

107



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

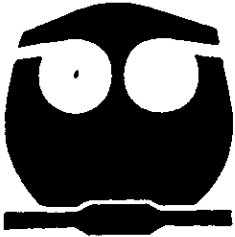
---

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO QUIMICO DE SEDIMENTOS DE LA  
PLATAFORMA CONTINENTAL DE UNA PORCION  
DEL PACIFICO MEXICANO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA QUIMICA  
P R E S E N T A :  
MARIBEL MORALES VILLAFUERTE



MEXICO, D.F.

2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE Prof. ALICIA GUTIERREZ MURILLO

VOCAL Prof. HUMBERTO ARRIOLA SANTAMARIA

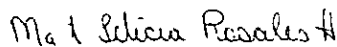
SECRETARIO Prof. MARIA TOMASA LETICIA ROSALES HOZ

1er SUPLENTE Prof. NORAH YOLANDA BARBA BEHRENS

1do SUPLENTE Prof. JUAN PABLO BERNAL URUCHURTU

Sitio donde se desarrolló el tema: Universidad Nacional Autónoma de México.  
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Laboratorio de Química Marina y  
Contaminación.

ASESOR DEL TEMA



MARIA TOMASA LETICIA ROSALES HOZ

SUPERVISOR TÉCNICO



SUSANA SANTIAGO PÉREZ

SUSTENTANTE



MARIBEL MORALES VILLAFUERTE

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra Leticia Rosales Hoz por su apoyo y asesoría en la realización de esta tesis, así como por la paciencia y confianza que depositó en mí

Al Dr. Arturo Carranza Edwards por su asesoría y ayuda en la elaboración de los mapas, así como por sus consejos en cuanto a los aspectos geológicos

A la Q F B Susana Santiago Pérez por su asesoría técnica y observaciones en la elaboración del presente trabajo y muy especialmente por su valiosa amistad

Al M. en C Eduardo Morales de la Garza por su ayuda en la elaboración de algunos mapas, por sus consejos y su amistad.

A Mayumi Amparo Cabrera Ramírez por la realización de los estudios granulométricos

A las autoridades y al personal del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su apoyo en la realización de este trabajo.

A las autoridades y a mis profesores de la Facultad de Química de la UNAM

A todas las personas que participaron en la Campaña Oceanográfica Sedimento II, así como a la tripulación del B/O "El Puma".

A mis compañeros del Laboratorio de Química Marina y Contaminación, en especial a José Luis Bahena y a Ruth Esther Villanueva por su gran amistad, apoyo y consejos.

## DEDICATORIAS

A mi madre **MA. GUADALUPE VILLAFUERTE** que me brindó su apoyo en los momentos más difíciles y por sus consejos que me ayudaron a seguir adelante

A mi padre **FÉLIX MORALES** