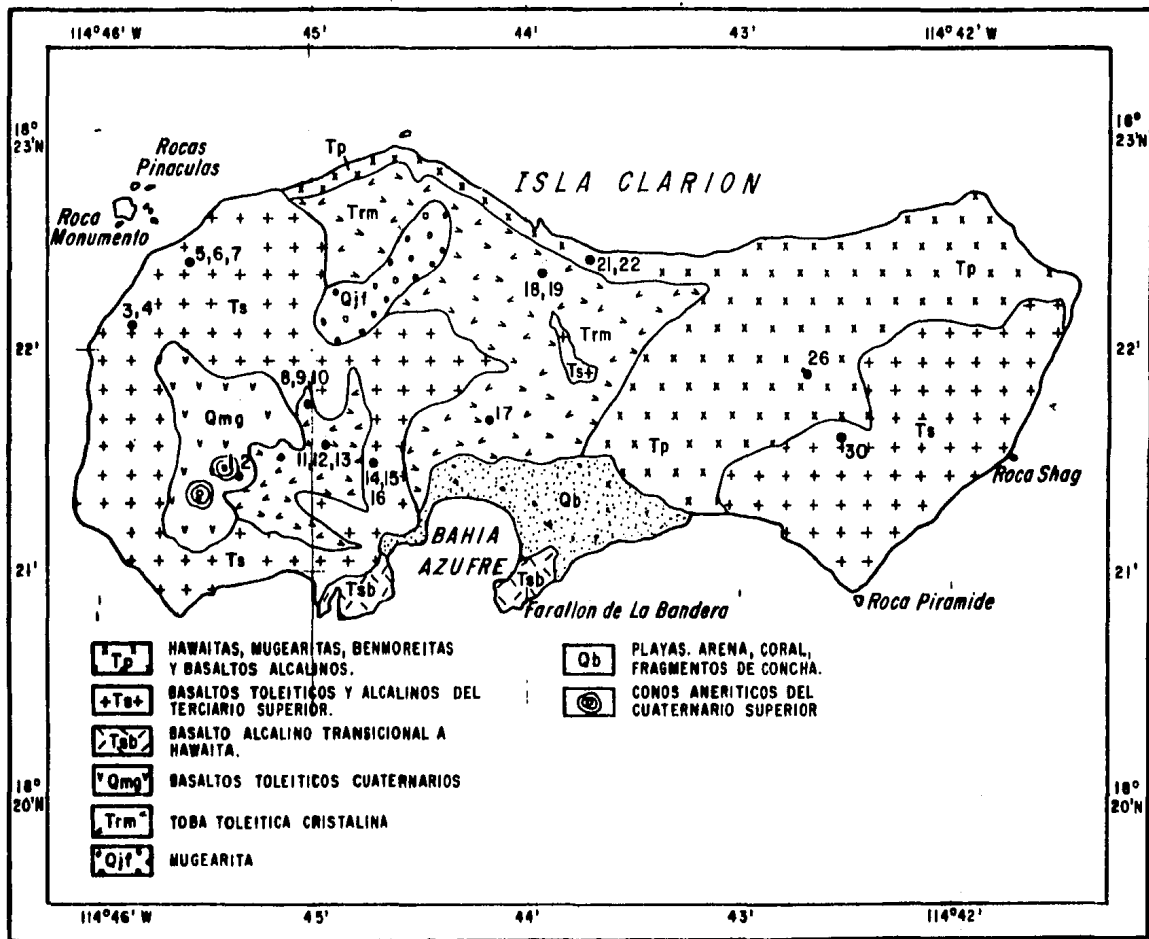


FIGURA 5-9-2. - MAPA DESCRIPTIVO DE LA ISLA CLARION .

del área inmediata .

Basándose en los análisis químicos de la Tabla 5-3-3 , se puede decir que las rocas toleíticas tienen un contenido más elevado de FeO y  $TiO_2$  , lo que refleja una naturaleza más fraccionada y está de acuerdo con los criterios asignados para dicho tipo de rocas. Las rocas alcalinas tienen valores más bajos de FeO y de  $TiO_2$  . Las rocas correspondientes a las muestras 3, 4 y 30 pertenecen de acuerdo con Hidalgo (1987) a las series magmáticas, alcalinas y toleíticas, o bien a una unidad de flujo de composición transicional a ambas series, químicamente muestran concentraciones altas de FeO y de  $TiO_2$  . Un análisis del diagrama FeO/MgO contra  $TiO_2$  (Fig.5-3-1) permite observar gráficamente las diferencias entre los tipos de rocas presentes.

Hidalgo (1987) planteó dos posibles mecanismos de origen para las rocas que constituyen la Isla:

1.- A partir de un magma toleítico se produjeron por fraccionamiento materiales alcalinos dentro de un proceso de diferenciación normal, en el que una fracción de olivino se separa tempranamente de un magma toleítico .

2.- La existencia de dos fuentes magmáticas independientes, una toleítica de poca profundidad y otra alcalina más profunda .

En base a el comportamiento de las muestras en diagramas de variación , (Hidalgo, 1987) propone que el origen de los magmas que forman las rocas de las dos series en la Isla poseen un origen independiente .

Comparando la composición de las rocas de la isla Clarion con las

TABLA 5-33.-CONCENTRACION DE ALGUNOS ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA EN ROCAS DE LA ISLA CLARION .

| MUESTRA | TIPO*<br>ROCA | SiO <sub>2</sub><br>% | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | FeO<br>%     | MnO<br>%    | MgO<br>%    | TiO <sub>2</sub><br>% | Cu<br>ug/g | Ni<br>ug/g | Co<br>ug/g | FeO/MgO |
|---------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------------|------------|------------|------------|---------|
| 1,2     | T             | 54.80                 | 12.31                               | 13.31        | 0.17        | 4.94        | 2.99                  | 7.98       | 38.2       | ND         | 2.69    |
|         |               | <u>50.05</u>          | <u>16.02</u>                        | <u>13.69</u> | <u>0.18</u> | <u>4.64</u> | <u>2.74</u>           | -          | -          | -          | 2.95    |
| 11,13   | T             | 43.33                 | 11.54                               | 13.89        | 0.19        | 2.57        | 1.44                  | 4.00       | 18.9       | ND         | 5.40    |
|         |               | <u>48.79</u>          | <u>15.24</u>                        | <u>15.50</u> | <u>0.19</u> | <u>3.41</u> | <u>3.21</u>           | -          | -          | -          | 4.54    |
| 18,19   | A             | 60.10                 | 14.32                               | 7.57         | 0.17        | 2.20        | 0.48                  | ND         | ND         | ND         | 3.44    |
|         |               | -                     | -                                   | -            | -           | -           | -                     | -          | -          | -          | -       |
| 21,22   | A             | 66.10                 | 11.72                               | 7.30         | 0.09        | 2.02        | 0.50                  | ND         | ND         | ND         | 3.61    |
|         |               | <u>62.50</u>          | <u>17.85</u>                        | <u>7.48</u>  | <u>0.10</u> | <u>1.81</u> | <u>0.63</u>           | -          | -          | -          | 4.13    |
| 3,4     | AT            | 52.80                 | 10.41                               | 12.90        | 0.13        | 3.89        | 3.13                  | 7.99       | 109.6      | ND         | 3.31    |
|         |               | <u>49.40</u>          | <u>16.24</u>                        | <u>13.42</u> | <u>0.12</u> | <u>3.82</u> | <u>3.01</u>           | -          | -          | -          | 3.51    |
| 30      | AT            | 56.20                 | 11.82                               | 14.38        | 0.20        | 4.31        | 3.49                  | 39.90      | 122.1      | 4.00       | 3.33    |
|         |               | -                     | -                                   | -            | -           | -           | -                     | ND         | ND         | ND         | -       |
| 26      | A             | 62.40                 | 11.73                               | 7.42         | 0.16        | 2.12        | 0.62                  | ND         | 3.4        | ND         | 3.50    |
|         |               | <u>59.58</u>          | <u>14.78</u>                        | <u>7.32</u>  | <u>0.21</u> | <u>1.94</u> | <u>0.62</u>           | -          | -          | -          | 3.77    |

Los valores subrayados se obtuvieron por fluorescencia de Rayos X (Hidalgo, 1987)

En tanto los demas valores se obtuvieron en el presente trabajo por A.A. a excepcion del TiO<sub>2</sub> que se determino colorimetricamente .

\* A .- Alcalina, T .- Toleitica , AT .- Transicion

ND .- No se detecto



rocas procedentes de diferentes áreas oceánicas como: la dorsal del Pacífico oriental a  $21^{\circ}\text{N}$  , la dorsal de Costa Rica, la dorsal del Atlántico Medio etc. se observan diferencias fundamentales, por lo que respecta a la concentración de  $\text{TiO}_2$  , es mucho más alto en rocas toleíticas de Clarion , y más bajo en rocas alcalinas de Clarion ; el  $\text{FeO}$  por la asociación de  $\text{TiO}_2$  a este sigue un patrón de distribución similar , lo que refleja secuencias de cristalización diferentes entre las rocas de Clarion y las rocas procedentes de las otras áreas oceánicas mencionadas .

Las concentraciones más bajas de Mg en sedimentos, se presentan en las estaciones 22, 25 y 31 que fueron las estaciones más cercanas a la Isla ; de acuerdo con la figura 5-3-1 se observa que la concentración de Mg en las rocas de Isla Clarion está por debajo de los valores obtenidos en otras áreas estudiadas ; así pues , en rocas de la cresta de la Dorsal del Pacífico Oriental a  $21^{\circ}\text{N}$  y  $109^{\circ}\text{W}$  se obtuvieron valores de  $\text{MgO}$  en el intervalo de 7.51 a 8.63 % (Juteau *et al.*, 1980), del orden del doble de los valores obtenidos en Isla Clarion (2.0 a 4.94 % ) .

Por lo que respecta al contenido de Cu , Ni y Co en las rocas, se observa que en las rocas alcalinas no fué posible detectar estos elementos, este tipo de rocas se localizaron hacia la parte central y noreste de la isla. Las rocas de tipo toleítico mostraron concentraciones bajas de Cu y Ni , estas rocas se localizaron en la parte central suroeste de la isla; en tanto que las rocas alcalino-toleíticas mostraron las concentraciones más altas de Cu y Ni , estas rocas se localizaron en la parte

litoral a ambos extremos de la isla, por lo que los procesos de lixiviación de ellas pueden contribuir con aportes de Ni a los sedimentos circundantes ; la importancia del tipo de rocas que constituyen la isla Clarion se refleja en los sedimentos cercanos a la isla , ya que estos presentan una mayor concentración de  $TiO_2$  y se observa un gradiente de mayor concentración en los sedimentos inmediatos a la isla. Por lo que respecta a la concentración de Ni, unicamente la estación 40 , de las estaciones cercañas a la isla , muestra un ligero aumento de concentración de Ni.

#### 5-4.- ANALISIS DE NODULOS POLIMETALICOS .

En base a la información existente en la literatura, al planear la red de estaciones de muestreo del presente proyecto se esperaba encontrar nódulos polimetálicos hacia la region C del area estudiada, proxima a la zona de máximo interés comercial (Mc Kelvey *et al.*, 1979, Piper *et al.*, 1979). Resultó notable que desde la estación 19 ubicada en la region B se inició la recolecta de nódulos polimetálicos a pesar de su cercanía con la Dorsal del Pacífico Oriental.

Los nódulos se localizaron en una región más amplia a lo esperado, y de acuerdo a la carta de morfoestructuras del fondo oceánico mexicano (Lugo, 1985) se presentaron en las laderas y superficies de meseta, en las planicies abisales onduladas y con lomerios y en las planicies abisales con lomerios y montañas.

En la Tabla 5-4-1 , se presentan las principales características físicas de los nódulos colectados (tomado de Carranza-Edwards, 1986) .

Para los estudios químicos realizados se escogieron los nódulos en base a los siguientes criterios: 1) se seleccionaron nódulos superficiales con objeto de cubrir la mayor parte del área estudiada, y observar las variaciones composicionales en base a la distribución geográfica, 2) en algunas estaciones superficiales se seleccionaron varios nódulos para evaluar la variación en la composición en una misma localidad, 3) en los nódulos encontrados a profundidad se tomó en cuenta, la posible variación en composición en un transecto que fuera de la Región A a la Región

TABLA 5-4-1.- CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS NODULOS Y CONDICIONES DE RECOLECTA

| NOD | EST | NUCLEADOR | NIVEL | TAMAO | PESO    | DENSID. | TEXTURA   | FORHA          | OBSERVACIONES                        |
|-----|-----|-----------|-------|-------|---------|---------|-----------|----------------|--------------------------------------|
|     |     |           | ca    | g     | g       | g/cm    |           |                |                                      |
| 1   | 19  | CAJA      | 0     | -7.00 | 1705.00 | 1.79    | BOTOIDAL  | REGULAR        | ESFEROIDE                            |
| 2   | 19  | CAJA      | 0     | -6.50 | 678.60  | 1.69    | BOTROIDAL | REGULAR        | ESFEROIDE                            |
| 3   | 20  | GRAVEDAD  | 190   | -5.75 | 156.10  | 1.95    | RUGOSA    | REGULAR        | GEOTIDE 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 | COMPUESTO CON DOS NODULOS            |
| 6   | 22  | CAJA      | 0     | -4.75 | 27.20   | 1.94    | GRANULAR  | REGULAR        | GEOTIDE APLANADO CON MARCAS DE ORG.  |
| 7   | 22  | CAJA      | 0     | -4.75 | 22.30   | 1.90    | GRANULAR  | REGULAR        | GEOTIDE APLANADO                     |
| 8   | 22  | CAJA      | 0     | -4.25 | 12.10   | 1.81    | GRANULAR  | REGULAR        | OVIDE                                |
| 9   | 22  | GRAVEDAD  | 70    | -6.00 | 214.30  | 1.86    | LISA/RUG  | FRACTURADO     | ASPECTO MAMILAR EN LA PARTE SUP.     |
| 10  | 22  | GRAVEDAD  | 70    | -5.00 | 68.20   | 2.13    | LISA/RUG  | FRACTURADO     | PARTE DE UNA FORMA OVALOIDE          |
| 11  | 22  | GRAVEDAD  | 70    | RDTO  | 133.10  | 1.90    | LISA/RUG  | NO FORMA       | TOTALMENTE FRACTURADO                |
| 12  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3.50 | 2.80    | 2.33    | LISA      | INTERPENETRADO | OVALOIDE PLANO ESTRUCT. SEPTARIA     |
| 13  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3.00 | 1.20    | 2.00    | LISA      | REGULAR        | BAGUETA, ESTRUCT. SEPTARIA           |
| 14  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3.50 | 2.00    | 2.00    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE APLANADO, ESTRUCT. SEPTARIA |
| 15  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3    | 0.60    | 2.22    | LISA      | REGULAR        | OVIDE, ESTRUCT. SEPTARIA             |
| 16  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -4    | 3.40    | 2.06    | LISA      | REGULAR        | OVIDES UNIDOS, ROTO                  |
| 17  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3    | 1.60    | 2.28    | LISA      | INTERPENETRADO | COMPUESTO DE TRES NODULOS            |
| 18  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3    | 1.50    | 2.14    | LISA      | INTERPENETRADO | DOS NODULOS OVIDES, ESTRUCT. SEPTAR  |
| 19  | 27  | GRAVEDAD  | 0     | -3    | 1.60    | 2.00    | LISA      | IRREGULAR      | FRAGMENTO ANGULOSO                   |
| 20  | 27  | GRAVEDAD  | 78    | -3    | 0.95    | 1.90    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE APLANADO                    |
| 21  | 27  | GRAVEDAD  | 110   | -3    | 0.85    | 1.70    | LISA      | REGULAR        | UNIDO                                |
| 22  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 8.45    | 2.11    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 23  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 7.40    | 1.94    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE                             |
| 24  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 4.95    | 1.65    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 25  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 6.20    | 1.77    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 26  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 4.30    | 2.15    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 27  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 4.40    | 2.00    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 28  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 7.40    | 2.11    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (ROTO)                      |
| 29  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 7.20    | 1.46    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 30  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 7.00    | 2.00    | LISA      | REGULAR        | OVALOIDE (FRAGMENTO)                 |
| 31  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -5    | 12.80   | 1.96    | LISA      | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 32  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 11.70   | 1.95    | LISA      | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 33  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 11.80   | 1.96    | LISA      | REGULAR        | OVIDE (FRAGMENTO)                    |
| 34  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 4.90    | 1.96    | LISA      | REGULAR        | FUSOIDE PLANO                        |
| 35  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 3.60    | 1.80    | LISA      | REGULAR        | FUSOIDE                              |
| 36  | 28  | GRAVEDAD  | 10-45 | -4    | 3.40    | 1.88    | LISA      | REGULAR        | LENTICULAR                           |
| 37  | 31  | GRAVEDAD  | 0     | -3    | 0.89    | 0.88    | RUGOSA    | IRREGULAR      | FRAG. ANTIGUO, CON LODO CONSOLIDADO  |
| 38  | 32  | GRAVEDAD  | 0     | -5    | 19.10   | 1.91    | RUG/GRAN  | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 39  | 32  | GRAVEDAD  | 30    | -5    | 19.90   | 1.99    | GRANULAR  | INTERPENETRADO | SE APRECIAN DOS NODULOS OVIDES       |
| 40  | 33  | GRAVEDAD  | 100   | -5    | 75.35   | 1.88    | LISA/RUG  | REGULAR        | OVALOIDE                             |
| 41  | 33  | GRAVEDAD  | 100   | -5    | 59.50   | 1.98    | LISA/RUG  | REGULAR        | FRAGMENTO LENTICULAR ANTIGUO         |
| 42  | 33  | GRAVEDAD  | 100   | -5    | 57.10   | 1.90    | LISA/RUG  | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 43  | 33  | GRAVEDAD  | 100   | -5    | 48.80   | 1.95    | LISA/RUG  | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 44  | 33  | GRAVEDAD  | 100   | -5    | 30.30   | 2.02    | LISA/RUG  | REGULAR        | GEOTIDAL (FRAGMENTO)                 |
| 45  | 33  | GRAVEDAD  | 150   | -5    | 23.60   | 2.14    | LISA/GRAN | REGULAR        | LENTICULAR                           |
| 46  | 33  | GRAVEDAD  | 150   | -5    | 22.90   | 1.92    | GRANULAR  | REGULAR        | LENTICULAR (FRAGMENTO)               |
| 47  | 33  | GRAVEDAD  | 150   | -5    | 17.30   | 1.92    | GRANULAR  | REGULAR        | OVIDE (FRAGMENTO)                    |
| 48  | 33  | GRAVEDAD  | 175   | -5    | 65.90   | 1.88    | LISA/GRAN | REGULAR        | LENTICULAR                           |
| 49  | 36  | GRAVEDAD  | 0     | -5    | 18.70   | 1.87    | GRANULAR  | REGULAR        | OVIDE                                |
| 50  | 36  | GRAVEDAD  | 0     | -5    | 20.40   | 2.04    | GRANULAR  | REGULAR        | OVIDE (FRAGMENTO MUY DELEZNABLE)     |
| 51  | 36  | GRAVEDAD  | 0     | -4    | 12.50   | 2.08    | GRANULAR  | REGULAR        | OVIDE (FRAGMENTO MUY DELEZNABLE)     |
| 52  | 36  | GRAVEDAD  | 103   |       | 17.90   | 1.49    | GRANULAR  | FRAG. ANTIGUO  | MUY FRAGMENTADO                      |
| 53  | 37  | GRAVEDAD  | 90    | -6    | 331.30  | 2.07    | RUGOSA    | REGULAR        | GEOTIDE                              |

|    |             |     |       |        |      |           |            |  |
|----|-------------|-----|-------|--------|------|-----------|------------|--|
| 54 | 38 GRAVEDAD | SUP | -5.00 | 17.50  | 1.90 | GRAN/RUG  | REGULAR    | GEODE (FRAGMENTO DELEZNABLE)                                 |
| 55 | 38 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 26.50  | 2.03 | GRANULAR  | IRREGULAR  | HUELLAS DE ORG.<br>DELEZNABLE, CON HUELLAS<br>DE ORGANISMOS. |
| 56 | 38 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 20.80  | 2.08 | GRANULAR  | REGULAR    | FRAGMENTO (FRAGMENTO)  |
| 57 | 38 GRAVEDAD | SUP | -4.25 | 9.40   | 1.88 | GRANULAR  | IRREGULAR  | FRAGMENTO  |
| 58 | 38 GRAVEDAD | SUP | -4.25 | 7.80   | 1.95 | GRANULAR  | IRREGULAR  | FRAGMENTO  |
| 59 | 38 GRAVEDAD | SUP | -3.75 | 3.20   | 1.77 | GRANULAR  | REGULAR    | OVALOIDE APLANADO  |
| 60 | 39 GRAVEDAD | SUP | -5.00 | 65.00  | 1.85 | LISA/GRAN | IRREGULAR  | HUELLAS DE ORG.  |
| 61 | 39 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 23.77  | 1.97 | LISA/GRAN | IRREGULAR  | FRAGMENTO  |
| 62 | 39 GRAVEDAD | SUP | -4.50 | 17.70  | 2.08 | LISA/GRAN | REGULAR    | OVALOIDE   |
| 63 | 39 GRAVEDAD | SUP | -4.50 | 12.10  | 1.86 | GRANULAR  | IRREGULAR  | HUELLAS DE ORG.  |
| 64 | 39 GRAVEDAD | SUP | -4.25 | 15.00  | 1.87 | LISA      | REGULAR    | OVALOIDE   |
| 65 | 39 GRAVEDAD | SUP | -3.00 | 0.80   | 1.60 | LISA      | IRREGULAR  | FRAGMENTO  |
| 66 | 39 GRAVEDAD | SUP | -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  | FRAGMENTO  | FRAGMENTO IRREGULAR  |
| 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  | FRAGMENTO  | FRAGMENTO IRREGULAR  |
| 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 | SUP | -6.00 | 361.50 | 1.88 | BOTRIDIAL | REGULAR    | ESFEROIDE  |
| 74 | 45 GRAVEDAD | SUP | -5.50 | 129.10 | 1.81 | GRAN/RUG  | REGULAR    | OVALOIDE, DELEZNABLE, HUELLAS ORG.                           |
| 75 | 45 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 33.60  | 1.86 | GRANULAR  | UNIDOS     | ESFEROIDE Y FUSOIDE  |
| 76 | 45 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 21.20  | 1.92 | GRANULAR  | LENTICULAR | HUELLAS ORG. BIEN CONSERV                                    |
| 77 | 45 GRAVEDAD | SUP | -4.75 | 20.30  | 1.93 | GRANULAR  | UNIDOS     | 3 NODULOS (ESFEROIDE-OVALOIDE)                               |
| 78 | 45 GRAVEDAD | SUP | -4.50 | 21.40  | 1.94 | GRANULAR  | IRREGULAR  | DELEZNABLE, HUELLAS ORG.                                     |

C, 4) la posible variación en la composición química en un nivel dado ,5) el análisis de la variación composicional vertical, para lo que se estudiaron núcleos conteniendo nódulos a diferentes niveles.

En la Tabla 5-4-2 se enlistan los nódulos superficiales estudiados y su composición química. Se ha reportado que generalmente Mn, Fe, Ni, Cu, Co y Ti están fijados en la fracción de óxido de los nódulos;  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no muestran una correlación significativa con estos elementos. Ambos compuestos están unidos a los aluminosilicatos incorporados a los nódulos como mezclas de arcillas. En el caso del  $\text{SiO}_2$  parte es aportado por los organismos silíceos.

Si se analiza el contenido de Mn de los nódulos, es posible clasificarlos en 3 grupos : los nódulos con mayor concentración de Mn, comprendida en el intervalo 21.9 % a 33.35 % ( 6 nódulos). Los nódulos con un contenido intermedio de Mn , que incluye aquellos nódulos comprendidos en el intervalo de 20.15 % a 20.9 % (5 nódulos), y por último los nódulos con el contenido más bajo de Mn que van de 6.42 % a 19.10 % (6 nódulos) .

Se observa que los nódulos superficiales con el contenido más alto de Mn son en general los ubicados en la Depresión Mimar (estaciones : 36, 37, 38, 39), o en las inmediaciones de esta (estaciones : 32, 40) . Los valores más bajos corresponden a las estaciones 21, 31 y 27 , estas dos últimas corresponden a la parte norte de la Región C.

Por lo que respecta al contenido de Fe en los nódulos, se pueden

TABLA 5-42. COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS SUPERFICIALES.

Concentración expresada en % y ppm(mg/Kg)

| Nód | Est. No | Peso g | Mn %  | Fe % | Cu % | Ni % | Co % | Zn ppm | Ti % | Al % | Pb ppm | Si % | Ba % |
|-----|---------|--------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|--------|------|------|
| 2   | 19      | 678.6  | 23.6  | 4.36 | .24  | .56  | .03  | 1342   | .65  | .40  | 247    | .51  | .19  |
| 6   | 22      | 27.2   | 20.4  | 6.8  | .70  | .87  | .08  | 1254   | .84  | .67  | 386    | .73  | .21  |
| 8   | 22      | 12.1   | 20.88 | 5.08 | .53  | .42  | .07  | 1550   | .79  | .78  | 330    | .64  | .23  |
| 12  | 27      | 2.8    | 18.13 | 10.1 | .46  | .62  | .23  | 833    | 1.23 | .67  | 967    | .21  | .38  |
| 14  | 27      | 2.0    | 15.94 | 13.4 | .42  | .64  | .21  | 770    | 1.28 | .71  | 1040   | .31  | .20  |
| 16  | 27      | 3.4    | 19.1  | 10.1 | .57  | .77  | .21  | 983    | 1.2  | .81  | 941    | .27  | .36  |
| 73  | 40      | 361.5  | 23.3  | 4.98 | .74  | .81  | .05  | 1500   | .71  | .37  | 379    | .44  | .20  |
| 74  | 45      | 129.1  | 20.8  | 10.8 | .35  | .65  | .07  | 1300   | .81  | .38  | 462    | .59  | .14  |
| 78  | 45      | 21.4   | 16.16 | 11.4 | .26  | .47  | .06  | 950    | .83  | .45  | 453    | 1.0  | .18  |
| 50  | 36      | 20.4   | 33.35 | 5.0  | .73  | .74  | .11  | 1170   | .80  | .89  | 496    | .25  | .36  |
| 54  | 38      | 47.5   | 26.9  | 5.26 | .80  | .80  | .12  | 1474   | .76  | 1.5  | 483    | .23  | .26  |
| 5   | 21      | 8.3    | 16.1  | 4.54 | .33  | .40  | .06  | 919    | .80  | 1.3  | 348    | .52  | .27  |
| 37  | 31      | .88    | 6.4   | 5.4  | .16  | .13  | .04  | 181    | .87  | .33  | 347    | 1.6  | .45  |
| 38  | 32      | 19.1   | 30.4  | 5.8  | .65  | .81  | .08  | 1402   | .87  | .58  | 409    | .38  | .23  |
| 60  | 39      | 65.0   | 21.9  | 5.98 | .60  | .82  | .09  | 900    | .94  | .47  | 528    | .40  | .17  |
| 61  | 39      | 23.7   | 23.4  | 5.2  | .53  | .71  | .11  | 900    | .86  | .45  | 521    | .10  | .14  |
| 55  | 38      | 26.5   | 20.2  | 5.2  | .73  | .77  | .10  | 1254   | .74  | .84  | 471    | .16  | .40  |

agrupar los de alto contenido en el intervalo 10 - 14 % (5 nódulos), los de contenido intermedio entre 5.5 - 7.0 % (3 nódulos), y los de contenido bajo de Fe en el intervalo 4.3 - 5.5 % (9 nódulos). Los nódulos superficiales con el contenido más alto de Fe corresponden a las estaciones 27 y 45.

La concentración de Cu varía entre 0.16 - 0.80 %, los valores más altos corresponden a las estaciones 32, 36, 38, 39 y 40 que son los mismos con valores altos de Mn.

La concentración de Ni varía entre 0.13 - 0.87 % , los valores altos corresponden a las estaciones 32, 36, 38, 39 y 40, en estas estaciones se detectaron los nódulos con los valores más altos de Mn y Cu.

Las concentraciones de Co están comprendidas en el intervalo 0.03 - 0.23 %, los valores más altos corresponden a nódulos colectados en la estación 27 que fué la que mostró los valores más altos de Fe.

En base a la distribución de nódulos con valores altos de Mn, Cu y Ni y nódulos con valores altos de Fe y Co, es aparente que los procesos que dan lugar a estos dos tipos de nódulos son diferentes y predominantes en una determinada área.

En la figura 5-4-1 se representan las estaciones en las que se colectaron nódulos y los niveles de profundidad en los que se colectaron.

En la Tabla 5-4-3 se encuentran reportadas las concentraciones de los metales estudiados en los nódulos enterrados.

Con objeto de determinar la frecuencia con la que se observan las



**TABLA 5-4-3.- COMPOSICION QUIMICA DE NODULOS ENTERRADOS**

Concentracion expresada en % .

| Nod | EST | PROF<br>cm. | PESO<br>g | Mn    | Fe    | Cu   | Ni   | Co   |
|-----|-----|-------------|-----------|-------|-------|------|------|------|
| 3   | 20  | 190         | 156.10    | 21.50 | 10.16 | 0.33 | 0.56 | 0.09 |
| 4   | 21  | 140         | 121.00    | 22.62 | 7.05  | 0.45 | 0.72 | 0.09 |
| 9   | 22  | 70          | 214.3     | 16.61 | 9.46  | 0.48 | 0.59 | 0.09 |
| 10  | 22  | 70          | 68.2      | 20.48 | 7.62  | 0.59 | 0.70 | 0.01 |
| 11  | 22  | 70          | 133.1     | 21.49 | 8.03  | 0.45 | 0.57 | 0.08 |
| 20  | 27  | 78          | 0.95      | 19.59 | 9.72  | 0.59 | 0.60 | 0.21 |
| 21  | 27  | 110         | 0.85      | 17.90 | 9.65  | 0.62 | 0.64 | 0.24 |
| 22  | 28  | 10-45       | 8.45      | 18.97 | 7.0   | 0.69 | 0.66 | 0.19 |
| 26  | 28  | 10-45       | 4.3       | 27.56 | 8.03  | 0.72 | 0.70 | 0.14 |
| 35  | 28  | 10-45       | 3.6       | 21.44 | 8.97  | 0.70 | 0.72 | 0.18 |
| 39  | 32  | 30          | 19.9      | 32.90 | 5.44  | 0.79 | 0.87 | 0.11 |
| 41  | 33  | 100         | 59.5      | 31.27 | 6.57  | 0.80 | 0.78 | 0.11 |
| 42  | 33  | 100         | 57.1      | 32.51 | 5.39  | 0.83 | 0.85 | 0.09 |
| 43  | 33  | 100         | 48.8      | 29.53 | 5.23  | 0.57 | 0.74 | 0.12 |
| 44  | 33  | 100         | 30.3      | 29.42 | 5.03  | 0.86 | 0.81 | 0.10 |
| 46  | 33  | 150         | 22.90     | 28.91 | 5.75  | 0.75 | 0.77 | 0.11 |
| 48  | 33  | 175         | 65.9      | 28.91 | 5.34  | 0.86 | 0.82 | 0.11 |
| 52  | 36  | 103         | 17.90     | 12.77 | 4.59  | 0.40 | 0.40 | 0.05 |
| 53  | 37  | 90          | 331.3     | 24.53 | 4.52  | 0.74 | 0.54 | 0.09 |
| 67  | 39  | 20          | 20.2      | 25.48 | 6.29  | 0.82 | 0.85 | 0.11 |
| 72  | 39  | 20          | 5.7       | 24.25 | 6.90  | 0.76 | 0.82 | 0.11 |

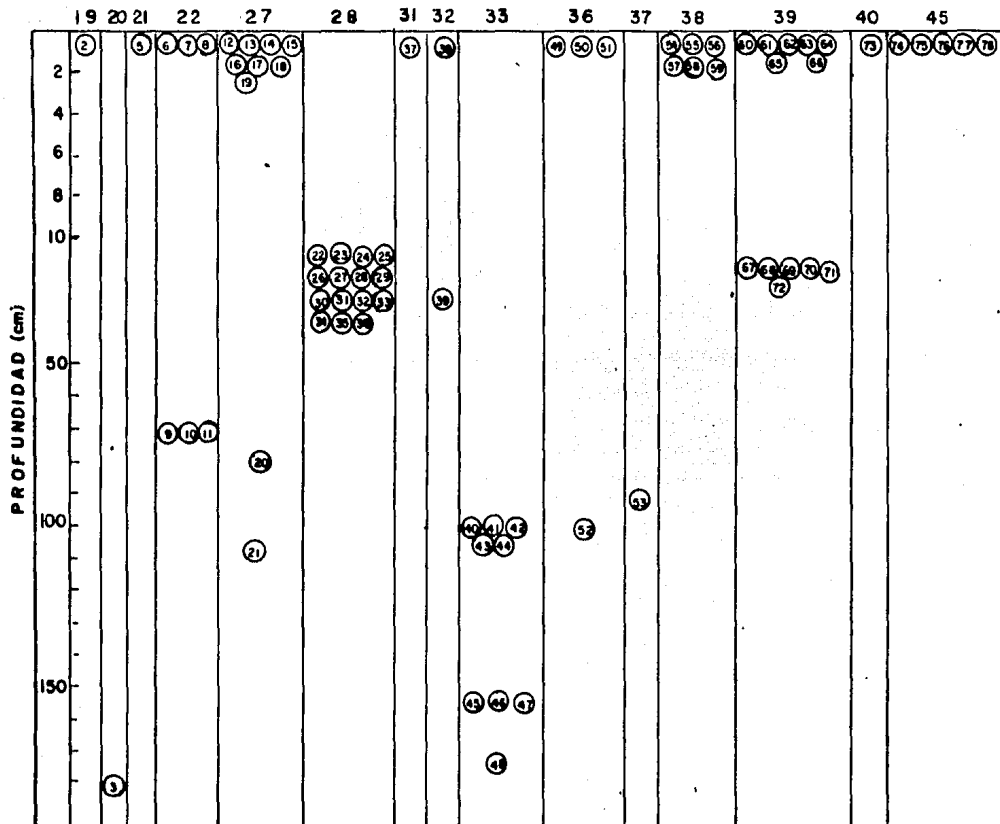


FIGURA 5-4-1 -- ESTACIONES EN LAS QUE SE COLECTARON NODULOS Y NIVEL EN EL QUE SE COLECTARON .

diferentes concentraciones de los metales estudiados en los nódulos , en la Figura 5-4-2 se representa la frecuencia de concentración de los metales en los nódulos.

La concentración de Mn (Fig.5-4-2.) presenta una distribución normal, con el mayor número de nódulos comprendidos en el intervalo 20 - 25 % de Mn, los nódulos con la mayor concentración de Mn corresponden a la Depresión Mimar o a las inmediaciones de está.

En el Fe predominan los nódulos de concentración más baja (Fig. 5-4-2 ) de 4 a 6 %; Los nódulos con el contenido más alto de Fe corresponden a las estaciones 20, 27 y 45.

Las concentraciones más altas de Cu son las predominantes (Fig. 5-4-2 ) con valores de 0.7 a 0.9 %, estos nódulos corresponden todos a estaciones ubicadas en la posición meridional de la región C.

En el Co la frecuencia de distribución es casi normal con una mayor abundancia de nódulos en el intervalo 0.05 a 0.10 %. Todos los nódulos con concentración más alta de Co se encuentran en la estación 27, que corresponde a la estación con nódulos más ricos en Fe.

Para evaluar la riqueza de los metales en los nódulos en función de la posición geográfica se hizo un análisis tridimensional (Fig. 5-4-3), y en este se aprecia que las estaciones ubicadas arriba de  $115^{\circ}$  de longitud y por debajo de los  $18^{\circ}$  de latitud son los nódulos más ricos en Mn, en tanto que los nódulos más ricos en Fe corresponden a estaciones ubicadas entre  $114 - 116^{\circ}$  de longitud y

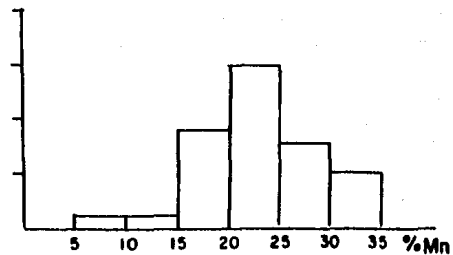
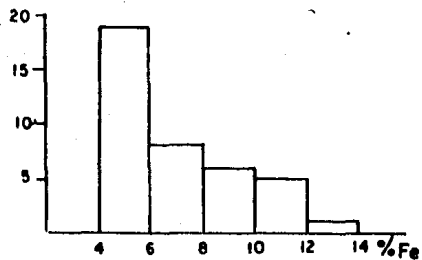
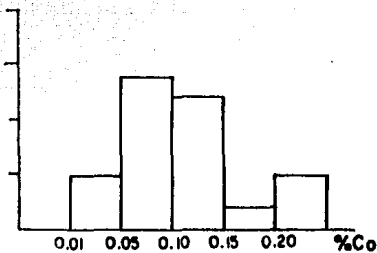
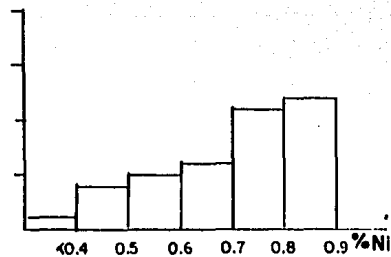
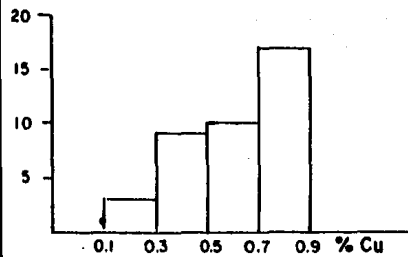


FIGURA 5-4-2. - DISTRIBUCION DE FRECUENCIA EN LA CONCENTRACION DE Mn, Fe, Cu, Ni Y Co EN LOS NODULOS .

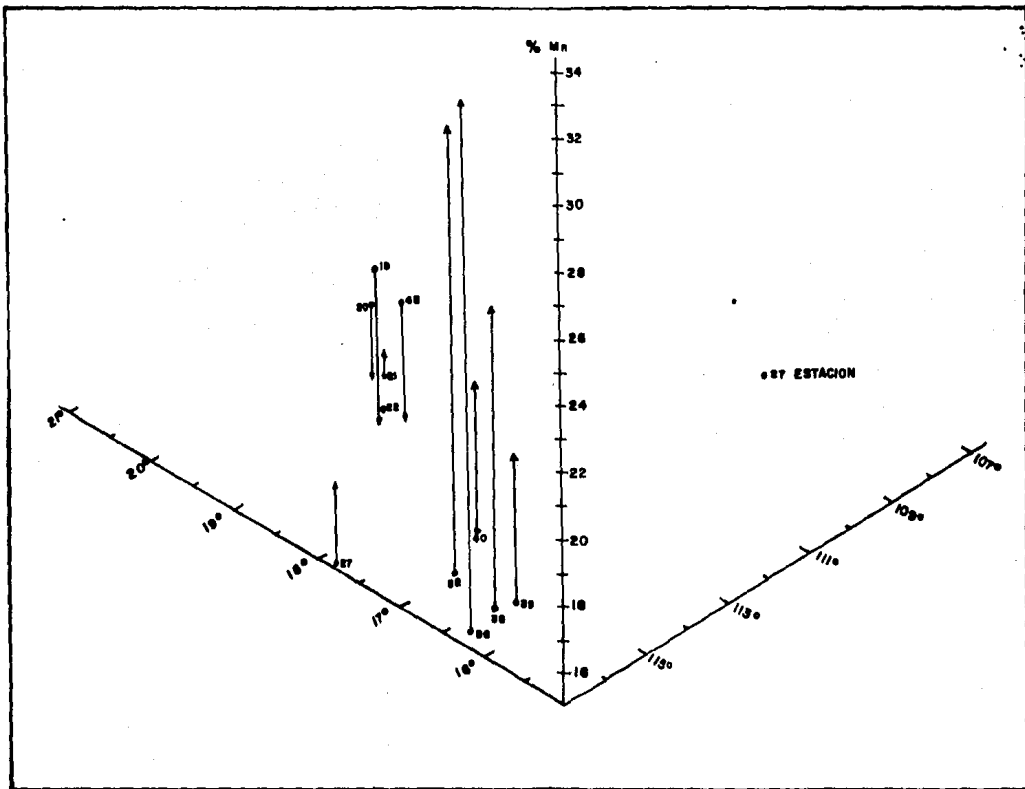


FIGURA 5-4-3A. - CONCENTRACION DE Mn EN LOS NODULOS EN BASE A SU POSICION GEOGRAFICA .

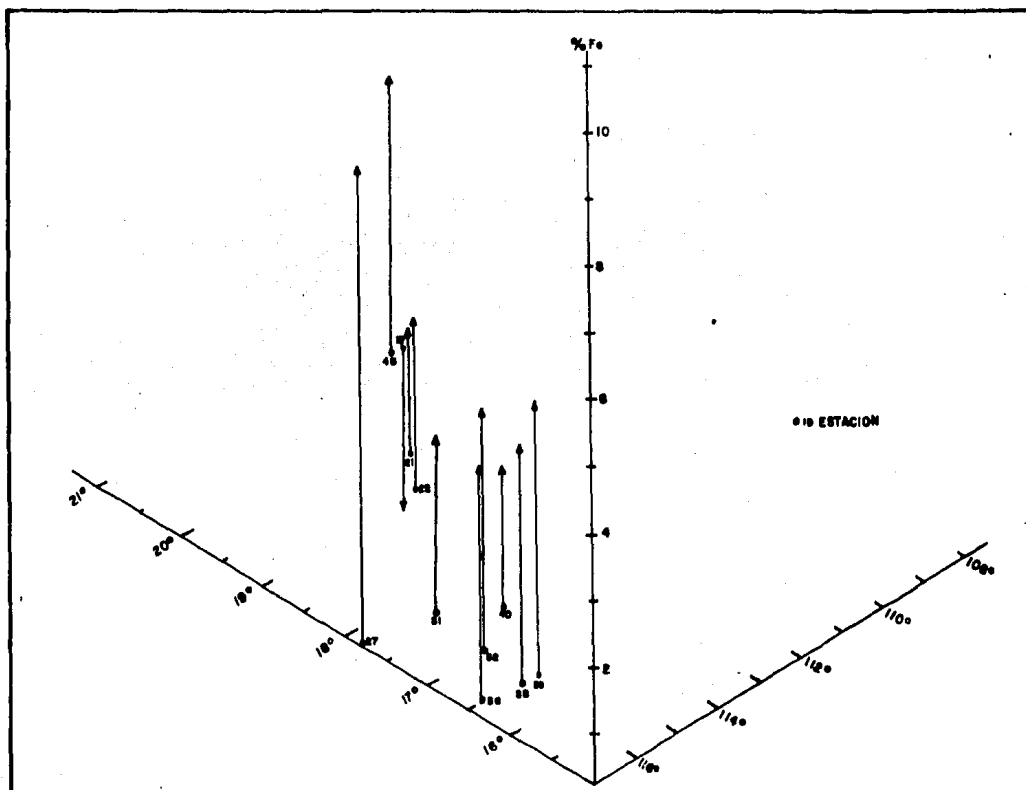


FIGURA 5-4-9B.- CONCENTRACION DE Fe EN LOS NODULOS EN BASE A SU POSICION GEOGRAFICA .

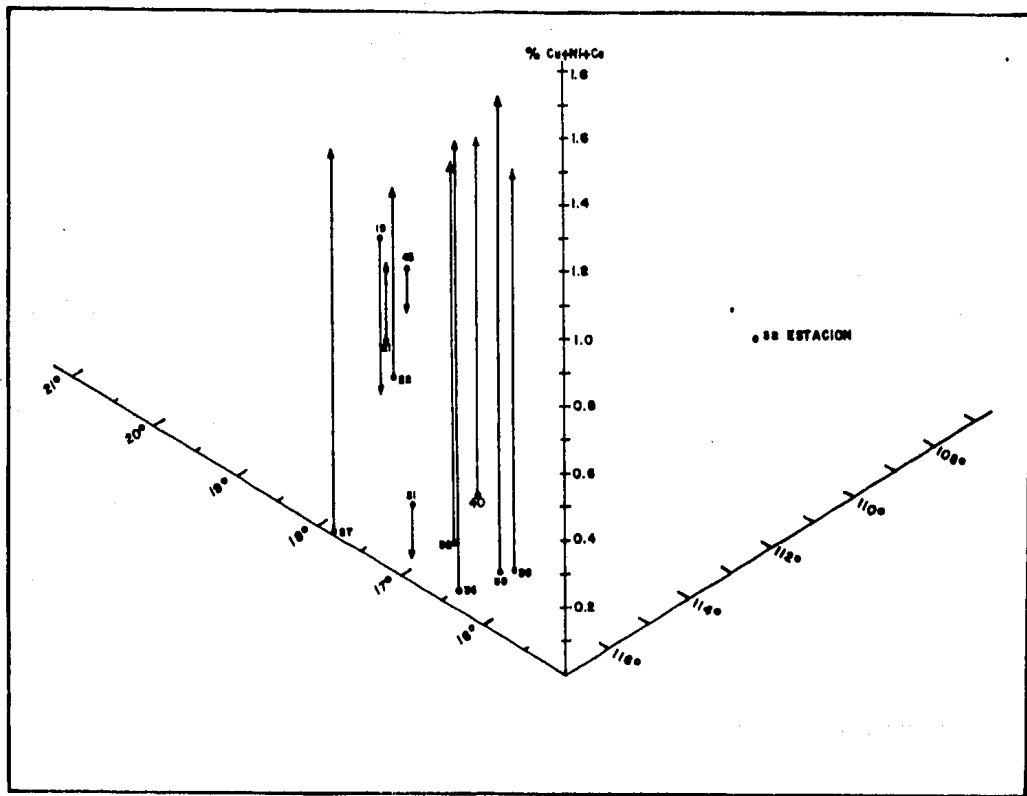


FIGURA 5-4-3C. - CONCENTRACION DE Cu + Ni + Co EN LOS NODULOS EN BASE A SU POSICION GEOGRAFICA.

a latitudes arriba de  $17^{\circ} 30'$  .

Por lo que respecta a la variación en la composición química en nódulos colectados en una misma localidad, se observa una gran similitud en la composición de estos. En la figura 5-4-4 se presenta la comparación de las concentraciones de nódulos colectados en una misma localidad y es posible apreciar una concentración muy similar de Fe, Mn, Ni, Cu, Co entre nódulos de una misma estación. Con objeto de analizar la variación en la concentración de metales en los nódulos al ir de la Región A a la Región C, se hizo el análisis gráfico de dos transectos A-A' y B-B' . En el transecto B-B' se observa un aumento en la concentración de Mn de la región de la Dorsal hacia la Región C, se alcanza un máximo en la estación 22, y disminuye en las siguientes estaciones del transecto , que son las estaciones 27 y 28. El transecto A-A' que corresponde a estaciones en latitudes más bajas en la Región C, muestra un incremento continuo en la concentración de Mn partiendo de la Región A hacia la C. Aparentemente no existe una relación entre la concentración de Mn y Fe con la profundidad como se aprecia en la figura 5-4-5 . La variación composicional segun su nivel muestra un comportamiento diferente de una estación a otra. El nódulo de mayor nivel de sepultamiento estudiado (190 cm) correspondió a la estación 20, su composición es muy similar con la de los nódulos enterrados a otros niveles localizados en las estaciones inmediatas (estaciones 21 y 22) todos ubicados en la Región B. En general la composición de los nódulos estudiados a lo largo de un nucleo muestran



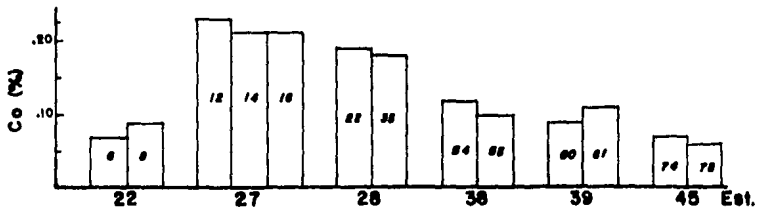
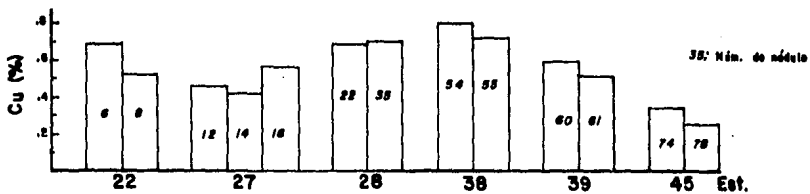
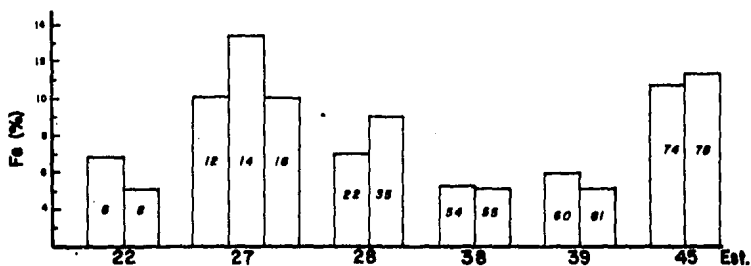
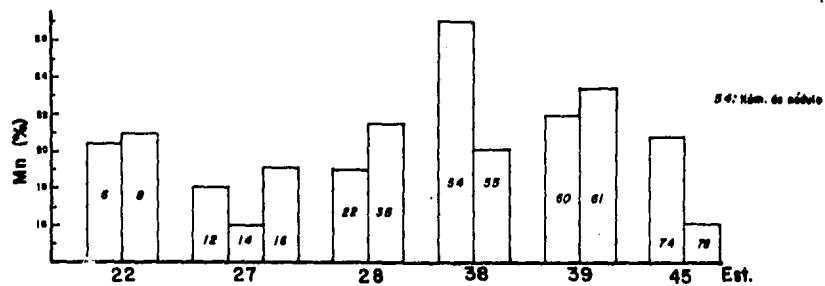


FIGURA 5-4-4.- VARIACION EN LA COMPOSICION DE NODULOS EN UNA MISMA LOCALIDAD .

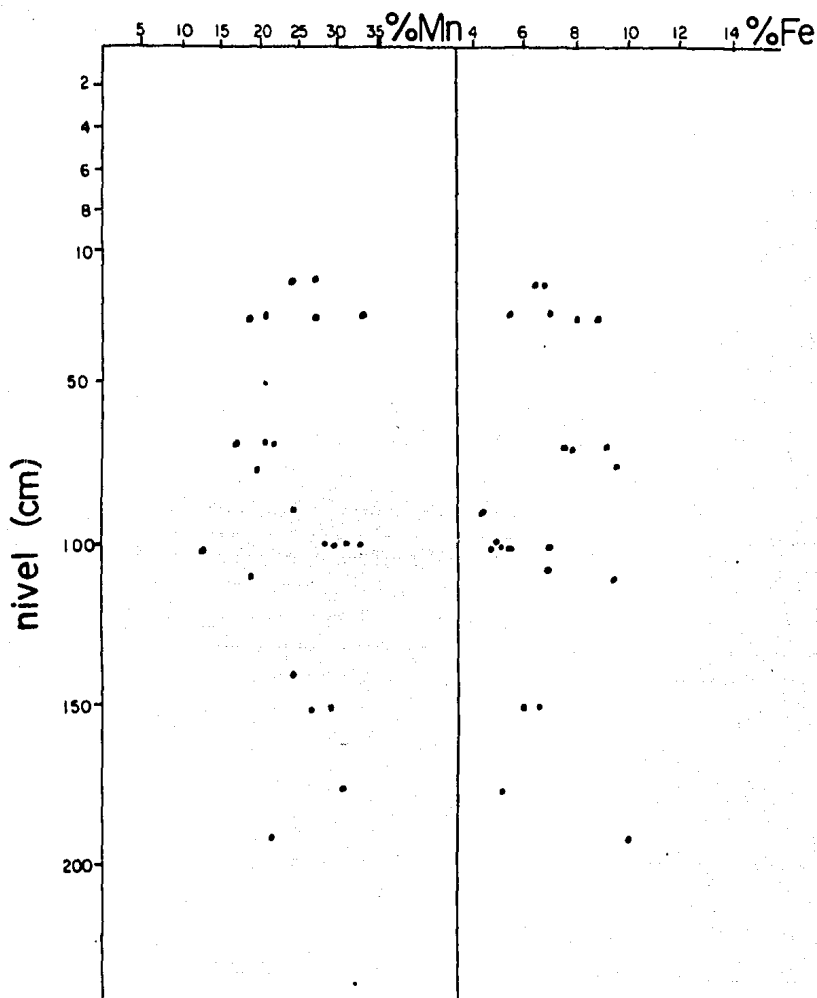


FIGURA 5-4-5.- CONCENTRACION DE MANGANESO Y HIERRO EN NODULOS EN BASE A EL NIVEL EN LA COLUMNA DE SEDIMENTOS .

concentraciones similares entre si y la variación observada es sobre todo en sentido horizontal, esto es , en base a su posición geográfica. Se ha reportado (Halback , 1978) que la composición de los nódulos polimetálicos puede variar en un área confinada pequeña, en particular en regiones con montañas submarinas hay nódulos con un alto contenido de Fe y concentraciones bajas de Mn, Cu y Ni , en tanto que en los nódulos procedentes de zonas de depresión topográfica tienen altas concentraciones de Mn, Cu y Ni y baja concentración de Fe. En el presente trabajo se observó que los nódulos procedentes de la Depresión Mimar son los que tienen las concentraciones más altas de Mn, Cu y Ni . Las concentraciones más altas de Fe corresponden a las estaciones 20, 27 y 45 , las cuales tienen montañas de más de 1000 m de altura relativamente cerca (Lugo, 1985), otras estaciones ubicadas cerca de montañas (25, 35, 42, 43) no mostraron la presencia de nódulos.

De acuerdo a Carranza *et al.*, (1987) los nódulos colectados en el área del presente estudio presentan los siguientes tipos de texturas: lisa, granular (textura muy deslenable) , rugosa (rasposa y con bordes) , botroidal (pequeñas protuberancias) y las combinaciones de las texturas anteriores. Las texturas más abundantes son la lisa y la granular ; las concentraciones más bajas de Mn y más altas de Fe se presentan en los nódulos de textura lisa ; en tanto que las concentraciones más altas de Mn se presentan en la textura lisa/rugosa. (Tabla 5-4-4).

Los nódulos más grandes (mayores que 64 mm) presentan una textura botroidal con concentraciones intermedias de Mn.

**TAB.5-4-4.- CLASIFICACION DE NODULOS EN BASE A SU TEXTURA  
(Carranza-Edwards, 1987).**

**TEXTURA LISA**

| No NOD. | EST | NIVEL | PESO | DENSIDAD | TAMANO $\phi$ | Mn %  | Fe %  |
|---------|-----|-------|------|----------|---------------|-------|-------|
| 12      | 27  | Sup   | 2.8  | 2.33     | -3.50         | 18.13 | 10.13 |
| 13      | 27  | Sup   | 1.2  | 2.00     | -3.00         | -     | -     |
| 14      | 27  | Sup   | 2.0  | 2.00     | -3.00         | 15.94 | 13.36 |
| 15      | 27  | Sup   | 0.6  | 2.22     | -2.50         | -     | -     |
| 16      | 27  | Sup   | 3.4  | 2.06     | -4.00         | 19.08 | 10.10 |
| 17      | 27  | Sup   | 1.6  | 2.28     | -3.25         | -     | -     |
| 18      | 27  | Sup   | 1.5  | 2.14     | -3.00         | -     | -     |
| 19      | 27  | Sup   | 1.6  | 2.00     | -3.25         | -     | -     |
| 20      | 27  | 78    | 0.95 | 1.90     | -3.00         | 19.59 | 9.72  |
| 21      | 27  | 110   | 0.85 | 1.70     | -2.75         | 17.90 | 9.65  |
| 22      | 28  | 10-45 | 8.45 | 2.11     | -4.00         | 18.97 | 7.00  |
| 23      | 28  | 10-45 | 7.4  | 1.94     | -4.00         | -     | -     |
| 24      | 28  | 10-45 | 4.95 | 1.65     | -4.00         | -     | -     |
| 25      | 28  | 10-45 | 6.2  | 1.77     | -4.00         | -     | -     |
| 26      | 28  | 10-45 | 4.3  | 2.15     | -4.00         | 27.56 | 8.03  |
| 27      | 28  | 10-45 | 4.4  | 2.00     | -4.00         | -     | -     |
| 28      | 28  | 10-45 | 7.4  | 2.11     | -4.00         | -     | -     |
| 29      | 28  | 10-45 | 7.3  | 1.46     | -4.00         | -     | -     |
| 30      | 28  | 10-45 | 7.0  | 2.00     | -4.00         | -     | -     |
| 31      | 28  | 10-45 | 12.9 | 1.96     | -4.50         | -     | -     |
| 32      | 28  | 10-45 | 11.7 | 1.95     | -4.25         | -     | -     |
| 33      | 28  | 10-45 | 11.8 | 1.96     | -4.25         | -     | -     |
| 34      | 28  | 10-45 | 4.9  | 1.96     | -3.75         | -     | -     |
| 35      | 28  | 10-45 | 3.6  | 1.80     | -3.75         | 21.44 | 8.97  |
| 36      | 28  | 10-45 | 3.4  | 1.88     | -3.75         | -     | -     |
| 64      | 39  | Sup   | 15.0 | 1.87     | -4.25         | -     | -     |
| 65      | 39  | Sup   | 0.8  | 1.6      | -3.00         | -     | -     |

Intervalo de valores: 0.8a15.0 1.46a2.33 -2.5a-4.5 15.9a27 7a13

\*\*\*\*\*

**TEXTURA BOTROIDAL**

| No NOD | EST | NIVEL | PESO  | DENSIDAD | TAMANO $\phi$ | Mn % | Fe % |
|--------|-----|-------|-------|----------|---------------|------|------|
| 1      | 19  | Sup   | 1705  | 1.79     | -7.00         | -    | -    |
| 2      | 19  | Sup   | 678.6 | 1.69     | -6.50         | 23.6 | 4.36 |
| 73     | 40  | Sup   | 361.5 | 1.88     | -6.00         | 23.3 | 4.98 |

Intervalo de Valores: 361a1705 1.69a1.88 -6.6a-7.0 X=23.5 4.67

**TEXTURA GRANULAR**

| No NOD | EST | NIVEL | PESO | DENSIDAD | TAMAÑO $\phi$ | Mn %  | Fe %  |
|--------|-----|-------|------|----------|---------------|-------|-------|
| 6      | 22  | Sup   | 27.2 | 1.94     | -4.75         | 20.43 | 6.8   |
| 7      | 22  | Sup   | 22.8 | 1.90     | -4.75         | -     | -     |
| 8      | 22  | Sup   | 12.1 | 1.81     | -4.25         | 20.88 | 5.08  |
| 39     | 32  | 30    | 19.9 | 1.99     | -4.50         | 32.9  | 5.44  |
| 46     | 33  | 150   | 22.9 | 1.90     | -4.75         | -     | -     |
| 47     | 33  | 150   | 17.3 | 1.92     | -4.50         | -     | -     |
| 49     | 36  | Sup   | 18.7 | 1.87     | -4.50         | -     | -     |
| 50     | 36  | Sup   | 20.4 | 2.04     | -4.75         | -     | -     |
| 51     | 36  | Sup   | 12.5 | 2.08     | -4.25         | -     | -     |
| 52     | 36  | 103   | 17.9 | 1.49     | -             | 12.77 | 4.59  |
| 55     | 38  | Sup   | 26.5 | 2.03     | -4.75         | 20.15 | 5.21  |
| 56     | 38  | Sup   | 20.8 | 2.08     | -4.75         | -     | -     |
| 57     | 38  | Sup   | 9.4  | 1.88     | -4.25         | -     | -     |
| 58     | 38  | Sup   | 7.8  | 1.95     | -4.25         | -     | -     |
| 59     | 38  | Sup   | 3.2  | 1.77     | -3.75         | -     | -     |
| 63     | 39  | Sup   | 12.1 | 1.86     | -4.50         | -     | -     |
| 66     | 39  | Sup   | 7.2  | 1.80     | -4.25         | -     | -     |
| 67     | 39  | 20    | 20.2 | 2.02     | -4.75         | 25.48 | 6.29  |
| 68     | 39  | 20    | 16.9 | 1.87     | -4.50         | -     | -     |
| 69     | 39  | 20    | 12.4 | 1.55     | -4.50         | -     | -     |
| 70     | 39  | 20    | 12.3 | 1.89     | -4.25         | -     | -     |
| 71     | 39  | 20    | 6.2  | 1.77     | -4.00         | -     | -     |
| 72     | 39  | 20    | 5.7  | 1.90     | -4.00         | 24.25 | 6.90  |
| 75     | 45  | Sup   | 33.6 | 1.86     | -4.75         | -     | -     |
| 76     | 45  | Sup   | 21.2 | 1.92     | -4.75         | -     | -     |
| 77     | 45  | Sup   | 20.3 | 1.93     | -4.75         | -     | -     |
| 78     | 45  | Sup   | 21.4 | 1.94     | -4.50         | 16.16 | 11.39 |

Intervalo de valores: 5.7a33.6 1.5a2.1 -4.0a-4.8 12.8a32.9 4.6a11

\*\*\*\*\*

**TEXTURA RUGOSA**

| No NOD | EST | NIVEL | PESO  | DENSIDAD | TAMAÑO $\phi$ | Mn %  | Fe %  |
|--------|-----|-------|-------|----------|---------------|-------|-------|
| 3      | 20  | 190   | 156.1 | 1.95     | -5.75         | 21.5  | 10.16 |
| 4      | 21  | 140   | 121   | 2.01     | -5.50         | 22.62 | 7.05  |
| 5      | 21  | Sup   | 8.3   | 1.18     | -4.5          | 16.05 | 4.54  |
| 37     | 31  | Sup   | 0.88  | 0.88     | -3.25         | 6.43  | 5.42  |
| 53     | 37  | 90    | 331.3 | 2.07     | -6.00         | 24.53 | 4.52  |

Intervalo de valores: .88a331 .88a2.1 -3.2a-6.0 6.4a24.5 4.5a10

**TEXTURA LISA/RUGOSA**

---

| No NOD | EST | NIVEL | PESO  | DENSIDAD | TAMAÑO $\Phi$ | Mn %  | Fe % |
|--------|-----|-------|-------|----------|---------------|-------|------|
| 9      | 22  | 70    | 214.3 | 1.86     | -6.00         | 16.61 | 9.46 |
| 10     | 22  | 70    | 68.2  | 2.13     | -5.00         | 20.48 | 7.62 |
| 11     | 22  | 70    | 133.1 | 1.90     | -             | 21.49 | 8.03 |
| 40     | 33  | 100   | 75.35 | 1.88     | -5.00         | -     | -    |
| 41     | 33  | 100   | 59.5  | 1.98     | -5.25         | 31.27 | 6.57 |
| 42     | 33  | 100   | 57.1  | 1.90     | -5.00         | 32.51 | 5.39 |
| 43     | 33  | 100   | 48.8  | 1.95     | -5.00         | 29.53 | 5.23 |
| 44     | 33  | 100   | 30.3  | 2.02     | -5.00         | 29.42 | 5.03 |

Intervalo de valores: 30a214 1.9a2.1 -5.0a-6.0 16.6a32.5 5a9.5

\*\*\*\*\*

**TEXTURA RUGOSA/GRANULAR**

| No NOD | EST | NIVEL | PESO  | DENSIDAD | TAMAÑO $\Phi$ | Mn %  | Fe %  |
|--------|-----|-------|-------|----------|---------------|-------|-------|
| 38     | 32  | Sup   | 19.1  | 1.91     | -4.50         | 30.43 | 5.80  |
| 54     | 38  | Sup   | 47.5  | 1.90     | -5.00         | 26.89 | 5.26  |
| 74     | 45  | Sup   | 129.1 | 1.81     | -5.50         | 20.82 | 10.77 |

Intervalo de valores: 19a129 1.8a1.9 -4.5a-5.5 20a30 5a10

\*\*\*\*\*

**TEXTURA LISA/GRANULAR**

---

| No NOD | EST | NIVEL | PESO | DENSIDAD | TAMAÑO $\Phi$ | Mn %  | Fe % |
|--------|-----|-------|------|----------|---------------|-------|------|
| 45     | 33  | 150   | 23.6 | 2.14     | -4.75         | -     | -    |
| 48     | 33  | 175   | 65.9 | 1.88     | -5.25         | 28.91 | 5.34 |
| 60     | 39  | Sup   | 65.0 | 1.85     | -5.0          | 21.89 | 5.98 |
| 61     | 39  | Sup   | 23.7 | 1.97     | -4.75         | 23.41 | 5.18 |
| 62     | 39  | Sup   | 17.7 | 2.08     | -4.50         | -     | -    |

Intervalo de valores: 18a66 1.9a2.1 -4.5a-5.25 22a29 5.2a6

Se analizó la posible relación entre el peso del nódulo y el nivel al que se colectó el nódulo dentro de la columna de sedimentos sin que se observara ninguna relación.

Debido al limitado acceso a análisis por difracción de rayos X, solo se determinó la mineralogía de dos nódulos correspondientes a la estación 22, uno en superficie, y otro nódulo ubicado a 70 cm de profundidad .

El nódulo superficial (nódulo 6) está constituido por los siguientes minerales : todorokita, birnesita, feldespato, cuarzo, clorita (silicoaluminato de Mg, Fe, Ni, Cr), lepidocrosita (FeOOH) y hematita ( $\alpha$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ; la presencia de oxidos de Fe indica un fuerte ambiente oxidante, lo que sugiere la presencia de procesos de diagénesis óxica, la cual da lugar a todorokita rica en Cu y Ni (Dymond *et al.*, (1984) . El nódulo enterrado (nódulo 11) está constituido por : todorokita, birnesita, montmorillonita, cuarzo y feldespato, la ausencia de oxidos de Fe indica aparentemente condiciones subóxicas . El contenido de Ni y Cu del nódulo 6 es del doble del contenido del nódulo 11 lo que sugiere que los procesos de diagénesis óxica son un mecanismo importante para la fijación de estos elementos.

Se ha mencionado (Capítulo 2) que existen diferentes criterios para clasificar a los nódulos , en el presente trabajo se hace un análisis en base a la composición química , basado en la clasificación propuesta por Akira Usui (1979). Los nódulos se clasifican en tres tipos:

Nódulos tipo A.- que son aquellos en que la relación Mn/Fe es

mayor o igual a 4 ; generalmente se encuentran en la capa superficial de los sedimentos y tienen forma esférica con una superficie aspera y porosa, su contenido de Mn está en el intervalo de 23 a 32 %, el de Ni + Cu entre 2 y 3.5 %, el de Fe es menor que 7.0 % y el de Co está entre 0.1 y 0.2 % .

Nódulos tipo B.- la relación entre Mn/Fe es menor a 2.5, generalmente tienen altas concentraciones de  $TiO_2$  (mayores a 1.0 %) y su contenido de Co está en el intervalo 0.25 a 0.4 % , la concentración de Mn está en el intervalo de 16 a 24 % .

Nódulos tipo AB.- la relación Mn/Fe está entre 2.5 y 4.0 , la concentración de Ni + Cu está en el intervalo 1.5 a 2.8 % , la concentración de Co está entre 0.15 y 0.25 % y la de Fe entre 4 y 8 %, la concentración de Mn está en el intervalo 22 a 30 % .

Aplicando la relación Mn/Fe se clasificaron los nódulos del presente estudio (Tabla 5-4-5), es posible observar que los nódulos Tipo A aquí estudiados, con excepción de uno de ellos tienen la concentración de Mn arriba de 23 %, el Fe siempre es menor de 7 %, sin embargo la concentración de Ni + Cu está en el intervalo de 0.8 a 1.68 % por debajo de los valores establecidos por Akira Usui (1979) , y el Co generalmente tiene una concentración alrededor de 0.1 % .

Los nódulos Tipo B del presente estudio, todos tienen concentraciones de  $TiO_2$  arriba del 1.0 % , el Fe es mayor al 9 % , el Mn está generalmente en el intervalo de 16 a 24 % , y la única desviación de las normas de clasificación es su contenido de Co, el cual está en el interval 0.04 a 0.28 % , cuando debía estar



TABLA 5-4-5.-CLASIFICACION DE NODULOS EN BASE A SU COMPOSICION

QUIMICA

| EST | No NOD | Mn %  | Fe %  | Ni+Cu % | Co % | TiO <sub>2</sub> % | Mn/Fe | TIPO |
|-----|--------|-------|-------|---------|------|--------------------|-------|------|
| 19  | 2      | 23.6  | 4.36  | 0.80    | 0.03 | 1.08               | 1.41  | A    |
| 22  | 6      | 20.43 | 6.8   | 1.57    | 0.08 | 1.40               | 3.0   | AB   |
| 22  | 8      | 20.88 | 5.08  | 0.95    | 0.07 | 1.32               | 4.11  | A    |
| 27  | 12     | 18.13 | 10.13 | 1.08    | 0.23 | 2.05               | 1.79  | B    |
| 27  | 14     | 15.94 | 13.36 | 1.06    | 0.21 | 2.14               | 1.19  | B    |
| 27  | 16     | 19.1  | 10.1  | 1.34    | 0.21 | 2.0                | 1.89  | B    |
| 40  | 73     | 23.3  | 4.98  | 1.55    | 0.05 | 1.18               | 4.67  | AB   |
| 45  | 74     | 20.82 | 10.77 | 1.00    | 0.07 | 1.35               | 1.93  | B    |
| 45  | 78     | 16.2  | 11.4  | 0.73    | 0.06 | 1.38               | 1.42  | B    |
| 36  | 50     | 33.35 | 5.00  | 1.47    | 0.11 | 1.33               | 6.65  | A    |
| 38  | 54     | 26.89 | 5.26  | 1.6     | 0.12 | 1.27               | 5.11  | A    |
| 21  | 5      | 16.05 | 4.54  | 0.73    | 0.06 | 1.33               | 3.53  | AB   |
| 31  | 37     | 6.42  | 5.42  | 0.29    | 0.04 | 1.45               | 1.18  | B    |
| 32  | 38     | 30.43 | 5.80  | 1.46    | 0.08 | 1.45               | 5.24  | A    |
| 39  | 60     | 21.89 | 5.98  | 1.42    | 0.09 | 1.57               | 3.66  | AB   |
| 39  | 61     | 23.41 | 5.18  | 1.30    | 0.11 | 1.43               | 4.52  | A    |
| 38  | 55     | 20.15 | 5.21  | 1.50    | 0.10 | 1.23               | 3.87  | AB   |
| 20  | 3      | 21.5  | 10.16 | 0.89    | 0.09 | 1.40               | 2.11  | B    |
| 21  | 4      | 22.62 | 7.05  | 1.17    | 0.09 | 1.38               | 3.21  | AB   |
| 22  | 9      | 16.61 | 9.46  | 1.07    | 0.09 | 1.62               | 1.76  | B    |
| 22  | 10     | 20.48 | 7.62  | 1.29    | 0.01 | 1.57               | 2.69  | AB   |
| 22  | 11     | 21.49 | 8.03  | 1.01    | 0.08 | 1.50               | 2.68  | AB   |
| 27  | 20     | 19.59 | 9.72  | 1.20    | 0.21 | 2.15               | 2.01  | B    |
| 27  | 21     | 17.9  | 9.65  | 1.26    | 0.24 | 2.18               | 1.86  | B    |
| 28  | 22     | 18.97 | 7.00  | 1.35    | 0.19 | 1.47               | 2.71  | AB   |
| 28  | 26     | 27.56 | 8.03  | 1.42    | 0.14 | 1.60               | 3.43  | AB   |
| 28  | 35     | 21.44 | 8.97  | 1.42    | 0.18 | 1.67               | 2.39  | B    |
| 32  | 39     | 32.9  | 5.44  | 1.66    | 0.11 | 1.67               | 6.05  | A    |
| 33  | 41     | 31.27 | 6.57  | 1.58    | 0.11 | 1.47               | 4.76  | A    |
| 33  | 42     | 32.51 | 5.39  | 1.68    | 0.09 | 1.47               | 6.03  | A    |
| 33  | 44     | 29.42 | 5.03  | 1.67    | 0.10 | 1.45               | 5.85  | A    |
| 33  | 46     | 28.91 | 5.75  | 1.52    | 0.11 | 1.38               | 5.03  | A    |
| 33  | 48     | 28.91 | 5.34  | 1.68    | 0.11 | 1.40               | 5.41  | A    |
| 36  | 52     | 12.77 | 4.59  | 0.80    | 0.05 | 1.47               | 2.78  | AB   |
| 37  | 53     | 24.53 | 4.52  | 1.28    | 0.09 | 1.18               | 5.43  | A    |
| 39  | 67     | 25.48 | 6.28  | 1.67    | 0.11 | 1.32               | 4.05  | A    |
| 39  | 72     | 24.25 | 6.90  | 1.58    | 0.11 | 1.25               | 3.51  | AB   |

entre 0.25 y 0.4 % . En este grupo se encuentran los nódulos con el contenido más alto de Co y en general predominan los valores alrededor de 0.2 % .

En general en los nódulos que correspondieron al tipo AB la concentración de Mn está en el intervalo de 22 a 30 % con 2 excepciones, la concentración de Fe está siempre en el intervalo 4 a 8 % , la concentración de Ni + Cu es de 1.0 a 1.58 % en la mayoría de los casos y el Co se encuentra entre 0.05 y 0.19 % .

En general en una misma estación se presentan nódulos de una misma clase, aunque se da el caso de la presencia de nódulos Tipo A y Tipo AB juntos , o bien nódulos tipo B y Tipo AB juntos. Así pues, parece ser que los nódulos Tipo AB son una transición entre los A y B . Los nódulos Tipo A son los predominantes en la Depresión Mimar y en las inmediaciones de esta , en tanto que los nódulos Tipo B predominan al norte de la región C ( estaciones 27, 28, 31) . En la región de trabajo B inmediata a la Dorsal predominan los nódulos de transición Tipo AB .

En los nódulos Tipo A predominan las texturas granular y granular combinada (60 %) , en tanto que en los nódulos Tipo B predominan las texturas lisas (64 %) .

En base a la correlación existente entre los metales que constituyen los nódulos se ha tratado de inferir el origen de estos; así Halback (1978) , en base a la alta correlación que se presenta entre Co y Mn (0.79), en los nódulos Tipo B , propone un origen hidrogénico para estos nódulos ; en tanto que al considerar las correlaciones observadas en los nódulos Tipo A , el sugiere

un origen a partir del agua intersticial (diagénesis temprana) para estos. En el caso de los nódulos Tipo AB el propone un origen a partir del agua de fondo (hidrogénico) y del agua intersticial (diagénesis temprana) combinado .

A partir de los datos tanto de las características físicas como de la concentración de los diferentes elementos evaluados en los nódulos se hizo un análisis de correlación. En la Tabla 5-4-6 se presentan los valores obtenidos, los cuales permiten concluir los siguiente:

- .-El peso del nódulo está íntimamente ligado al volumen y al tamaño del mismo ; existe también una relación significativa entre el peso y la textura, lo cual se puede observar analizando la Tabla 5-4-4 , donde se aprecia que los nódulos más pesados tienen textura botroidal. El volumen está en función del tamaño e influye significativamente en la textura.
- .-La densidad está en función directa de la concentración de Mn, Cu, Ni y Zn ; los factores que afectan el valor de la densidad son: el tipo del núcleo, la textura y el espesor de las capas de óxido. Si bien no existe una correlación significativa entre la textura y la concentración de elementos, se observó que los nódulos de textura rugosa/granular y lisa/rugosa tienen las concentraciones más altas de Mn , en tanto que los de textura lisa tienen las concentraciones más altas de Fe .
- .-La concentración de Mn está relacionada directamente con las concentraciones de Cu, Ni y Zn (Fig.5-4-6), esta correlación ha sido reportada en gran número de trabajos (Piper D.Z. *et al.*,

TABLA 5-4-6 .- COEFICIENTES DE CORRELACION DE NODULOS POLIMETALICOS (n=39) .

|        | PESO | VOL  | DENS  | TEXT | Mn    | Fe    | Cu    | Ni     | Co     | Zn    | Ti    | Al    | Pb    | Si     | Ba    | TAMARO |
|--------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| PESO   | 1.00 | 0.99 | -0.03 | 0.37 | 0.056 | -0.21 | -0.23 | -0.090 | -0.410 | 0.20  | -0.42 | -0.17 | -0.42 | 0.002  | -0.11 | 0.72   |
| VOL    |      | 1.00 | -0.06 | 0.38 | 0.039 | -0.23 | -0.26 | -0.130 | -0.420 | 0.24  | -0.42 | -0.17 | -0.43 | 0.022  | -0.14 | 0.68   |
| DENS   |      |      | 1.00  | 0.17 | 0.510 | 0.25  | 0.49  | 0.640  | 0.360  | 0.39  | 0.15  | -0.01 | 0.36  | -0.650 | -0.19 | 0.14   |
| TEXT   |      |      |       | 1.00 | 0.110 | 0.05  | 0.06  | 0.280  | 0.170  | 0.23  | 0.15  | -0.19 | 0.23  | -0.320 | -0.40 | 0.12   |
| Mn     |      |      |       |      | 1.000 | -0.39 | 0.72  | 0.730  | -0.018 | 0.56  | -0.27 | -0.14 | -0.14 | -0.640 | -0.30 | 0.33   |
| Fe     |      |      |       |      |       | 1.00  | -0.34 | -0.096 | 0.510  | -0.21 | 0.67  | -0.03 | 0.65  | 0.051  | -0.25 | -0.35  |
| Cu     |      |      |       |      |       |       | 1.00  | 0.790  | 0.230  | 0.47  | -0.09 | 0.03  | 0.10  | -0.620 | -0.06 | 0.01   |
| Ni     |      |      |       |      |       |       |       | 1.000  | 0.210  | 0.60  | -0.03 | -0.14 | 0.15  | -0.690 | -0.37 | 0.17   |
| Co     |      |      |       |      |       |       |       |        | 1.000  | -0.20 | 0.77  | 0.14  | 0.91  | -0.420 | -0.08 | -0.64  |
| Zn     |      |      |       |      |       |       |       |        |        | 1.00  | -0.39 | -0.04 | -0.23 | -0.500 | -0.45 | 0.36   |
| Ti     |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       | 1.00  | 0.04  | 0.86  | -0.084 | -0.10 | -0.69  |
| Al     |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       |       | 1.00  | 0.09  | -0.070 | 0.38  | -0.07  |
| Pb     |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       |       |       | 1.00  | -0.360 | -0.05 | -0.68  |
| Si     |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       |       |       |       | 1.000  | 0.37  | -0.08  |
| Ba     |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        | 1.00  | -0.13  |
| TAMARO |      |      |       |      |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |       | 1.00   |

0 Valores significativos con nivel de confianza de 99.9 % (>0.393) .

00 Valores significativos con nivel de confianza de 99.5 % (>0.304) .

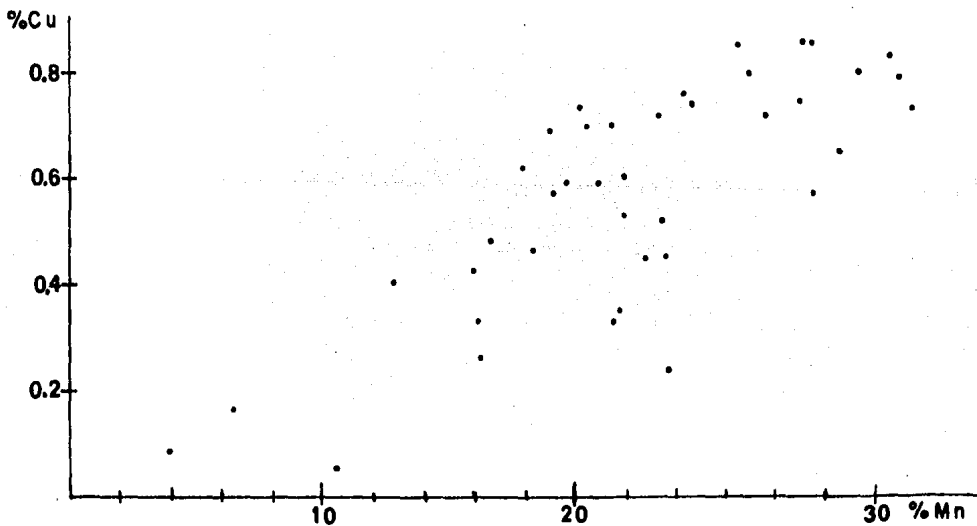
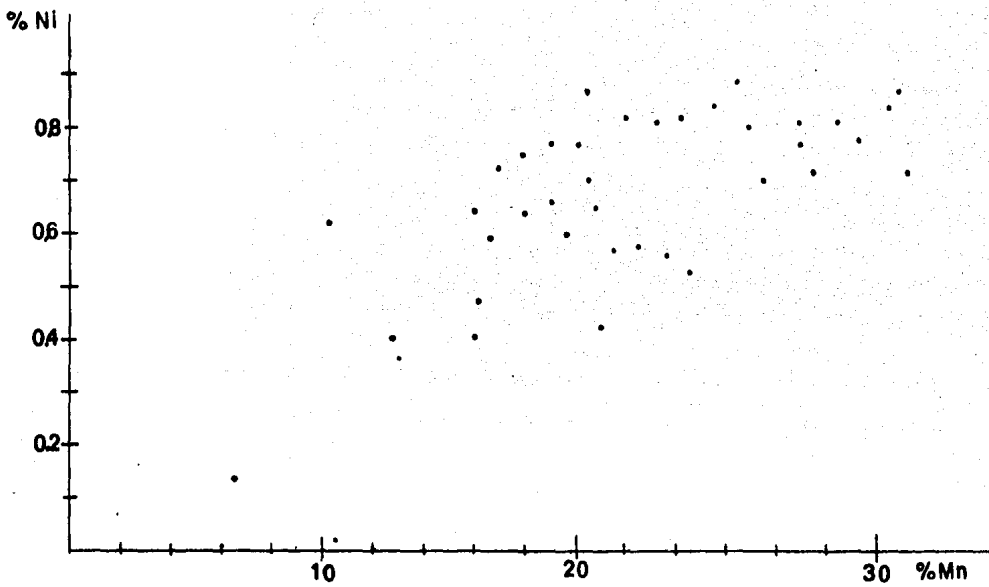


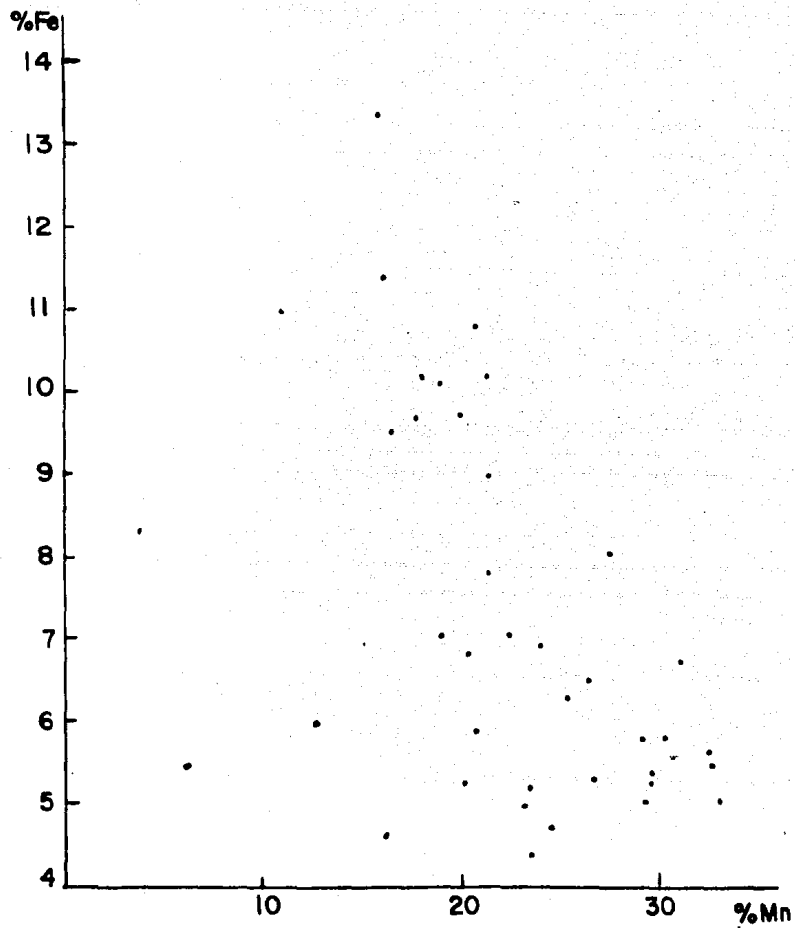
FIGURA 5-4-6.-RELACION DE LA CONCENTRACION DE MANGANESO CON LA CONCENTRACION DE COBRE Y NIQUEL EN LOS NODULOS .

1979), básicamente se debe a la fase principal del Mn , que es la todorokita, la cual contiene concentraciones relativamente altas de Cu y Ni (alrededor de 1 a 3 %) para una concentración dada de Mn (alrededor de 30 %), estos metales divalentes se consideran esenciales en la formación de la estructura cristalina de la todorokita..

.-Existe una relación inversa entre la concentración de Mn con Fe y Si (Fig. 5-4-7), que sugiere mecanismos de aporte diferentes para estos elementos.

.-En la Tabla 5-4-6 se observa que existe un valor de correlación alto entre el Fe con Co, Pb, y Ti , se ha reportado (Akira Usui, 1979).que el Fe en los nódulos polimetálicos puede ser sustituido por Co trivalente. lo que produce un valor alto de correlación entre estos dos elementos. Por otro lado en sedimentos y rocas de origen volcánico existe una correlación alta entre el Fe con el Ti y Pb , debido a la existencia de la ilmenita ( $FeTiO_3$ ) que es un mineral que está constituido por ambos elementos .

En general , se ha reportado que las concentraciones de Co , Pb y V en los nódulos exhiben correlaciones directas con la magnitud de la columna de agua sobrenadante; en tanto que Mn, Cu y Ni muestran una tendencia regional, está última se muestra en la Figura 5-4-7 donde se aprecia que los nódulos con la concentración más alta de Mn , Ni y Cu se presentan en los nódulos recolectados en la Depresión Mimar , ubicada al sur de la region C .La clasificación de los nódulos en base a su



**FIGURA 5-4-7. - RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE MANGANESO Y HIERRO .**

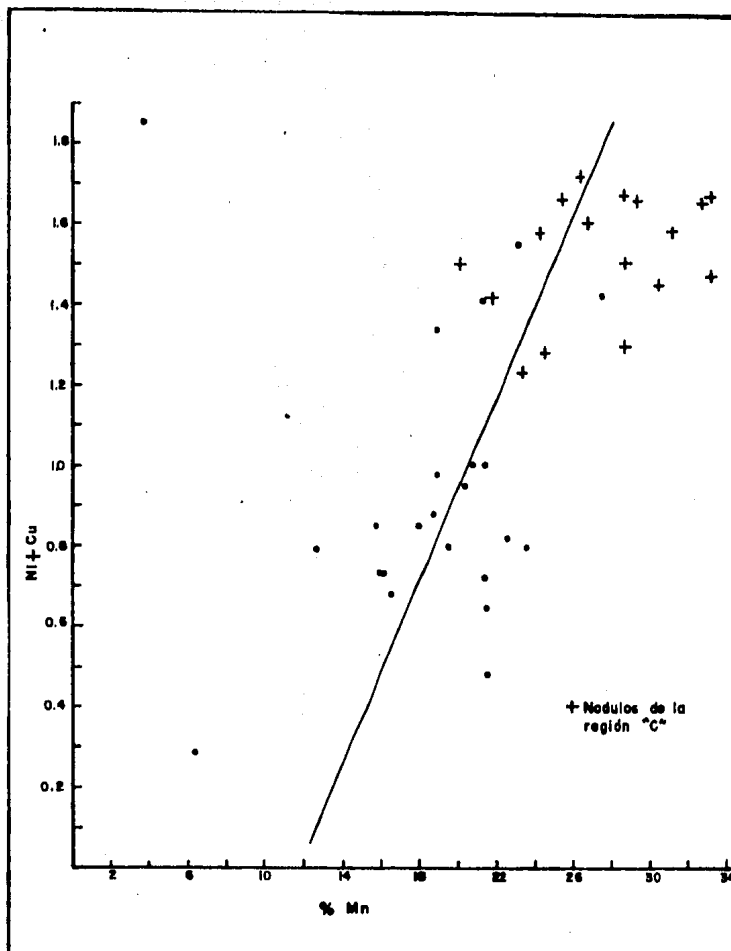


Figura 5-4-8.-Relación de la concentración de Mn con las concentraciones de Ni + Cu en los nódulos.



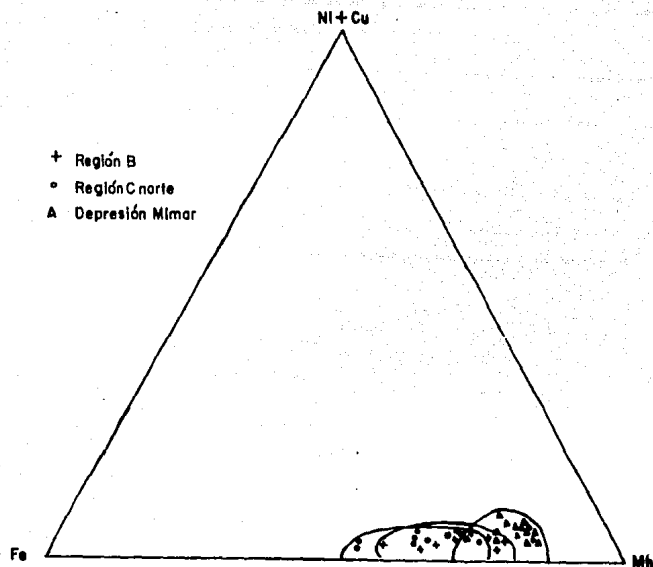


Figura 549 .- Clasificación de nódulos en base a su concentración de Mn, Fe y Cu + Ni.

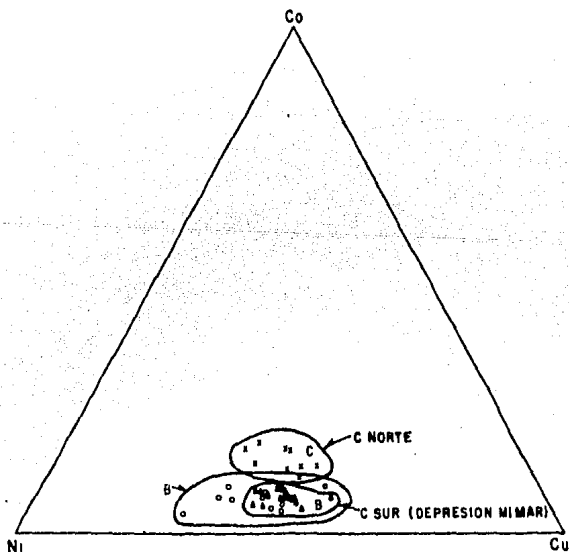


Figura 5410.- Clasificación de nódulos en base a su concentración de Cu, Ni y Co.

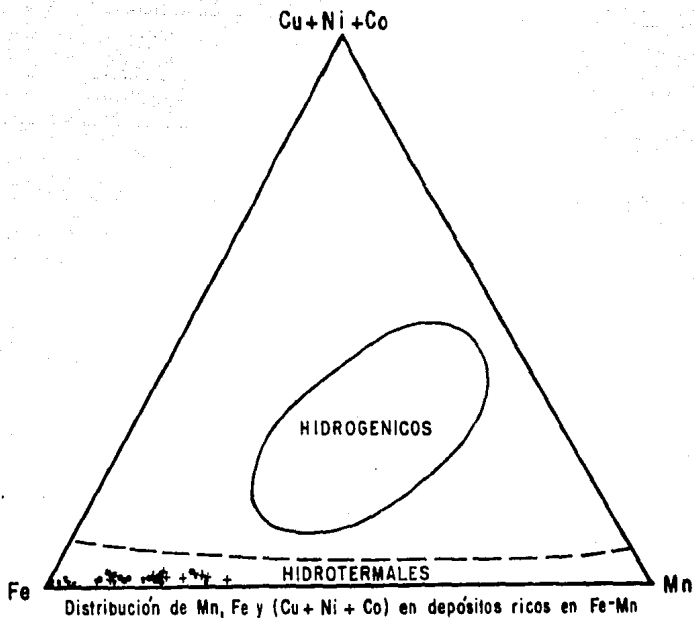
contenido de Mn , Fe y Cu + Ni (Fig. 5-4-9) se ha usado para clasificar a los nódulos; sin embargo la clasificación en base a su contenido Cu , Ni , Co (Fig. 5-4-10) permite observar de una manera más clara la diferencia entre los nódulos de la Depresión Mimar y los nódulos del norte de la Región C .

## CAPITULO 6

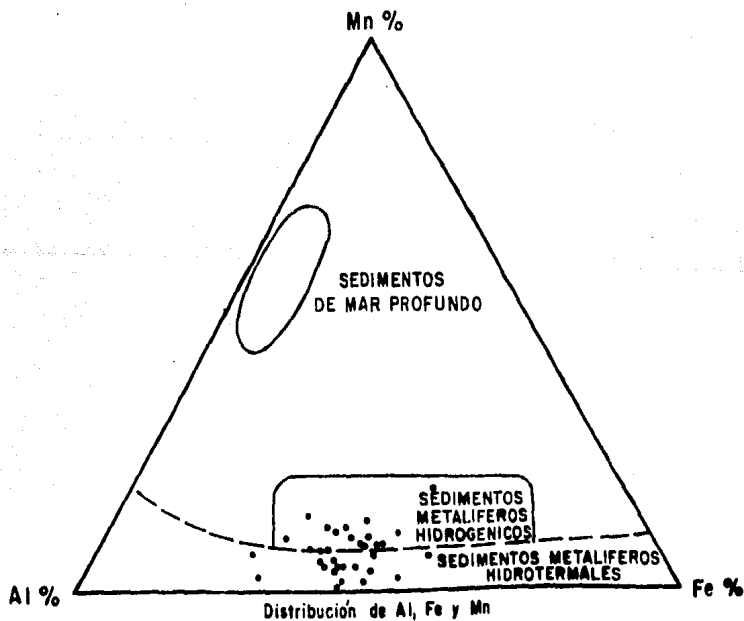
### DISCUSION

Es evidente que el estudio de los nódulos polimetálicos es altamente complejo, debido a las variaciones que presentan en su composición, las cuales pueden ser: dentro de un mismo nódulo (Calvert y Price, 1977), entre grupos de nódulos de áreas no muy distantes del piso oceánico (Price y Calvert, 1970), y entre las grandes cuencas oceánicas (Cronan y Tooms, 1969). Esto ha inducido a la realización de numerosos estudios que tratan de explicar desde su origen hasta su variación composicional. El estudio de los sedimentos y el agua intersticial de los sedimentos asociados a los nódulos es básico para poder interpretar el posible origen de estos últimos .

Se han propuesto diferentes diagramas de clasificación de los sedimentos en base a su contenido de metales ; así Bonatti, (1972), propuso una clasificación química de los sedimentos basada en las proporciones relativas de Mn, Fe y Cu+Ni+Co (Fig. 6-1) . En esta clasificación los depósitos hidrotermales se limitan a aquellos sedimentos que están enriquecidos en Fe, por lo que en 1981 Bonatti sugirió el uso del diagrama ternario propuesto por Turekian y Wedpohl (Bonatti, 1981) constituido por Al, Fe y Mn . De acuerdo con estos autores los sedimentos metalíferos hidrotermales se caracterizan esencialmente por un enriquecimiento de Fe y Mn en relación al Al (Fig. 6-2). Al utilizar este diagrama para las muestras del presente estudio se observa que los sedimentos se agrupan con los sedimentos metalíferos hidrogénicos



**FIGURA G-1. - DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A SU CONTENIDO DE HIERRO, MANGANESO, Y COBRE + NIQUEL + COBALTO .**



**FIGURA G-2. - DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A SU CONTENIDO DE HIERRO, MANGANESO Y ALUMINIO .**

y con los metalíferos hidrotermales; en tanto que, la aplicación del primer diagrama (Al, Fe, Mn) no permitía ninguna diferenciación de los sedimentos analizados en este estudio .

Con objeto de visualizar de una manera más clara las diferencias en composición química en las áreas estudiadas, se elaboró una sección que cubriera las tres regiones de estudio, y se representó gráficamente la variación de concentración de algunos de los metales estudiados . En la figura 6-3 se presenta la sección mencionada . El análisis de estas secciones muestra una diferencia notable en el área de la dorsal en donde aumenta la concentración de Zn, Cu y Fe y se presenta una disminución en la concentración de Mn y Co; se observa una zona de transición intermedia para volver a presentarse un aumento de concentración de Fe , Mn, Co y Cu en el extremo correspondiente a la planicie abisal. En base a esta información se decidió hacer un análisis de distribución de sedimentos similar al de Bonatti, usando como vértices las concentraciones de Mn+Co, Zn y Fe . En la Figura 6-4 se aprecia que la mayoría de las muestras correspondientes a la región A se encuentran en la parte superior del diagrama de distribución , en tanto que todas las muestras correspondientes a las regiones B y C están en un área bien definida dentro de este diagrama. lo que permite diferenciar 2 áreas bien definidas dentro de la región de estudio.

Si se construye un diagrama usando las concentraciones de Cu, Ni y Co en cada vértice , (Fig. 6-5) se obtiene un diagrama donde es posible diferenciar con mayor claridad cada una de

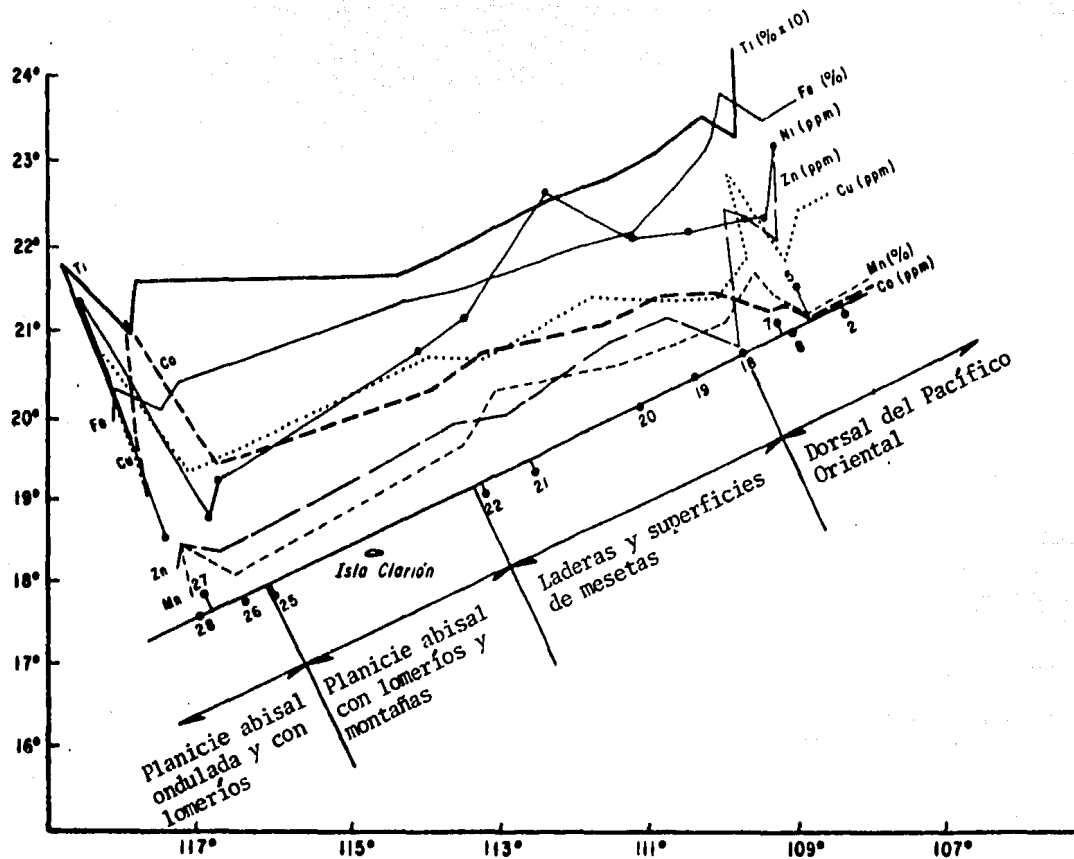


Figura 6-3 .-- Perfil de concentración de metales en sedimentos en la sección B-B'.

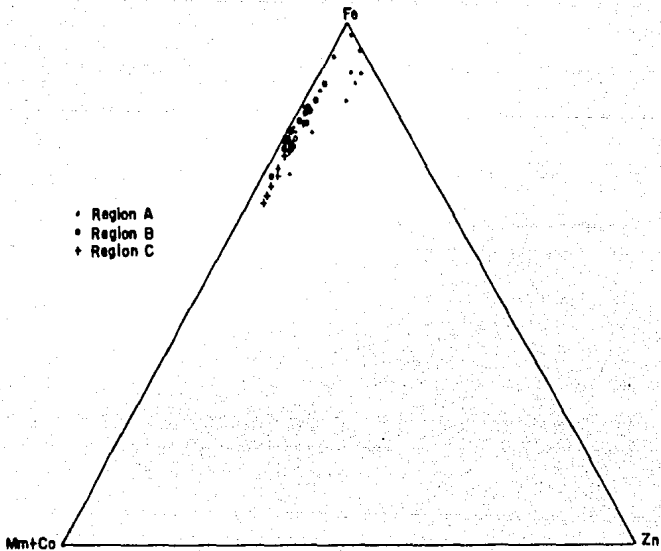


FIGURA 6-4. - DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A SU CONTENIDO DE ZINC, HIERRO Y MANGANESO + COBALTO .

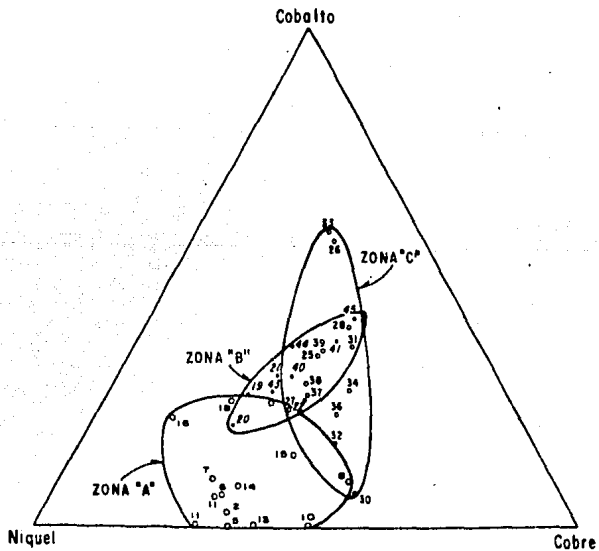


FIGURA 6-5. - DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE SEDIMENTOS EN BASE A SU CONTENIDO DE COBRE, NIQUEL Y COBALTO .

las regiones estudiadas; las regiones A y C se separan en este diagrama , la región A hacia mayores concentraciones de Ni y Cu , en tanto la región C muestra una mayor concentración de Co y Cu , la región B es una zona de transición entre estas 2 regiones. De acuerdo con este diagrama la concentración de Cu y Ni en los sedimentos se asociaría con los procesos dentro de la Dorsal, y el Co se asocia a los procesos hidrogénicos presentes en las regiones de nódulos polimetálicos.

Es importante destacar que a pesar de que la region B , es la más amplia geográficamente, es la que tiene una distribución más homogénea, quedando perfectamente definida en este diagrama , lo que no se puede decir de las regiones A y C que muestran una mayor dispersión .

Existen una serie de estudios tratando de explicar el origen de los metales asociados a los sedimentos marinos, así, Bender et al. (1971) midiendo los isótopos de plomo en los sedimentos, proponen un origen de los metales a través del manto; en tanto que las relaciones de los isótopos de estroncio y uranio señalan hacia un origen a partir del agua de mar (Dymond et al., 1973).

Con el objeto de evaluar el posible origen detrítico, autigénico, hidrotermal o biogénico de los metales en los sedimentos del presente trabajo , se aplicó el modelo de Heath y Dymond (1977) a los datos obtenidos .

El modelo examina las asociaciones interelementales y la partición de los elementos entre los componentes cristalinos y amorfos que constituyen los sedimentos . La definición de los factores



estudiados es la siguiente:

- a) HIDROTERMAL.- Incluye la fracción de cada elemento depositada cuando las soluciones calientes y reductoras que emanan del basalto recién formado, reaccionan con el agua de mar oxidante y fría ,
- b) HIDROGENICO.- Es el material que no se precipita en la cresta de la cordillera sino que permanece en solución para ser depositado en otra parte.
- c) DETRITICO.- Constituido por el material producido por la desintegración de rocas preexistentes transportadas por rios, glaciares, corrientes ó vientos .
- d) BIOGENICO.- Considera el material aportado por los organismos. El modelo de Dymond , planteado para evaluar los diferentes factores que influyen en los sedimentos, tiene las siguientes características:

1.- Se supone que todo el hierro no-detrítico es hidrotermal. Está suposición se basa en los estudios realizados por Bender (1971), Dymond (1975), (Heath y Dymond, 1977), que encontraron cantidades despreciables de Mn y Fe en la cresta de la cordillera de la Dorsal de Pacífico . Así:

$$Fe_H = Fe - Fe_D \quad \text{Donde } Fe_H = \text{Hierro hidrotermal} \quad (1)$$
$$Fe_D = \text{Hierro Detrítico}$$

2.- El valor de la relación Fe/Al detríticos, se asume que es uniforme e igual a 0.75 . Este valor se basa en la mineralogía de las muestras de la cuenca central que son de material andesítico.

$$Fe_D = 0.75 Al_D \quad (2)$$

3.- El valor de la relación Fe/Al para un número grande de

muestras de la Dorsal del Pacífico Oriental es hasta de 160, se considera que este valor máximo corresponde con el de la relación hidrotermal, ya que otros procesos deposicionales tienden a decrecerlo.

$$Al_H = 0.00625 Fe_H \quad (3)$$

4.- Todo el aluminio presente es de origen hidrotermal o detrítico, es decir:

$$Al_D = Al_T - Al_H \quad (4)$$

Si se combinan las ecuaciones 1, 3 y 4 se tiene:

$$(Al_T - Al_D) = 0.00625 (Fe - Fe_D) \quad (5)$$

y combinando 2 y 5 :

$$Fe_D = 0.7535 (Al - 0.00625 Fe) \quad (6)$$

Conociendo la concentración de Al y Fe en cada muestra se puede calcular el valor correspondiente de  $Fe_D$ ,  $Fe_H$  y  $Al_H$  de las ecuaciones anteriores.

5.- Asumiendo que la segunda suposición se aplica a todos los elementos, de tal forma que su contribución detrítica se pueda determinar a partir de la composición de  $Al_D$  por la relación :

$$X_D = (X/Al)_D \times Al_D$$

usando los valores elementales típicos de rocas intermedias a máficas (Wedpohl, 1972; Poldervaart, 1955; Nelson, 1968) ; se calculó el valor de la relación X/Al aplicado en este modelo ; estos valores están reportados en la Tabla 6-1 .

6.- Aún cuando químicamente no se puede justificar una relación uniforme entre X elemento:Fe , los valores observados para esta relación en las muestras estudiadas por Heath y Dymond (1977),

muestran valores practicamente constantes, lo que les hizo suponer que la mayoría de reacciones que se estan llevando a cabo cerca del eje de dispersión de la Dorsal son bajo condiciones uniformes; o bien que estas muestras son el producto de una serie de reacciones que se presentan en las regiones hidrotermales. En base a estas observaciones , se propone la siguiente relación:

$$X_D = (X/Fe)_H \times Fe_H$$

TABLA 6-1.- RELACION DE ELEMENTOS USADOS EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE DYMOND (Datos de Dymond, 1977) .

| Elemento | $(X/Fe)_H$ | $(X/Al)_D$ | $(X/Ni)_A$ |
|----------|------------|------------|------------|
| Fe       | 1.0        | 0.75       | 0.0        |
| Mn       | 0.3        | 0.015      | 0.0        |
| Si       | 0.1        | 3.0        | 0.0        |
| Al       | 0.00625    | 1.0        | 0.0        |
| Ba       | 0.008      | 0.0075     | 13.5       |
| Cu       | 0.0046     | 0.001      | 0.5        |
| Ni       | 0.00155    | 0.0012     | 1.0        |
| Zn       | 0.0018     | 0.0007     | 0.15       |

7.- Se supone que todo el Ni no-detrítico y no-hidrotermal es hidrogénico ( $Ni_A$ ), es decir :

$$Ni_A = Ni - Ni_D - Ni_H \quad (9)$$

si se realizan graficas de la contribución no-detrítica, no-hidrotermal de un elemento dado contra el  $Ni_A$  , en cada muestra se observa una relación más o menos constante, donde la

dispersión que se observa se debe a la contribución biogénica de cada elemento. La contribución hidrogénica de cada elemento se obtiene a partir de la relación :

$$X_A = (X/Ni)_A \times Ni_A \quad (10)$$

B.- En este modelo se reconocen cuatro posibles fuentes de origen de los elementos, hasta aquí se ha mencionado la forma de obtener 3 factores: autigénico, hidrotermal y detrítico, el 4° factor (biogénico) se obtiene por diferencia :

$$X_B = X - X_D - X_H - X_A \quad (11)$$

Las ecuaciones 1 a la 11 junto con los valores de la Tabla 6-1 se usaron para calcular el aporte de los diferentes factores a los metales en los sedimentos del presente estudio .

En la Tabla 6-2 se muestra la concentración de metal (expresada en gramos) aportada por cada uno de los diferentes factores estudiados en cada estación. En la Tabla 6-3 se expresa el porcentaje de metal en cada fracción estudiada. Un análisis de los datos obtenidos permite concluir que el modelo de Dymond se ajusta a los datos obtenidos de concentración de metales en practicamente todas las estaciones comprendidas en la region A (estaciones 2 a la 18), algunas de estas estaciones como la 13, 14, 15, 16 y 17 muestran valores muy altos de Fe, Cu y Zn de origen hidrotermal. Usando el modelo, algunos valores excedían el 100 % , por lo que se hizo un ajuste; los valores correspondientes aparecen en la Tabla 6-4 . Usando estos valores se representó graficamente la contribución de cada factor, esto permite visualizar con mayor claridad la magnitud de los aportes en cada una de las

TABLA 62.- FRACCION EXPRESADA EN % DE CADA METAL APORTADO POR LOS DIFERENTES FACTORES QUE ESTAN ACTUANDO EN EL SISTEMA .

| Est | Fe     |        | Al     |         | Ni     |        | Cu     |        | Zn     |        | Mn     |        |       |       |       |       |       |        |
|-----|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|     | Hidrot | Detrit | Hidrot | Detrit  | Hidrot | Detrit | Hidrot | Detrit | Hidrot | Detrit | Hidrot | Detrit |       |       |       |       |       |        |
| 2   | 19.02  | 80.98  | 0.110  | 99.890  | 3.23   | 14.09  | 82.48  | 17.65  | 21.75  | 76.15  | 0.00   | 3.98   | 9.77  | 15.15 | 74.10 | 0.00  | 43.33 | 0.00   |
| 5   | 15.69  | 84.31  | 0.087  | 99.910  | 5.12   | 28.37  | 66.51  | 28.08  | 43.69  | 61.33  | 0.00   | 7.96   | 22.16 | 13.33 | 56.55 | 0.00  | 35.81 | 0.00   |
| 6   | 22.80  | 77.20  | 0.138  | 98.870  | 4.39   | 15.36  | 80.25  | 26.38  | 25.88  | 80.98  | 0.00   | 4.83   | 6.69  | 11.38 | 75.31 | 80.56 | 18.18 | 1.26   |
| 7   | 19.12  | 80.88  | 0.110  | 99.890  | 3.09   | 13.56  | 83.35  | 20.36  | 24.97  | 92.47  | 0.00   | 4.97   | 10.92 | 17.32 | 64.80 | 17.42 | 4.91  | 77.67  |
| 8   | 27.56  | 72.44  | 0.178  | 99.820  | 7.29   | 19.79  | 79.92  | 15.57  | 11.86  | 26.17  | 46.40  | 8.49   | 11.58 | 10.93 | 68.98 | 42.62 | 7.47  | 49.91  |
| 10  | 6.68   | 93.32  | 0.033  | 99.970  | 3.47   | 50.34  | 46.19  | 10.23  | 41.68  | 22.79  | 25.30  | 2.34   | 17.10 | 4.00  | 76.56 | 0.00  | 0.00  | 0.00   |
| 11  | 53.77  | 46.23  | 0.540  | 99.460  | 13.12  | 23.79  | 63.09  | 1.92   | 47.77  | 75.98  | 0.00   | 53.79  | 23.99 | 16.35 | 5.87  | 44.45 | 5.75  | 49.82  |
| 12  | 3.53   | 96.47  | 0.017  | 99.000  | 0.63   | 17.76  | 81.61  | 3.94   | 31.38  | 86.11  | 0.00   | 1.08   | 15.31 | 18.00 | 65.61 | 32.82 | 59.81 | 7.37   |
| 13  | 45.74  | 54.26  | 0.890  | 99.100  | 35.53  | 19.08  | 45.04  | 57.79  | 23.85  | 33.33  | 0.00   | 68.32  | 18.47 | 11.06 | 2.15  | 0.00  | 0.00  | 100.00 |
| 14  | 48.43  | 51.57  | 0.440  | 99.560  | 14.96  | 16.43  | 68.60  | 52.32  | 24.04  | 60.17  | 0.00   | 45.44  | 23.98 | 25.75 | 6.83  | 0.00  | 8.10  | 0.00   |
| 15  | 35.59  | 64.41  | 0.260  | 99.740  | 15.31  | 28.60  | 56.10  | 52.24  | 27.45  | 32.30  | 0.00   | 91.11  | 85.52 | 43.12 | 0.00  | 0.00  | 26.18 | 0.00   |
| 16  | 35.93  | 64.07  | 0.260  | 99.740  | 7.75   | 14.37  | 78.00  | 100.00 | 52.11  | 170.83 | 0.00   | 32.87  | 30.60 | 42.71 | 0.00  | 49.31 | 5.86  | 44.83  |
| 17  | 77.14  | 177.00 | 0.205  | 99.795  | 12.50  | 29.51  | 57.09  | 52.48  | 34.78  | 41.07  | 0.00   | 143.70 | 0.00  | 86.25 | 0.00  | 0.00  | 50.84 | 0.00   |
| 18  | 18.71  | 81.29  | 0.108  | 99.892  | 3.89   | 17.46  | 78.56  | 24.96  | 31.43  | 85.00  | 0.00   | 3.40   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 26.54 | 7.60  | 65.86  |
| 19  | 1.00   | 99.00  | 0.005  | 99.995  | 0.16   | 16.22  | 83.62  | 0.62   | 24.53  | 75.85  | 0.00   | 4.41   | 22.84 | 30.29 | 42.46 | 1.01  | 6.79  | 7.82   |
| 20  | 0.00   | 128.00 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 15.00  | 85.00  | 0.00   | 24.96  | 64.82  | 10.67  | 0.00   | 28.12 | 40.95 | 38.93 | 0.00  | 5.99  | 94.00  |
| 21  | 0.00   | 122.50 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 23.51  | 76.49  | 0.00   | 27.28  | 53.21  | 19.51  | 0.00   | 45.18 | 37.37 | 17.05 | 0.00  | 10.63 | 99.37  |
| 22  | 0.00   | 112.00 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 24.85  | 75.15  | 0.00   | 21.75  | 39.53  | 38.72  | 0.00   | 32.48 | 25.30 | 42.22 | 0.00  | 10.33 | 99.67  |
| 40  | 9.03   | 90.97  | 0.046  | 99.950  | 1.50   | 15.73  | 82.77  | 5.36   | 15.66  | 49.45  | 29.53  | 5.67   | 29.64 | 40.10 | 24.54 | 11.34 | 7.39  | 81.11  |
| 41  | 0.00   | 107.86 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 34.85  | 65.15  | 0.00   | 20.36  | 22.83  | 56.81  | 0.00   | 43.99 | 21.14 | 34.87 | 0.00  | 15.18 | 84.82  |
| 43  | 0.00   | 110.44 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 14.47  | 85.53  | 0.00   | 17.51  | 62.14  | 20.35  | 0.00   | 31.80 | 48.37 | 19.83 | 0.00  | 6.33  | 93.47  |
| 44  | 0.00   | 150.40 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 23.25  | 76.75  | 0.00   | 23.05  | 45.75  | 31.22  | 0.00   | 38.29 | 32.55 | 29.16 | 0.00  | 8.72  | 91.28  |
| 45  | 0.00   | 191.90 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 51.88  | 48.12  | 0.00   | 23.78  | 13.28  | 62.94  | 0.00   | 62.67 | 15.00 | 22.33 | 0.00  | 16.88 | 83.92  |
| 25  | 1.35   | 98.65  | 0.007  | 99.993  | 0.60   | 30.33  | 49.07  | 1.11   | 21.45  | 29.38  | 48.04  | 1.12   | 39.82 | 22.80 | 38.28 | 3.71  | 16.35 | 79.74  |
| 26  | 14.69  | 85.31  | 0.081  | 99.919  | 1.40   | 33.17  | 65.43  | 10.36  | 17.45  | 19.34  | 52.85  | 10.99  | 33.15 | 15.76 | 51.11 | 40.05 | 13.51 | 44.44  |
| 27  | 5.25   | 94.75  | 0.026  | 99.970  | 0.59   | 11.03  | 88.38  | 2.06   | 10.77  | 31.78  | 35.39  | 3.32   | 31.10 | 44.00 | 1.58  | 3.00  | 6.10  | 89.90  |
| 28  | 22.82  | 77.18  | 0.138  | 99.860  | 0.10   | 35.53  | 44.37  | 17.43  | 17.09  | 15.67  | 49.81  | 16.32  | 28.98 | 11.37 | 43.13 | 75.00 | 16.91 | 41.91  |
| 30  | 0.00   | 102.50 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 42.42  | 57.58  | 0.00   | 24.78  | 19.81  | 55.91  | 0.00   | 43.25 | 15.12 | 41.63 | 0.00  | 21.11 | 78.89  |
| 31  | 0.00   | 102.10 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 43.44  | 56.56  | 0.00   | 21.94  | 17.12  | 60.94  | 0.00   | 41.20 | 13.78 | 65.02 | 0.00  | 14.10 | 85.90  |
| 32  | 0.00   | 107.00 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 22.66  | 77.34  | 0.00   | 14.67  | 30.01  | 53.33  | 0.00   | 39.10 | 34.29 | 26.61 | 0.00  | 9.94  | 90.06  |
| 33  | 6.57   | 93.43  | 0.033  | 99.970  | 2.67   | 39.31  | 58.02  | 5.53   | 22.81  | 20.20  | 51.46  | 5.93   | 43.76 | 16.64 | 22.96 | 16.80 | 15.94 | 67.26  |
| 34  | 0.00   | 110.51 | 0.000  | 100.000 | 0.00   | 33.88  | 66.12  | 0.00   | 17.97  | 21.03  | 61.00  | 0.00   | 41.69 | 20.80 | 37.51 | 43.92 | 16.10 | 39.98  |
| 34  | 22.41  | 77.59  | 0.137  | 99.860  | 0.10   | 35.76  | 44.14  | 16.22  | 16.09  | 14.62  | 53.07  | 19.90  | 35.33 | 13.77 | 51.00 | 23.12 | 10.03 | 66.85  |
| 37  | 15.70  | 84.30  | 0.087  | 99.910  | 0.03   | 19.55  | 80.42  | 10.73  | 16.70  | 39.45  | 33.12  | 11.52  | 32.05 | 32.07 | 24.36 | 23.12 | 8.27  | 68.61  |
| 38  | 22.26  | 77.74  | 0.134  | 99.860  | 4.55   | 16.42  | 79.03  | 13.19  | 13.37  | 38.68  | 34.76  | 17.42  | 31.61 | 39.17 | 11.80 | 28.50 | 6.65  | 64.85  |
| 39  | 30.01  | 69.99  | 0.200  | 99.800  | 9.04   | 21.78  | 69.18  | 22.72  | 15.36  | 29.28  | 33.64  | 25.86  | 31.28 | 25.57 | 17.29 | 42.78 | 6.65  | 50.57  |

**TABLA 63.-FRACCIONES DE CADA ELEMENTO AFORTADAS POR DIFERENTES FACTORES DE ACUERDO AL MODELO DE DINDM (expresadas en g).**  
 I Tot = Total, I Hid = Hidroterral, I Det = Detritico, I Aut = Autigenico

| Est | Hierro |        | Aluminio |        |         |        | Niquel |         |        |        | Cobre  |         |         |        | Zinc   |         |         |         | Manganeso |        |         |
|-----|--------|--------|----------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|---------|
|     | Fe Tot | Fe Hid | Fe Det   | Al Tot | Al Hid  | Al Det | Ni Tot | Ni Hid  | Ni Det | Ni Aut | Cu Tot | Cu Hid  | Cu Det  | Cu Aut | Zn Tot | Zn Hid  | Zn Det  | Zn Aut  | Mn Tot    | Mn Hid | Mn Det  |
| 2   | 4.82   | 0.920  | 3.900    | 5.21   | 0.00570 | 5.20   | 0.0440 | 0.00140 | 0.0062 | 0.0340 | 0.0240 | 0.00410 | 0.00520 | 0.0180 | 0.0415 | 0.00185 | 0.00364 | 0.00546 | 0.18      | 0.2751 | 0.07600 |
| 5   | 5.83   | 0.920  | 4.920    | 6.56   | 0.06570 | 6.55   | 0.0277 | 0.00140 | 0.0078 | 0.0384 | 0.0150 | 0.00470 | 0.00655 | 0.0092 | 0.0207 | 0.00185 | 0.00459 | 0.00276 | 0.11      | 0.2745 | 0.09830 |
| 6   | 4.83   | 1.101  | 3.730    | 4.98   | 0.06490 | 4.97   | 0.0286 | 0.00170 | 0.0059 | 0.0311 | 0.0192 | 0.00506 | 0.00497 | 0.0155 | 0.0410 | 0.00198 | 0.00340 | 0.00466 | 0.41      | 0.3303 | 0.07400 |
| 7   | 4.77   | 0.912  | 3.860    | 5.15   | 0.00570 | 5.14   | 0.0457 | 0.00140 | 0.0062 | 0.0381 | 0.0206 | 0.00470 | 0.00514 | 0.0190 | 0.0330 | 0.00164 | 0.00340 | 0.00570 | 1.57      | 0.2736 | 0.07716 |
| 8   | 4.65   | 1.364  | 3.280    | 4.79   | 0.00850 | 4.78   | 0.0290 | 0.00210 | 0.0057 | 0.0211 | 0.0403 | 0.00610 | 0.00478 | 0.0106 | 0.0289 | 0.00295 | 0.00330 | 0.00316 | 96.00     | 0.4092 | 0.07170 |
| 10  | 4.40   | 0.327  | 4.070    | 6.13   | 0.00200 | 6.13   | 0.0146 | 0.00051 | 0.0071 | 0.0067 | 0.0147 | 0.00150 | 0.00613 | 0.0033 | 0.0251 | 0.00059 | 0.00429 | 0.00100 | 0.01      | 0.0981 | 0.09190 |
| 11  | 6.84   | 5.290  | 1.550    | 6.10   | 0.03300 | 6.17   | 0.0306 | 0.00400 | 0.0073 | 0.0193 | 0.0127 | 0.02430 | 0.00600 | 0.0097 | 0.0177 | 0.00950 | 0.00425 | 0.00290 | 3.57      | 1.5070 | 3.09100 |
| 12  | 5.27   | 0.186  | 5.084    | 6.78   | 0.00110 | 6.78   | 0.0458 | 0.00029 | 0.0061 | 0.0372 | 0.0216 | 0.00085 | 0.00678 | 0.0186 | 0.0310 | 0.00033 | 0.00474 | 0.00560 | 0.17      | 0.0528 | 0.10170 |
| 13  | 9.24   | 6.074  | 3.166    | 4.26   | 0.03800 | 4.22   | 0.0260 | 0.00940 | 0.0050 | 0.0118 | 0.0177 | 0.02790 | 0.00422 | 0.0059 | 0.0160 | 0.01090 | 0.00295 | 0.00177 | 0.00      | 0.0000 | 0.06300 |
| 14  | 5.98   | 2.094  | 3.084    | 4.13   | 0.01800 | 4.11   | 0.0300 | 0.00450 | 0.0049 | 0.0206 | 0.0171 | 0.01330 | 0.00411 | 0.0103 | 0.0120 | 0.00520 | 0.00280 | 0.00310 | 0.76      | 0.8690 | 0.06170 |
| 15  | 5.69   | 2.025  | 3.665    | 4.90   | 0.01260 | 4.89   | 0.0205 | 0.00310 | 0.0058 | 0.0115 | 0.0178 | 0.00930 | 0.00488 | 0.0058 | 0.0040 | 0.00360 | 0.00342 | 0.00170 | 0.28      | 0.0075 | 0.07300 |
| 16  | 7.32   | 2.430  | 4.890    | 6.27   | 0.01640 | 6.25   | 0.0530 | 0.00410 | 0.0075 | 0.0410 | 0.0120 | 0.01200 | 0.00625 | 0.0205 | 0.0144 | 0.00470 | 0.00458 | 0.00615 | 1.60      | 0.7890 | 0.09380 |
| 17  | 2.07   | 1.597  | 0.467    | 4.68   | 0.00990 | 4.67   | 0.0190 | 0.00250 | 0.0058 | 0.0115 | 0.0140 | 0.00730 | 0.00480 | 0.0058 | 0.0020 | 0.00287 | 0.00340 | 0.00170 | 0.27      | 0.4791 | 0.07300 |
| 18  | 4.35   | 0.614  | 3.740    | 4.72   | 0.00510 | 4.71   | 0.0320 | 0.00130 | 0.0056 | 0.0255 | 0.0150 | 0.00730 | 0.00470 | 0.0128 | 0.0020 | 0.00110 | 0.00330 | 0.00220 | 92.00     | 0.2442 | 0.07070 |
| 19  | 3.81   | 0.038  | 3.770    | 5.03   | 0.00024 | 5.03   | 0.0370 | 0.00006 | 0.0060 | 0.0311 | 0.0205 | 0.01750 | 0.00500 | 0.0156 | 0.0154 | 0.00007 | 0.00350 | 0.00466 | 1.11      | 0.0116 | 0.07340 |
| 20  | 4.10   | 0.000  | 4.100    | 6.99   | 0.00000 | 6.99   | 0.0560 | 0.00000 | 0.0084 | 0.0475 | 0.0280 | 0.00000 | 0.00670 | 0.0240 | 0.0174 | 0.00000 | 0.00490 | 0.00712 | 1.75      | 0.0000 | 0.10480 |
| 21  | 4.43   | 0.050  | 4.380    | 7.23   | 0.00000 | 7.23   | 0.0370 | 0.00000 | 0.0087 | 0.0282 | 0.0265 | 0.00000 | 0.00720 | 0.0142 | 0.0112 | 0.00000 | 0.00500 | 0.00420 | 1.02      | 0.0000 | 0.10640 |
| 22  | 4.46   | 0.000  | 4.460    | 6.96   | 0.00000 | 6.96   | 0.0340 | 0.00000 | 0.0083 | 0.0253 | 0.0320 | 0.00000 | 0.00670 | 0.0126 | 0.0150 | 0.00000 | 0.00490 | 0.00380 | 1.01      | 0.0000 | 0.10480 |
| 40  | 5.76   | 0.520  | 5.240    | 6.99   | 0.00020 | 6.99   | 0.0530 | 0.00081 | 0.0084 | 0.0441 | 0.0446 | 0.00280 | 0.00670 | 0.0220 | 0.0165 | 0.00000 | 0.00490 | 0.00660 | 1.38      | 0.1560 | 0.10480 |
| 41  | 5.07   | 0.000  | 5.070    | 7.29   | 0.00000 | 7.29   | 0.0250 | 0.00000 | 0.0098 | 0.0163 | 0.0358 | 0.00000 | 0.00730 | 0.0092 | 0.0116 | 0.00000 | 0.00510 | 0.00245 | 0.72      | 0.0000 | 0.10930 |
| 43  | 4.94   | 0.000  | 4.940    | 7.27   | 0.00000 | 7.27   | 0.0600 | 0.00000 | 0.0087 | 0.0516 | 0.0420 | 0.00000 | 0.00730 | 0.0260 | 0.0160 | 0.00000 | 0.00510 | 0.00774 | 1.67      | 0.0000 | 0.10900 |
| 44  | 4.18   | 0.000  | 4.180    | 8.37   | 0.00000 | 8.37   | 0.0430 | 0.00000 | 0.0130 | 0.0332 | 0.0310 | 0.00000 | 0.00846 | 0.0166 | 0.0153 | 0.00000 | 0.00580 | 0.00498 | 1.44      | 0.0000 | 0.12530 |
| 45  | 2.98   | 0.000  | 2.980    | 7.61   | 0.00000 | 7.61   | 0.0160 | 0.00000 | 0.0091 | 0.0405 | 0.0320 | 0.00000 | 0.00760 | 0.0043 | 0.0065 | 0.00000 | 0.00330 | 0.00128 | 0.71      | 0.0000 | 0.11410 |
| 25  | 5.29   | 0.078  | 5.210    | 6.95   | 0.00019 | 6.95   | 0.0280 | 0.00012 | 0.0083 | 0.0190 | 0.0320 | 0.00016 | 0.00670 | 0.0095 | 0.0125 | 0.00016 | 0.00487 | 0.00285 | 0.63      | 0.0234 | 0.10420 |
| 26  | 4.91   | 0.721  | 4.189    | 5.59   | 0.00450 | 5.59   | 0.0200 | 0.00112 | 0.0067 | 0.0124 | 0.0320 | 0.00330 | 0.00560 | 0.0062 | 0.0118 | 0.00130 | 0.00370 | 0.00186 | 0.54      | 0.2163 | 0.08400 |
| 77  | 5.80   | 0.304  | 5.496    | 7.33   | 0.00190 | 7.33   | 0.0800 | 0.00047 | 0.0088 | 0.0704 | 0.0660 | 0.00140 | 0.00730 | 0.0352 | 0.0165 | 0.00055 | 0.00510 | 0.00186 | 1.80      | 0.0912 | 0.10970 |
| 70  | 5.15   | 1.175  | 3.975    | 5.3    | 0.00730 | 5.3    | 0.0180 | 0.00180 | 0.0064 | 0.0097 | 0.0310 | 0.00000 | 0.00530 | 0.0048 | 0.0128 | 0.00210 | 0.00370 | 0.00150 | 0.47      | 0.0533 | 0.07950 |
| 30  | 5.56   | 0.000  | 5.560    | 7.60   | 0.00000 | 7.6    | 0.0250 | 0.00000 | 0.0091 | 0.0124 | 0.0310 | 0.00000 | 0.00760 | 0.0062 | 0.0123 | 0.00000 | 0.00330 | 0.00190 | 0.54      | 0.0000 | 0.11600 |
| 31  | 5.42   | 0.000  | 5.420    | 7.24   | 0.00000 | 7.24   | 0.0260 | 0.00000 | 0.0067 | 0.0113 | 0.0330 | 0.00000 | 0.00720 | 0.0037 | 0.0123 | 0.00000 | 0.00510 | 0.00170 | 1.77      | 0.0000 | 0.10860 |
| 32  | 5.47   | 0.000  | 5.467    | 7.82   | 0.00000 | 7.82   | 0.0410 | 0.00000 | 0.0094 | 0.0320 | 0.0530 | 0.00000 | 0.00780 | 0.0160 | 0.0140 | 0.00000 | 0.00550 | 0.00480 | 0.18      | 0.0000 | 0.11320 |
| 33  | 5.97   | 0.392  | 5.578    | 7.44   | 0.00240 | 7.44   | 0.0230 | 0.00061 | 0.0089 | 0.0152 | 0.0330 | 0.00160 | 0.00740 | 0.0066 | 0.0119 | 0.00700 | 0.00520 | 0.00200 | 0.70      | 0.1176 | 0.11160 |
| 34  | 5.34   | 0.000  | 5.340    | 8.16   | 0.00000 | 8.16   | 0.0290 | 0.00000 | 0.0098 | 0.0150 | 0.0450 | 0.00000 | 0.00820 | 0.0096 | 0.0137 | 0.00000 | 0.00570 | 0.00290 | 0.76      | 0.0000 | 0.12240 |
| 36  | 7.19   | 1.625  | 5.565    | 7.43   | 0.01010 | 7.42   | 0.0250 | 0.00250 | 0.0089 | 0.0135 | 0.0460 | 0.00750 | 0.00740 | 0.0067 | 0.0147 | 0.00290 | 0.00920 | 0.00200 | 1.11      | 0.4075 | 0.11130 |
| 37  | 6.48   | 1.018  | 5.462    | 7.29   | 0.00140 | 7.28   | 0.4500 | 0.00160 | 0.0087 | 0.0340 | 0.0440 | 0.00170 | 0.00730 | 0.0170 | 0.0159 | 0.00180 | 0.00510 | 0.00510 | 1.32      | 0.3052 | 0.10928 |
| 38  | 4.84   | 1.520  | 3.320    | 7.10   | 0.00950 | 7.09   | 0.0570 | 0.00230 | 0.0085 | 0.0410 | 0.0530 | 0.00700 | 0.00710 | 0.0705 | 0.0157 | 0.00270 | 0.00496 | 0.00620 | 1.60      | 0.4560 | 0.10630 |
| 39  | 6.32   | 1.897  | 4.423    | 5.91   | 0.01190 | 5.89   | 0.0310 | 0.00290 | 0.0071 | 0.0225 | 0.0380 | 0.00870 | 0.00550 | 0.0110 | 0.0132 | 0.00160 | 0.00413 | 0.00340 | 1.33      | 0.5689 | 0.09617 |

TABLA 6.4.- VALORES DE LA TABLA 9-3 AJUSTADOS AL 100 %

| Est | Fe     |          | Al     |        | Ni     |       | Cu     |       | Zn     |       | Biog  | Hidrot | Det   | Autig | Biog  |
|-----|--------|----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|     | Hidrot | Det      | Hidrot | Det    | Hidrot | Det   | Hidrot | Det   | Hidrot | Det   |       |        |       |       |       |
| 2   | 19.02  | 80.98    | 0.11   | 99.89  | 3.23   | 14.09 | 87.68  | 15.27 | 18.82  | 65.90 | 0.00  | 3.98   | 8.77  | 13.13 | 74.10 |
| 5   | 15.69  | 84.30    | 0.09   | 99.91  | 5.12   | 28.37 | 66.51  | 21.08 | 32.83  | 44.10 | 0.00  | 7.98   | 22.14 | 13.33 | 56.55 |
| 6   | 22.80  | 77.20    | 0.14   | 99.86  | 4.39   | 15.36 | 80.25  | 19.80 | 19.42  | 60.77 | 0.00  | 4.83   | 8.48  | 11.28 | 75.31 |
| 7   | 19.12  | 80.88    | 0.11   | 99.89  | 3.09   | 13.56 | 83.35  | 14.77 | 18.12  | 67.10 | 0.00  | 4.97   | 10.91 | 17.33 | 66.80 |
| 8   | 27.56  | 72.44    | 0.18   | 99.82  | 7.29   | 19.79 | 72.92  | 15.57 | 11.86  | 26.17 | 46.40 | 8.49   | 11.58 | 10.43 | 68.98 |
| 10  | 6.48   | 93.52    | 0.05   | 99.97  | 3.47   | 50.35 | 46.19  | 10.23 | 41.68  | 22.79 | 25.30 | 2.34   | 17.10 | 4.05  | 76.56 |
| 11  | 53.77  | 46.23    | 0.58   | 99.46  | 13.12  | 23.79 | 63.09  | 1.52  | 38.01  | 60.45 | 0.00  | 53.79  | 23.99 | 16.35 | 5.87  |
| 12  | 2.53   | 96.47    | 0.02   | 99.98  | 0.63   | 17.76 | 81.61  | 3.20  | 25.80  | 70.92 | 0.00  | 1.08   | 15.31 | 18.00 | 65.61 |
| 13  | 65.74  | 34.26    | 0.89   | 99.10  | 35.93  | 19.08 | 45.04  | 73.40 | 11.10  | 15.50 | 0.00  | 68.32  | 18.47 | 11.66 | 2.15  |
| 14  | 48.43  | 51.57    | 0.44   | 99.56  | 14.96  | 16.43 | 68.60  | 38.30 | 17.60  | 44.07 | 0.00  | 43.44  | 25.98 | 25.75 | 6.83  |
| 15  | 35.39  | 64.61    | 0.26   | 99.74  | 15.31  | 28.60 | 65.10  | 46.64 | 24.51  | 28.84 | 0.00  | 41.46  | 38.91 | 19.12 | 0.00  |
| 16  | 35.43  | 64.07    | 0.26   | 99.74  | 7.75   | 14.37 | 78.00  | 30.96 | 16.13  | 52.90 | 0.00  | 32.87  | 30.40 | 62.72 | 0.00  |
| 17  | 30.37  | 69.68    | 0.21   | 99.79  | 12.50  | 29.51 | 57.99  | 40.89 | 27.10  | 32.00 | 0.00  | 62.49  | 0.00  | 37.50 | 0.00  |
| 18  | 18.71  | 81.29    | 0.11   | 99.89  | 3.89   | 17.46 | 78.56  | 17.65 | 22.25  | 60.12 | 0.00  | 3.40   | 0.00  | 76.60 | 0.00  |
| 19  | 1.00   | 99.00    | 0.00   | 100.00 | 0.16   | 16.22 | 83.62  | 0.61  | 24.29  | 75.10 | 0.00  | 4.41   | 22.86 | 30.29 | 42.44 |
| 20  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 15.00 | 85.00  | 0.00  | 20.72  | 70.42 | 8.86  | 0.00   | 28.12 | 40.96 | 30.93 |
| 21  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 25.50 | 76.49  | 0.00  | 27.28  | 53.21 | 19.51 | 0.00   | 45.18 | 37.77 | 17.05 |
| 22  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 24.85 | 75.15  | 6.00  | 21.75  | 39.53 | 38.72 | 0.00   | 32.46 | 25.30 | 42.22 |
| 40  | 9.03   | 90.97    | 0.05   | 99.95  | 1.50   | 15.73 | 82.77  | 5.36  | 15.86  | 49.45 | 29.53 | 5.67   | 29.64 | 40.16 | 24.54 |
| 41  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 34.85 | 65.15  | 0.00  | 20.36  | 22.83 | 56.81 | 0.00   | 43.99 | 21.14 | 34.87 |
| 43  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 14.47 | 85.53  | 0.00  | 17.52  | 62.14 | 20.35 | 0.00   | 31.80 | 48.37 | 19.83 |
| 44  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 23.25 | 76.75  | 0.00  | 23.05  | 45.73 | 31.22 | 0.00   | 32.89 | 32.55 | 29.16 |
| 45  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 51.88 | 48.12  | 0.00  | 23.78  | 13.28 | 62.94 | 0.00   | 62.67 | 15.00 | 22.33 |
| 25  | 1.35   | 98.65    | 0.00   | 100.00 | 0.60   | 30.33 | 69.07  | 1.11  | 21.45  | 29.38 | 48.06 | 1.17   | 38.92 | 22.60 | 38.29 |
| 26  | 14.69  | 85.31    | 0.08   | 99.92  | 1.40   | 33.17 | 65.43  | 10.36 | 17.45  | 19.34 | 52.85 | 10.99  | 33.13 | 15.66 | 51.11 |
| 27  | 5.25   | 94.75    | 0.03   | 99.97  | 0.59   | 11.03 | 88.38  | 2.04  | 10.77  | 51.78 | 35.39 | 5.37   | 51.30 | 64.00 | 1.58  |
| 28  | 22.82  | 77.18    | 0.14   | 99.86  | 0.10   | 35.53 | 44.37  | 17.43 | 17.09  | 15.67 | 49.81 | 16.52  | 28.88 | 11.37 | 43.13 |
| 30  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 42.42 | 57.58  | 0.00  | 24.28  | 19.81 | 55.91 | 0.00   | 43.25 | 15.12 | 41.63 |
| 31  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 43.44 | 56.56  | 0.00  | 21.94  | 17.12 | 60.94 | 0.00   | 41.20 | 13.78 | 45.02 |
| 32  | 0.60   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.00   | 22.66 | 77.34  | 0.00  | 14.67  | 30.01 | 55.50 | 0.00   | 39.10 | 34.24 | 26.61 |
| 33  | 6.57   | 93.43    | 0.03   | 99.97  | 2.67   | 39.31 | 58.02  | 5.53  | 22.81  | 20.20 | 31.46 | 5.93   | 43.76 | 16.64 | 22.96 |
| 34  | 0.00   | 100.00   | 0.00   | 100.00 | 0.10   | 33.88 | 66.12  | 0.00  | 17.97  | 21.02 | 61.00 | 0.00   | 41.69 | 26.80 | 37.51 |
| 36  | 22.61  | 77.39    | 0.14   | 99.86  | 0.20   | 35.76 | 64.14  | 16.22 | 16.09  | 14.42 | 53.07 | 19.70  | 35.33 | 13.77 | 31.00 |
| 37  | 15.70  | 84.30    | 0.09   | 99.91  | 0.03   | 19.55 | 80.42  | 10.73 | 16.70  | 39.45 | 33.17 | 11.52  | 32.05 | 32.07 | 24.36 |
| 38  | 22.62  | 77.07.00 | 0.13   | 99.86  | 4.55   | 16.42 | 79.03  | 13.19 | 13.37  | 38.68 | 34.76 | 17.42  | 31.61 | 39.17 | 11.80 |
| 39  | 30.01  | 69.99    | 0.20   | 99.80  | 9.04   | 21.73 | 69.18  | 22.72 | 15.36  | 29.28 | 33.64 | 25.86  | 31.28 | 25.57 | 17.29 |

TABLA 6.5.- RANGO, VALOR PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR DE LOS APORTES DE ELEMENTOS POR DIFERENTES FACTORES EN CADA REGION ESTUDIADA .

| Elem      | REGION A      |       |         | REGION B      |       |         | REGION C      |       |         |
|-----------|---------------|-------|---------|---------------|-------|---------|---------------|-------|---------|
|           | Rango         | X     | Desv St | Rango         | X     | Desv St | Rango         | X     | Desv St |
| Fe Hidrot | 3.53 - 65.74  | 25.03 | 23.01   | 0 - 9.0       | 1.11  | 4.72    | 0 - 30.0      | 10.79 | 11.95   |
| Fe Det    | 34.26 - 96.47 | 71.39 | 18.46   | 90.0 - 100.0  | 99.00 | -       | 70.0 - 100.0  | 89.13 | 10.90   |
| Al Hidrot | 0.017 - 0.089 | 0.24  | 0.24    | 0             | -     | -       | 0.007 - 0.14  | 0.07  | 0.06    |
| Al Det    | 99.0 - 99.89  | 99.60 | 0.37    | 100           | -     | -       | 99.86 - 99.99 | 99.93 | 0.07    |
| Ni Hidrot | 0.63 - 15.31  | 9.33  | 9.04    | 0             | -     | -       | 0 - 9.04      | 1.46  | 2.64    |
| Ni Det    | 13.56 - 50.34 | 22.00 | 9.86    | 14.47 - 51.88 | 24.41 | 12.22   | 11.03 - 43.4  | 29.60 | 10.33   |
| Ni Autig  | 46.19 - 83.35 | 68.60 | 13.26   | 48.12 - 85.5  | 75.39 | 12.10   | 56.5 - 88.4   | 68.89 | 9.78    |
| Cu Hidrot | 1.92 - 100.0  | 39.44 | 36.00   | 0             | -     | -       | 0 - 22.7      | 7.64  | 7.95    |
| Cu Det    | 11.86 - 52.11 | 31.61 | 11.20   | 15.66 - 27.26 | 22.09 | 3.71    | 10.77 - 24.28 | 17.69 | 3.94    |
| Cu Autig  | 22.79 - 85.0  | 59.50 | 25.30   | 13.28 - 75.85 | 49.64 | 23.00   | 14.62 - 51.78 | 26.63 | 11.10   |
| Cu Biog   | -             | -     | -       | 29.53 - 62.94 | 29.96 | 20.48   | 33.12 - 61.0  | 46.10 | 10.30   |
| Zn Hidrot | 1.08 - 100.0  | 35.10 | 35.10   | 0             | -     | -       | 0 - 25.86     | 6.65  | 8.97    |
| Zn Det    | 0.0 - 30.4    | 20.90 | 20.90   | 28.12 - 62.67 | 37.22 | 12.02   | 28.98 - 43.76 | 32.26 | 5.23    |
| Zn Autig  | 4.0 - 100.0   | 22.10 | 22.10   | 15.0 - 48.37  | 32.38 | 10.61   | 11.37 - 64.0  | 25.00 | 14.60   |
| Zn Biog   | 0.0 - 76.5    | 35.15 | 35.15   | 17.05 - 42.44 | 29.44 | 29.25   | 1.58 - 45.02  | 30.17 | 14.40   |

regiones estudiadas. (Fig. 6-6).

En practicamente todas las estaciones de la region B, no se obtuvieron elementos de origen hidrotermal, observándose que para el caso del Fe y el Al, predomina el origen detrítico. En el caso del Cu y el Ni predomina el origen autigénico, aunque el Cu de origen biogénico juega un papel importante. El origen del Zn es predominantemente de origen autigénico y biogénico aunque tambien hay un considerable aporte de Zn de origen detrítico. En la region C, se observa un patron diferente en la distribución de los metales de la Depresión Mimar, en está es evidente una contribución importante de Fe, Cu y Zn de origen hidrotermal; en el caso del Ni, hay una contribución importante de origen autigénico, asi como un aporte de Cu biogénico importante. En el resto de la región C, es dificil particularizar, pues según el modelo hay diferencias muy marcadas. Solo se aprecian metales de origen hidrotermal en las estaciones 26 y 28, en el resto de las estaciones se observan aportes en orden decreciente de Cu y Zn de origen biogénico, detrítico, y autigénico.

Si se analizan los datos obtenidos por regiones (Tabla 6-5), las diferencias de los aportes de cada factor, son más evidentes, aunque la dispersión de los datos sea grande. En el caso del Fe se observa un valor promedio de  $Fe_H$  para la región A de 24.03 % el cual está muy por encima del valor del  $Fe_H$  en B (1.11 %) y de C (10.79 %), esto mismo se observa para Ni, Cu y Zn de origen hidrotermal, esto es: valores altos en A, menores en C, y practicamente ausentes en B. En la región B predominan el Ni y



el Cu de origen autigénico y el Zn de origen detrítico y autigénico .

Si se analizan los datos de mineralogía de arcilla en los sedimentos superficiales (Tabla 5-1-2) , se observa que los valores más altos de montmorillonita y los más bajos de illita, estan en las muestras donde se detectó, el mayor aporte de elementos hidrotermales ( estaciones 11, 13 y 15 ) , se ha reportado(A. Betejtin, 1970) que la montmorillonita se forma por la descomposición de cenizas volcánicas en el fondo de los oceanos. El valor más alto de caolinita corresponde también a la muestra 13 , Betejtin (1970) reportó que fenómenos de caolinización se llevan a cabo en los procesos hidrotermales y en la meteorización de rocas metamórficas.

La aplicación del modelo de Dymond en el area de estudio , permite clasificarla en tres regiones que son : a)Region 1 : donde es evidente la importancia de los aportes hidrotermales; b) Region 2: donde no se observa un aporte hidrotermal y c) Region 3: que corresponde con la Depresión Mimar, donde posiblemente por efectos de circulación es posible observar la influencia de aportes hidrotermales.

Cabe señalar , sin embargo que analizando las bases del modelo el señala, que el origen del hierro es unicamente detrítico o hidrotermal, con lo cual no se puede estar de acuerdo, pues en el área de nódulos polimetálicos se encontraron concentraciones importantes de Fe , el cual se presenta en concentraciones altas en los nódulos, por lo que sería quizás recomendable referir los

calculos a la concentración de algún otro elemento como el Zn, el cual se reportó como un constituyente importante en sedimentos metalíferos recolectados en la región A (Carranza-Edwards, 1986). La aplicación del modelo de Dymond al área de estudio comprendida en el presente trabajo, permite señalar lo siguiente:

- a) el modelo se ajusta bien a los datos únicamente en la región A, en la cual el factor hidrotermal debe ser importante.
- b) se aprecian tres regiones bien diferenciadas, donde predominan el factor hidrotermal y/o el factor autigénico y/o el factor detrítico y/o el factor biogénico.
- c) el modelo no funciona con los datos de Mn, posiblemente debido a que la partición de Mn no está en función de la partición de Fe. Actualmente se sabe que la composición mineralógica del nódulo es la que determina los metales asociados a él, así si el mineral de manganeso más importante que constituye al nódulo es la todorokita existe un enriquecimiento en la concentración de Ni y Cu; en tanto que en los nódulos cuya fase principal es  $\delta$   $MnO_2$  contienen mayor cantidad de Pb y Co. Sin embargo, los nódulos que tienen una concentración mineralógica similar han mostrado grandes variaciones en su composición química, esto es lo que sucede en el área del Pacífico Tropical norte donde la densidad de nódulos es alta, aparentemente el contenido de Fe y Mn está determinado por el grado de influencia diagenética. Es por esto que es muy importante el estudio de la relación nódulo-sedimento.

La cantidad de impurezas de aluminio-silicatos en los nódulos, se pueden estimar a través del contenido de Al, ya que este no se

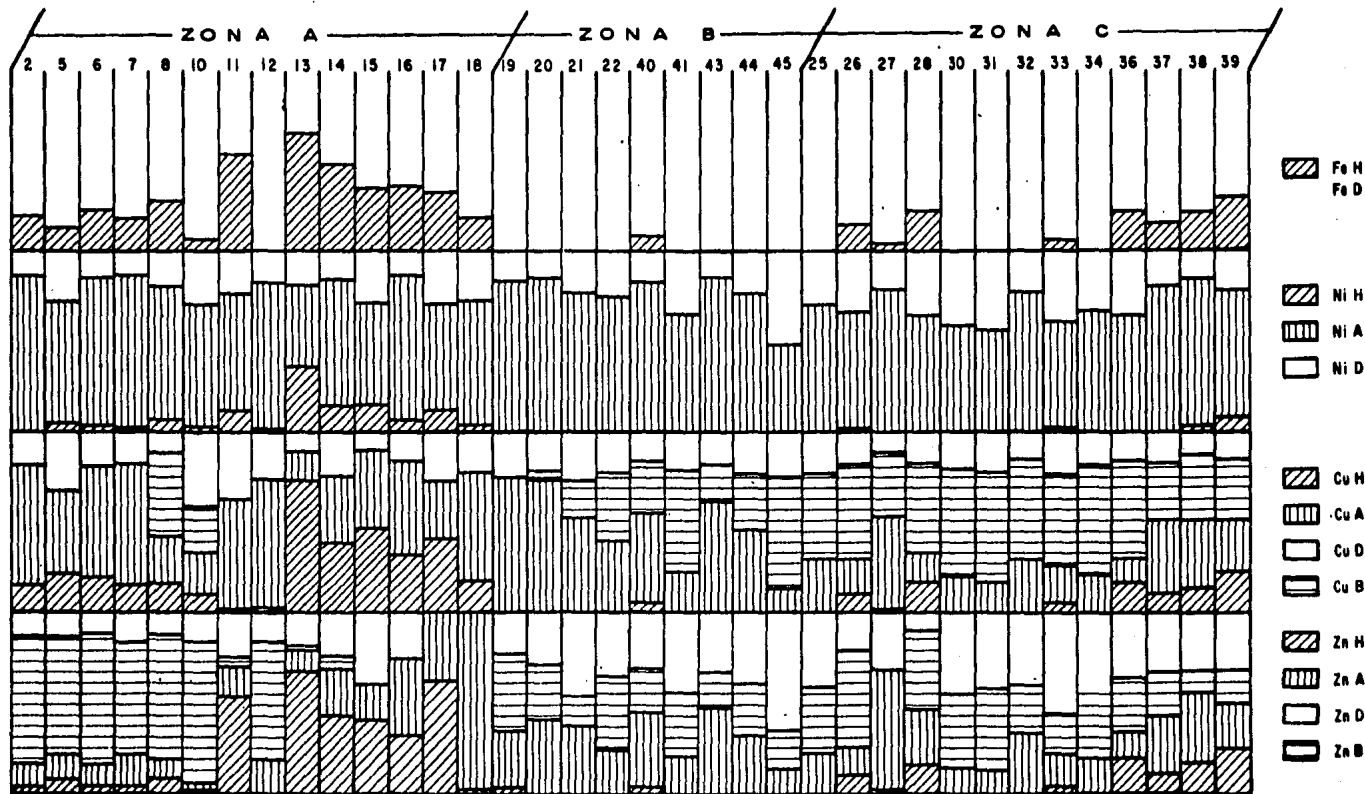


FIGURA 6-6.- CONTRIBUCION DE METALES A LOS SEDIMENTOS POR LOS DIFERENTES FACTORES ESTUDIADOS . (H = HIDROTHERMAL, A = AUTIGENICO, D = DETRITICO, B = BIOGENICO )

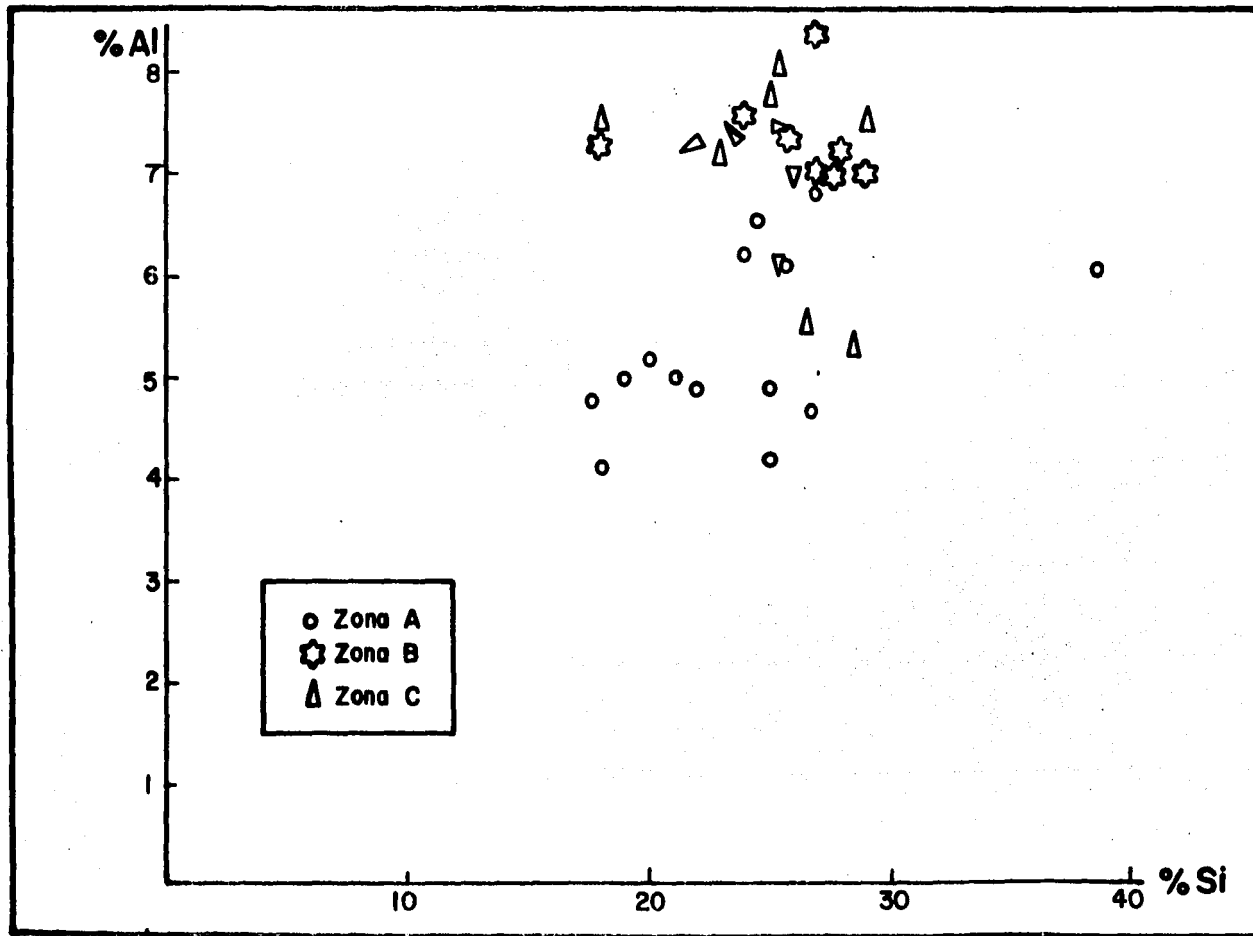
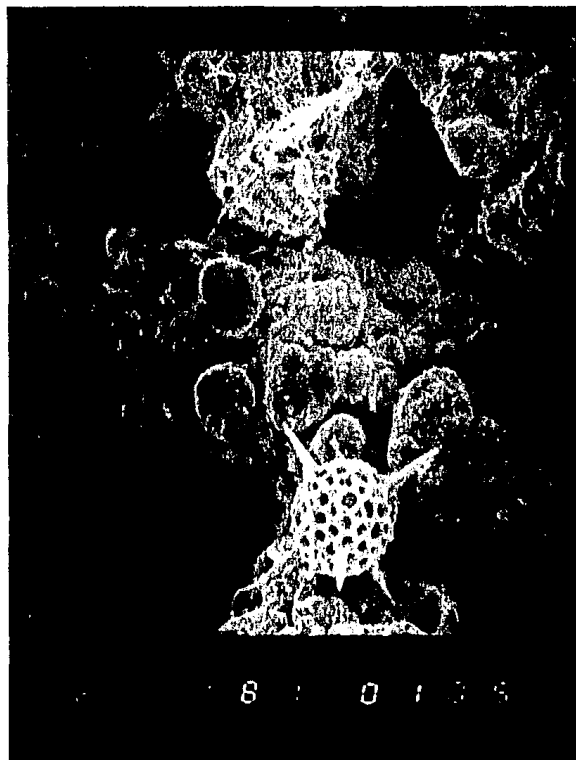


FIGURA 6-7. - RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE SILICE Y ALUMINIO

asocia con la fracción de óxidos de las arcillas pelágicas (Goldberg y Arrhenius, 1958) . Si se analiza la relación entre Si y Al tanto en nódulos como sedimentos (Fig. 6-7) se observan grandes variaciones, las cuales tienen su origen en la presencia de material biogénico en algunas áreas; la correlación alta Si:Al en sedimentos superficiales (Tabla 5-1-8) sugiere una relación del tipo de aluminosilicatos; sin embargo en las estaciones 26, 28 y 39 , se encontraron los valores más bajos de Al y los más altos de Si de las regiones B y C , lo que indica un aporte biogénico. De esas tres estaciones de muestreo , únicamente en la estación 39 se localizaron nódulos en la superficie, el contenido de sílice en los nódulos no es significativamente más alto, la observación al microscopio electrónico del nódulo 65 ubicado en la estación 39, muestra organismos silicoflagelados (Fig. 6-8). En general los nódulos del presente estudio muestran impurezas de aluminosilicatos de 1 a 7 % , calculados a partir del contenido de Al y asumiendo una composición similar a los aluminosilicatos presentes en los sedimentos. Estos valores son significativamente más bajos a los valores reportados (26 a 33 %) como fracción insoluble en ácidos, atribuida a los aluminosilicatos (Riley y Sinhanseni, 1958) de tres nódulos del Océano Pacífico .

Un análisis de la relación Mn/Fe nódulos a Mn/Fe sedimentos, da una idea del grado de enriquecimiento diagenético de Mn y de elementos menores asociados a él en los nódulos ; este grado de enriquecimiento varía de un área a otra. Cuando no existe un



**FIGURA 6-8. - OBSERVACION EN EL MICROSCOPIO ELECTRONICO DEL NODULO 05 UBICADO EN LA ESTACION 39 ; Y DEL NODULO 2 UBICADO EN LA ESTACION 19 .**

aporte diagenético de metales hacia el nódulo, la relación Mn/Fe nódulos es muy similar al valor de esta relación en los sedimentos asociados; por el contrario, cuando existe un aporte diagenético de metales a los nódulos, el valor de la relación Mn/Fe aumenta para los nódulos. En la figura 6-9 se muestra la relación para los nódulos del presente estudio, el valor de la relación Mn/Fe es mucho más alto para los nódulos que para los sedimentos asociados, contrariamente a lo que sucede con nódulos del área central oeste del Pacífico (Calvert y Price, 1977). Price y Calvert (1970) propusieron que en base a los valores de la relación Mn/Fe en nódulos y sedimentos se puede explicar el origen de los nódulos. Si el valor de la relación Mn/Fe en el nódulo es muy similar a la relación en sedimentos de tal modo que  $Rel_{nod}/Rel_{sed} = 1.0$  los nódulos se originaron por precipitación directa a partir del agua de mar y tendrán concentraciones relativamente altas de Co, Pb, Ti y Ce, y bajas concentraciones de Cu, Ni, Zn y Mo, su fase mineral principal sería  $\delta$   $MnO_2$ . Por otro lado, si el valor de la relación  $Rel_{nod}/Rel_{sed} > 1.0$ , los metales se originaron como consecuencia de la removilización de metales por la diagenesis post-deposicional, este material se caracteriza por tener un valor alto de la relación Mn/Fe, altas concentraciones de Cu, Ni, Mo y Zn y bajas concentraciones de Co, Pb, Ce y Ti, el principal mineral que lo constituye es la todorokita. Aunque se han reportado nódulos característicos de estos dos grupos, lo más frecuente es encontrar gradaciones de composición entre los dos. Los nódulos estudiados durante el

presente trabajo por el alto valor que presentan de la relación  $(\text{Mn}/\text{Fe})_{\text{nod}} / (\text{Mn}/\text{Fe})_{\text{sed}}$  se consideran principalmente de origen diagenético .

Si se analiza la concentración de Fe y Mn en sedimentos en relación a su abundancia en los nódulos, no se observa ninguna coorelación en el caso de Fe y una coorelación significativa a una probabilidad de 99.5 % para el Mn (Fig. 6-10) Las estaciones con la mayor concentración de Fe en el agua intersticial (8, 10, 15 y 17) son las que tienen la menor concentración en sedimentos; las estaciones donde se ubican los nódulos con las concentraciones más altas de Fe (20, 27 y 45) muestran concentraciones bajas de Fe en sedimentos .

Las estaciones con los nódulos más ricos en Mn corresponden a valores intermedios de Mn en los sedimentos , y valores de bajos a intermedios en agua intersticial, es aparente un equilibrio de concentración de Mn en el sistema sedimento / agua intersticial / nódulo en las regiones B y C ; en tanto en la region A, el Mn presente en el agua intersticial puede ser una consecuencia de un aporte de agua de fondo.

El análisis de la concentración de Fe y Mn en los sedimentos, en el agua intersticial y en los nódulos, sugiere mecanismos de aporte diferentes de estos metales, en el caso del Fe es aparente un aporte a partir de la columna de agua , en tanto que el aporte de el Mn es a partir de los sedimentos .

El estudio de la composición química de nódulos superficiales y sepultados no mostró diferencias significativas en su composición,



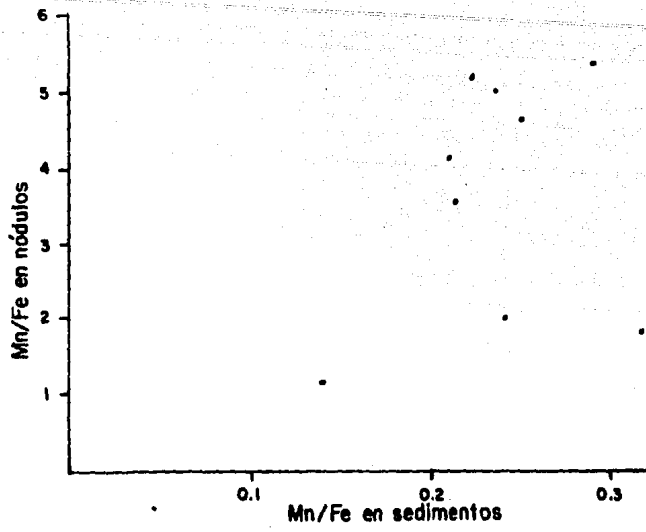


FIGURA 6-9. - RELACION ENTRE Mn/Fe EN NODULOS Y Mn/Fe EN SEDIMENTOS.

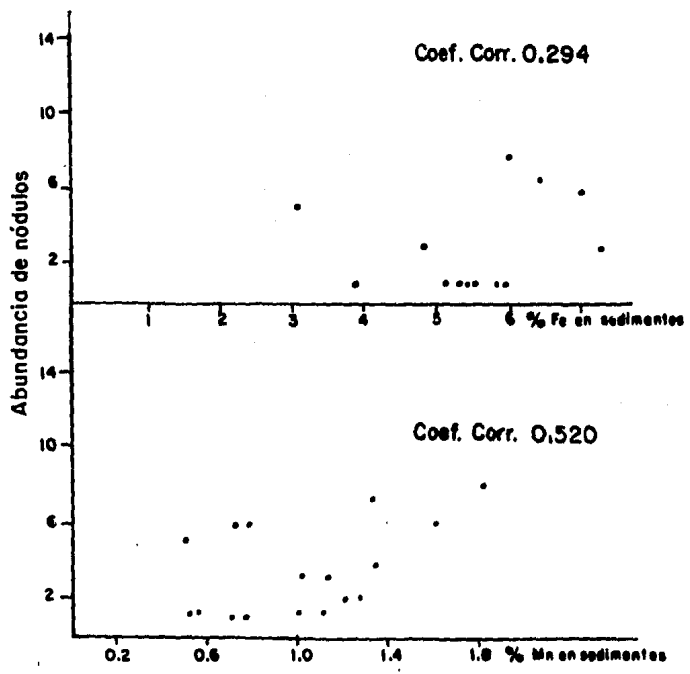


FIGURA 6-10. - RELACION ENTRE ABUNDANCIA DE NODULOS Y CONCENTRACION DE METALES EN SEDIMENTOS. (SIGNIFICATIVO AL 99.5 % VALORES MAYORES A 0.497).

así como tampoco se observaron diferencias en cuanto a peso y tamaño en función al nivel. El factor determinante en la composición del nódulo lo constituye la posición geográfica, que a su vez determina los procesos químicos que se llevan a cabo .

El análisis químico de las rocas de Isla Clarion, permite vislumbrar la importancia de la composición de las rocas en los sedimentos adyacentes, ya que la alta concentración de Ti en las rocas se refleja en los sedimentos cercanos a la isla ya que muestran los valores más altos de Ti observados en el área de estudio .

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7-1.- Conclusiones .-

1.- Uno de los aportes más relevantes de esta tesis es que contribuyó al conocimiento de sedimentos y nódulos polimetálicos de un sector del Pacífico Mexicano dentro de la Zona Económica Exclusiva .

2.- La composición química de los sedimentos es diferente para cada una de las regiones estudiadas. La Región A, presenta la mayor concentración de materia orgánica, Fe y Zn en los sedimentos, así como valores bajos de Al, Co y Mn, y valores más altos de Mn en el agua intersticial, lo que se atribuye a la actividad hidrotermal presente en esta área . La Región C presenta los valores de concentración más altos de Fe, Cu, Ni, Ti y Mn esto está aparentemente en función de los procesos de vulcanismo y a la formación de nódulos polimetálicos.

3.- En base a su composición química, los nódulos se clasificaron en nódulos de tres tipos : nódulos tipo A , que son los más ricos en Mn, Ni y Cu , y se presentan en la Depresión Mimar. Nódulos tipo B, que son los más ricos en Fe y Co, se presentan principalmente al norte de la Región C . Nódulos tipo AB, que son de transición entre A y B y se presentan principalmente en la Región B .

4.- El uso de la concentración de metales en los sedimentos y la relación entre estos para explicar el origen de los metales en los mismos (Dymond, 1981) permitió mostrar que en la Región A la actividad hidrotermal de la Dorsal es importante, asimismo se observa algo de influencia hidrotermal en la Depresión Mimar , localizada a 240 Km al SW de la Isla Clarión. Por otro lado, en la Región B , y en el norte de la Región C los principales aportes de metales son detríticos y biogénicos sin que se observe un aporte hidrotermal. .

5.- De acuerdo a el análisis de correlación de los nódulos la densidad de los nódulos está en función de la concentración de metales tales como Mn, Cu, Ni y Zn .

6.- Los procesos que estan dando lugar a los nódulos polimetálicos son principalmente de tipo hidrogénico en los nódulos tipo B localizados al norte de la Región C, y fundamentalmente diagenéticos en los nódulos tipo A localizados en la Depresión Mimar, sin olvidar que en está última el Zn el Fe y el Cu reflejan cierta influencia hidrotermal .

7.- La composición de los nódulos está en función de su posición geográfica , y es independiente del nivel en que se localizan dentro de la columna de sedimentos .

8.- El comportamiento químico de los nucleos de sedimento es

diferente en las regiones estudiadas; el núcleo 5 refleja los procesos hidrotermales por su alta concentración de Zn en los niveles superficiales, alta concentración de materia orgánica y bajos valores de Mn; en tanto que en el resto de los núcleos se observaron correlaciones altas del Mn con Cu y Ni , lo que sugiere mecanismos de incorporación similares de estos metales a los sedimentos. Por otro lado el agua intersticial del núcleo 5 fué la única que presentó concentraciones apreciables de Mn a lo largo del núcleo , lo que es un reflejo de la actividad hidrotermal .

9.- Las rocas de Isla Clarion muestran una composición diferente respecto a rocas procedentes de otras áreas hidrotermales. Los valores más altos de Ti de las rocas alcalino-toleíticas ubicadas en la parte litoral de la Isla se reflejan en los valores más altos de Ti en los sedimentos colectados en las estaciones más cercanos a la Isla Clarion.

10.- En la Depresión Mimar se encuentran localizados los nódulos con la concentración más alta de Mn, Cu y Ni, además es una de las zonas donde se encontró mayor abundancia de nódulos , por lo cual se estima que este es uno de los sitios de mayor potencial de nódulos en el área de estudio .

## **7-2.- RECOMENDACIONES .**

- 1.- Realizar un muestreo más denso de las áreas donde se ubicó el potencial más rico en nódulos, como es la Depresión Mimar, que permita cuantificar en detalle el potencial de los nódulos polimetálicos de esta área .**
  
- 2.- Realizar estudios químicos detallados de los nódulos, como sería la determinación de la mineralogía y la química de cada una de las capas que constituyen los nódulos, las cuales pueden ser muy variables, lo que refleja el proceso de incorporación del metal al nódulo, las tasa de sedimentación fluctuantes del oceano, así como la edad del nódulo.**
  
- 3.- Finalmente, se propone efectuar estudios de especiación de metales en los sedimentos , ya que dependiendo de la fase química en que se presenta el metal , será el proceso de fijación de este al nódulo, lo que permitirá profundizar sobre los mecanismos de incorporación de metales.**

## LITERATURA CITADA

- Agemian, H. y A.S.Y. Chau, 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. The Analyst, 101:761-767 .
- Ahrrenious G.O. 1952. Sediment cores from the East Pacific Rise Swedish deep sea exped. (1947-1948) Fasc. 1(5), 277p.
- Akira Usui, 1979. Minerals, metal contents and mechanism of formation of manganese nodules from the central Pacific basin. In: J.L. Bischoff and D.Z. Piper (Eds.) Marine geology and oceanography of the Pacific manganese nodule province. Plenum Press. New York:651-697.
- Anderson, R.N., D.A. Clague, K.D. Klitgard, M. Marshall, R.K. Nishimori, 1975. Magnetic and petrologic variations along the Galapagos spreading center and their relation to the Galapagos melting anomaly. Geol. Soc. Am. Bull:683-694.
- Arcyana. 1977. Rocks collected by bathyscaph and diving saucer in the Famous area of the mid-Atlantic rift valley: petrological diversity an structural setting. Deep Sea Res. 24:565-589.
- Armienta M. A. y F. Juarez. 1986. Metodos cuantitativos via humeda para el analisis de rocas ..Serie Investigación No 23 . Instituto Geofísica , UNAM . 32 p.
- Bagander, L.A. y L. Niemisto, 1978. An evalation of the use of redox measurements for characterizing recent sediments. Estuarine and Coastal Marine Science, 6:127-134.
- Ballard, R.D., R.T. Holcomb y T.H. Van Andel, 1979. The Galapagos rift at 86°W :sheet flows, collapse pits and lava lakes of the

- rift valley. J. Geophys Res. **84**,B10:5407-5422.
- Bender, M., W. Broecker, V. Gomitz, U. Middel y R. Kay, 1971. Geochemistry of three cores from the East Pacific Rise. Earth and Planet Sci Letters, **12**:425-433.
- Betejtin, A., 1970. Curso de Mineralogia. Editorial Mir. Moscú, 739p.
- Bischoff, J.L. Y D.Z. Piper (Eds.), 1979. Marine Geology and Oceanography of the Pacific Manganese Nodule Province. Plenum Press. New York, 842p.
- Bonatti, E., 1966. Deep sea authigenic calcite and dolomite. Science **153**:534-537.
- Bonatti, E., 1981. Metal deposits in the oceanic lithosphere. In: C. Emiliani (Ed.), The Sea, John Wiley and Sons. New York, **17**: 639-686.
- Bonatti, E., T. Kraemer, y H.S. Rydel, 1972. Classification and genesis of submarine iron manganese deposits. In: Ferromanganese deposits on the ocean floor. IDOE, Columbia University, New York:149-166.
- Bostrom, K., M.N.A. Peterson, O. Joensu y D.E. Fisher, 1969. Aluminium poor ferromanganoan sediments on active oceanic ridges. J. Geophys Res. **74**:3262-3270.
- Bostrom, K., O. Joensuu, S. Valdez y M. Riera, 1972. Geochemical history of south atlantic ocean sediments since late cretaceous. Mar. Geol., **12**:85-121.
- Burns, R.G. y V.M. Burns, 1975. Mechanism for nucleation and growth of manganese nodules, Nature, **255**:130-131.



- Burns, R.G. y V.M. Burns, 1977. In: G.P.Glasby (Ed) Marine manganese deposits, Elsevier Amsterdam :185-248.
- Bryan W.B. y J.G.Moore, 1977. Compositional variations of young basalts in the mid-atlantic rift valley near 36°49'N. Geol. Soc. Am. Bull., 88:556-570.
- Byerly G.R., W.G.Melson y P.R.Vogt, 1976. Rhydacites, andesites, ferrobasalts and ocean tholeites from the Galapagos spreading center. Earth Planet Sci Lett., 30:215-221.
- Calvert S.E. y N.B.Price, 1977. Geochemical variation in ferromanganese nodules and associated sediments from the Pacific Ocean. Marine Chemistry, 5:43-74.
- Callendar E. y C.J.Bowser, 1980. Manganese and copper geochemistry of interstitial fluids from manganese nodule-rich pelagic sediments of the northeastern equatorial Pacific Ocean. Am. J. Sci., 280:1063-1096.
- Campbell A.C.y J.M.Gieskes, 1984. Water column anomalies associated with hydrothermal activity in the Guaymas basin, Gulf of California. Earth and Planet Sci Lett., 68:57-72 .
- Carranza-Edwards A. , 1986 . 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, 1986). Inst. Cienc. del Mar y Limnol. ,Univ. Nal. Auton. Mexico.
- Carranza-Edwards A., 1987 . Investigacion sobre origen procesos y distribucion de minerales del piso oceanico del Pacifico 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.  
 Nal. Auton. Mexico.
- Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz, M. G. Villaseñor-Cabral ,  
 R. Lozano-Santa Cruz, y Y. Hornelas-Drozco, 1986. Sulfuros  
 metálicos submarinos al sur de la península de Baja California,  
 México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., 13(1):287-296.
- Carranza-Edwards, A., A. Z. Marquez-García 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 .
- Carrit, D.E. y J.H. Carpenter, 1966. Composition and evaluation of  
 currently employed modifications of the Winkler method for  
 determining dissolved oxygen in sea water. J. Mar. Res.,  
 24(3):286-318.
- Cline, J.D., 1969. Spectrophotometric determination of hydrogen  
 sulfide in natural waters. Limnol. and Oceanography 14:454-458.
- Corliss, J., 1971. The origin of metal bearing submarine  
 hydrothermal solutions. J. Geophys Res., 76:8128-8138.
- Cronan, D.S., 1972. The mid-Atlantic ridge near 45°N XVII.  
 Al, As, Hg and Mn in ferruginous sediments from the median  
 valley. Can. J. Earth Sci., 9:319-323.
- Cronan, D.S., 1976. Manganese nodules and other ferromanganese  
 oxide deposits. In: J. P. Riley and R. Chester (Eds) .  
Chemical Oceanography. Academic Press. London. 5:217-263.

- Cronan, D.S., 1980. Underwater Minerals, Academic Press. London. 362p.
- Cronan D. S. and J. S. Tooms, 1969. The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Oceans. Deep Sea Res., 16:335-359.
- Dymond, J., 1981. Geochemistry of Nazca plate surface sediments: an evaluation of hydrothermal, biogenic, detrital and hydrogenous sources. Geol. Soc. of Am. Memoir 154:133-173.
- Dymond, J., J. B. Corliss, G. Ross Heath, C. W. Field, E.J. Dasch H. H. Veeh, 1973. Origin of metalliferous sediments from the Pacific Ocean. Geol. Soc. of Am. Bull., 84:3355-3372.
- Dymond, J., M. Lyle, B. Finney, D. Z. Piper, K. Murphy, R. Conrad y M. Pisiás, 1984. Ferromanganese nodules from manop sites H, S, and R-control of mineralogical and chemical composition by multiple accretionary processes. Geochim et Cosmochim Acta 48:931-949.
- Dymond, J., y H.H. Veeh, 1975. Metal acumulation rates in the southeast Pacific and the origin of metalliferous sediments. Earth and Planetary Sci. Letters, 28:13-22.
- Edmond J. M., K.L.Von Damn, R.E.McDuff y C.I.Measures, 1982. Chemistry of hot springs on the East Pacific Rise and their effluent dispersal. Nature, 297:5863, 187-191.
- Fletcher W.K. , 1981. Analytical methods in geochemical prospecting. Elsevier Science Publisher, New York. 255p.
- Fornary D. J., A.D. Saunders y M. Perfit, 1982. Major-element chemistry of basaltic glasses recovered during deep sea

- drilling project. Leg 64 . En: J. Blakeslee, L.W. Platt y L. N. Stout (Eds.) . Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project Vol. LXIV Part 2:643-649 .
- Froelich P.N., G.P.Klinkhammer, M.L.Bender, N.A.Luedtke, G.R.Heath D.Cullen , P. Dualphin, D.Hammond, B.Hartman y V.Maynard, 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the Eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. Geochemistry Cosmochim. Acta. 43:1075-1090.
- Gaudette H.A. , W.R.Flight, L.Toner y D.W.Folger. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Jour. Sedim. Petrol. 44:249-253.
- Gieskes J.M. ,H. Elderfield , J.R. Lawrence , J. Johnson , B. Meyers y A. Campbell . 1982. Geochemistry of interstitial waters and sediments, Leg 64, Gulf of California . En: J. Blakeslee , L. W. Platt y L. N. Stout (Eds.) Initial Reports of The Deep Sea Drilling Project . Vol LXIV Part 2:675-694.
- Glasby G. P., 1973 . Distribution of manganese nodules and lebensspuren in underwater photographs from the Carlsberg Ridge, Indian Ocean . N.Z.J. Geol. Geophys. 16:1-17.
- Glasby G. P., 1977 . Marine Manganese Deposits. Elsevier Oceanography Series. Amsterdam. 523 p..
- Grant J. B., 1967 . A comparison of the chemistry and mineralogy with the distribution and physical aspects of marine manganese concretions of the southern oceans Contr. Sediment. Res. Lab. Flo. St. Univ.: 19-99 .
- Greenslate J.L., J.Z. Frazer, G. Arrhenius, 1973 . Origin and

- Greenslate J.L., J.Z. Frazer, G. Arrhenius, 1973. Origin and deposition of selected transition elements in the seabed . En: M. Morgenstein (Ed) Papers on the origin and distribution of manganese nodules in the Pacific and prospects for exploration. Hawaii Inst. of Geophysics: 45-70 .
- Goldberg E. D. 1954. Marine Geochemistry I. Chemical scavengers of the sea. J. Geol. 62: 249-265 .
- Grupo Cyamex, 1979. Massive deep sea sulphide ore deposits discovered on the East Pacific Rise. Nature. 277: 253-528 .
- Grupo Cyamex. 1980. Naissance d'un ocean sur la dorsal du Pacifique Est . CNEXO. Imprimerie Strasbourg, 84 p.
- Gurikova Z. F., 1966. Calculation on surface and deep ocean currents in the north Pacific in summer. Oceanology Academy of Sciences, USSR , 6 , 4 , 504-519 .
- Halback P. y D. Puteanus, 1984. The influence of the carbonate dissolution rate on the growth and composition of Co-rich ferromanganese crusts from central Pacific seamounts areas. Earth and planetary Sci Let. 68: 73-87 .
- Heath G.R., 1981. Ferromanganese nodules of the deep sea . Economic Geology. 75 Anniversary Volume: 736-765 .
- Heath G. R. y Dymond J. R., 1977. Genesis and diagenesis of metalliferous sediments from the East Pacific Rise, Bauer deep and central basin, northwest Nazca plate. Geological Soc. of Am. Bull. 88: 723-733 .
- Hekinian R. H. , M. Fevrier, J.L. Bischof, P. Picot y N. C. Shanks, 1980. Sulfide deposits from the East Pacific Rise near

21<sup>o</sup> N. Science, 207 (4438): 1433-1444 .

Hesse P. R., 1971. A textbook of soil chemical analysis. John Murray LTD. New York : 204-215 .

Hidalgo J.L., 1987 . Estudios petrograficos, geoquimicos paleomagneticos y geocronometricos en la isla Clarion Mexico Tesis profesional, Facultad de Ingenieria. UNAM .

Horn D.R., M. Ewing, B. M. Horn y M. N. Delach, 1972a . World wide distribution of manganese nodules. Ocean Ind. ,7(1):26-29 .

Horn D. R., M. Ewing, B.M. Horn y M.N. Delach, 1972b . World wide distribution of ferromanganese deposits in the world ocean. En: D. R. Horn (Ed.). Ferromanganese deposits on the ocean floor. National science foundation . Washington D.C. 9-17 .

Horn D. R., B. M. Horn y M. N. Delach, 1972 . Ferromanganese depositsof the north Pacific. Tech. Rep. Off. Int. Decade Ocean Explor. 1: 78p. .

Horn D. R., Horn B. M y M. N. Delach. 1973 .Factors which control the distribution of ferromanganese nodules and proposed research vessel's track north Pacific. Tech Rep. Off Int. Decade Ocean Explor.,8: 20p. .

Horne R. A., 1969 . Marine Chemistry. Wiley Interscience, London, 568 p. .

Huh Chih-An , 1979. On the abyssal circulation of the northern Pacific . Acta oceanographica Taiwanica, 10: 1-9 .

Jackson M. L., 1958. Soil chemical Analysis . Prentice Hall Publ. New York, 602p. .

Johnson C. E. y Glasby G. P., 1968 . Mossbauer determination of

particle size in microcrystalline iron-manganese nodules .  
Nature, 222: 376-377.

Juteau T., J. P. Eissen, J. Francheteau, D. Niedham, P. Choukroune, C. Rangin, M. Seguret, R. D. Ballard, P. J. Fox, W. R. Normark, A. Carranza, D. Cordoba, J. Guerrero.. 1980. Homogeneous basalts from the East Pacific Rise at 21°N: steady state magma reservoirs at moderately fast spreading centers. Oceanologica Acta. 3(4): 487-503 .

Klinkhammer G. P. y M. L. Bender. 1980. The distribution of manganese in the Pacific ocean . Earth and Planetary Science Letters, 46: 361-384 .

Klinkhammer G. P., 1980 . Early diagenesis in sediments from the eastern equatorial Pacific II. Pore water metal results. Earth and Planet Sci. Lett., 49 : 81-101. .

Klinkhammer G. P., D. Heggie y D. Graham, 1982 . Metal diagenesis in oxidative marine sediments. Earth and Planet Sci Lett. 61: 211-219 .

Krauskopf K. B., 1956 . Factors controlling the concentration of thirteen rare metals in sea water . Geochim. Cosmochim Acta. 9: 1-32 .

Krishnaswami s., 1976. Authigenic transition elements in Pacific pelagic clays. Geochim. Cosmochim. Acta. 40: 425-434 .

Krumbein W. C., 1967 . Physical and chemical changes in sediments after deposition . Journal of Sedimentary Petrology 12(3):111-117 .

Larsen G. y G. V. Chilingar , 1983 . Developments in sedimentology

- diagenesis in sediments and sedimentary rocks (2), Elsevier Sci Pub. Inc.. New York: 572p. .
- Li Y. H., J. Bischoff y G. Mathieu , 1969 . The migration of manganese in the Arctic basin sediment . Earth Planet Sci Lett. 7: 265-270 .
- Lopez M., J.Perez, J.Urrutia, S.Pal, y D.J. Terrel , 1978 . Geochemistry and petrology of some volcanic rocks dredged from the Gulf of California . Geochem. Journal.12 :127-132 .
- Loring D. H. y R.T.T. Rantala , 1977 . Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter . Technical report No 700 . Fisheries and marine service . Environment Canada : 58 p. .
- Lozano Santa-Cruz R., Altuzar-Coello P., Carranza-Edwards A. y Rosales-Hoz I., 1988 . Distribución de minerales en la fracción arcillosa de sedimentos del Pacífico central Mexicano. Remitido para su publicación a An. Inst Cienc. del Mar y Limnol. UNAM .
- Lugo-Hubp J., 1985 . Morfoestructuras del Fondo Oceanico Mexicano Boletin del Instituto de Geografia, UNAM, Mexico , No 15: 39p..
- Lupton J. E., G.P. Klinkhammer, W. R. Normark, R. Haymon, K. C. Macdonald, R. F. Weiss y H. Craig , 1980 . Earth and Planetary Science Letters. 50: 115-127 .
- Manheim F. T. y F. L. Sayles , 1974 . Composition and origin of interstitial waters of marine sediments based on deep sea drill cores . En: C. Emiliani (Ed.) The Sea . John Wiley and sons, New York , 5: 527-541 .
- Manual de Perkin Elmer , 1976 . Perkin Elmer Co. 56p.



- MacDougall J. D., 1979. The distribution of total alpha radioactivity in selected manganese nodules from the north Pacific : implications for growth processes. En: Bischoff J. L. y D. Z. Piper (Eds.), Marine Geology and oceanography of the central Pacific manganese nodule province. Pergamon Press. New York : 775-789 .
- McKelvey V. E., N.A. Wright y R. W. Rowland, 1979. Manganese nodule resources in the northeastern equatorial Pacific . En Bischoff J. L. y D. Z. Piper (Eds), Oceanography of the equatorial Pacific manganese nodule province . Plenum Press, New York: 747-762 .
- Meyer K. , 1973 . Surface sediment and manganese nodules facies, encountered on R/V Valdivia cruises 1971/73 . En: M. Morgenstein (Ed). Papers on the origin and distribution of manganese nodules in the Pacific and prospects for exploration . Hawaii Inst. of Geophysics, Honolulu. 125-130 .
- Moody J. R. y R. M. Lindstrom, 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. Anal. Chem., 49: 2264-2267 .
- Moore T. C., 1970 . Abyssal hills in the central equatorial Pacific : Sedimentation and stratigraphy . Deep Sea Res., 17: 573-593 .
- Murray J. W. y P. G. Brewer, 1977. En: G. P. Glasby (Ed.) Marine Manganese Deposits. Elsevier, Amsterdam: 291-326 .
- Piper D. Z., K. Leong y W.F. Cannon , 1979 . Manganese nodules and surface sediment compositions: domes sites A, B and C . En: J.

- L. Bischooff y D. Z. Piper (Eds.) . Marine geology and oceanography of the Pacific manganese nodule province . Plenum Press, New York: 437-474 .
- Pontecorvo G., 1986. The new order of the oceans . Columbia , University Press, New York, 277p. .
- Price N. B. y S. E. Calvert, 1970 . Compositional variation in Pacific ocean ferromanganese nodules and its relationship to sediment accumulation rates. Mar. Geol. , 9: 145-171 .
- Raab W. J., 1972 . En: D. R. Horn (Ed), Ferromanganese deposits on the ocean floor . National science foundation. Washington D. C. 31-50 .
- Raab W. J. y M. A. Meylan , 1977 . En: G. P. Glasby (Ed) , Marine manganese deposits. Elsevier, Amsterdam: 109-146 .
- Rantala R. T. T. y D. H. Loring, 1975 . Multi-element analysis of silicate rocks and marine sediments by atomic absorption spectrophotometry . At. Absorp. Newslett. , 14 : 117-120 .
- Ramirez G., 1987 . Estudio de sedimentos del piso oceanico en un sector del Pacifico Oriental. Tesis profesional, Facultad de Ingenieria, UNAM .
- Reid J. L., 1982 . Evidence of an effect of heath flux from the East Pacific Rise upon the characteristics of the mid-deep waters Geophysical Research Letters , 9(4): 381-384 .
- Report 24, Int. At. En. Ag. , 1985 .Intercomparison of trace element measurements in marine sediments sample SD-N-172. Monaco.
- Riley J.P. y R. Chester, 1976 . Chemical Oceanography. Academic

Press, London, 6: 281-390 .

Riley J. P. y P. Sinhaseni, 1958 . Chemical composition of three manganese nodules from the Pacific ocean. J. Mar. Res., 17: 466-482.

Robins J. A. y J. Gustinis, 1976. A squeezer for efficient extraction of pore water from small volumes of anoxic sediment. Limnology and Oceanography , 21(6): 905-909.

Sawlan J. J. y J. W. Murray, 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments . Earth and Planet. Sci Letters, 64 : 213-230 .

Scott, R. B., P. A. Rona, L. W. Butler, A. J. Nalwalk y M. R. Scott, 1972. Manganese crusts of the Atlantic fracture zone. Nature Phys. Sci., 239 : 77-79.

Spencer D. W., D. E. Robertson, K. K. Turekian y T. R. Folsom, 1970 .Trace element calibrations and profiles at the GEOSECS test station in the northeast Pacific ocean . J. Geophys. Res., 75: 7688-7693 .

Spieß F. N., K. C. MacDonald, T. Atwater, R. Ballard, A. Carranza, D. Cordoba, C. Cox, V. M. Diaz-García, J. Francheteau, J. Guerrero, J. Hawkins, R. Haymon, R. Hessler, T. Juteau, M. Kastner, R. Larson, B. Luyendyk, J. M. MacDougall, S. Miller, W. Normark, J. Orcutt, C. Rangin, 1980 . East Pacific Rise: hot springs and geophysical experiments .Science, 207 (4438): 1421-1433 .

Spock L.E., 1960 . Guide to the study of rocks .Harper and Row Publishers, New York, 298 p

- Stommel H., 1982 . Is the south Pacific helium plume dynamically active ? . Earth and Planetary Science Letters, 61 : 63 - 67 .
- Strickland J. D. H., y T. R. Parsons , 1968. A manual of sea water Analysis . Fish Res. Bd. of Canada , Ministry of Fish, Ottawa, 310 p. .
- Stumm W. y J. J. Morgan . 1970 . Aquatic chemistry . . Wiley Interscience, New York. 583 p. .
- Technicon Multi-Test II. 1974 . Continuous-flow Analytical Instrument, Vol 2 . Tec. Pub. No 990-0228 .
- Van Andel, T. J., Heath R. y T. C. Moore, 1976 . Cenozoic history and paleoceanography of the central Ecuatorial Pacific ocean . Geol. Soc. Amer. Bull., Memoir 143, 134p. .
- Von Dam K. L. y J. Edmond, 1982 . Chemistry of hydrothermal solutions in the Guaymas basin Gulf of California . EOS . Trans. Am. Geophys. Union 63, 1015 .
- Wadsley , A. D., 1950 . A hydrous manganese oxide with exchange properties . J. Am. Chem. Soc. 72 : 1782-1784 .

## AGRADECIMIENTOS

EN LA REALIZACION DEL PRESENTE PROYECTO RECIBI LA AYUDA DE UNA SERIE DE PERSONAS , A TODAS Y CADA UNA DE LAS CUALES QUIERO HACER PATENTE MI AGRADECIMIENTO. ENTRE ELLAS, AGRADEZCO A : SUSANA SANTIAGO, ERNESTO RUIZ Y EDUARDO RODRIGUEZ POR SU AYUDA EN LOS ANALISIS DE LABORATORIO. A HECTOR ALEXANDER POR LOS ANALISIS DE AGUA INTERSTICIAL EN EL AUTOANALIZADOR. A ANTONIO MARQUEZ POR LAS DESCRIPCIONES FISICAS DE LOS NODULOS. A ARTURO MARTIN BARAJAS POR LOS ANALISIS DE RAYOS X DE LOS NODULOS. A PATRICIA FRIAS POR LAS FOTOS DEL MICROSCOPIO ELECTRONICO. A MA. AURORA ARMIENTA POR LOS ANALISIS DE TITANIO EN ROCAS. A DAVID SALAS POR SU ASESORIA EN EL USO DE LA COMPUTADORA, ASI COMO EN LAS DISCUSIONES DE LA CIRCULACION OCEANICA PROFUNDA . A JAVIER OSORIO POR LOS DIBUJOS. A MANUEL URIBE POR SU APOYO EN DIVERSOS ASPECTOS TECNICOS. A LAS AUTORIDADES DEL INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMOLOGIA , DR. AGUSTIN AYALA CASTAÑARES (EX-DIRECTOR), DR JORGE CARRANZA FRAZER (ACTUAL DIRECTOR) Y AL M.en C. RAUL GIO (EXCOORDINADOR DEL PROYECTO) , POR SU ENTUSIASMA APOYO. A CONACYT POR EL APOYO FINANCIERO OTORGADO AL PROYECTO. A CADA UNO DE LOS MIEMBROS DEL JURADO DE ESTA TESIS QUE DIERON SU TIEMPO Y VALIOSOS COMENTARIOS. A LA TRIPULACION DEL B/O EL PUMA Y A LA ARMADA DE MEXICO POR LAS FACILIDADES Y APOYOS BRINDADOS PARA LA REALIZACION DE LA CAMPAÑA OCEANOGRAFICA MIMAR II. EN FORMA MUY ESPECIAL AL DIRECTOR DE ESTA TESIS, EL DR. ARTURO CARRANZA EDWARDS, SIN CUYO APOYO, ESTIMULO Y DISCUSIONES ESTE TRABAJO JAMAS SE HABRIA LLEVADO A CABO. Y FINALMENTE A TODOS AQUELLOS QUE DE UNA U OTRA FORMA APOYARON ESTE TRABAJO.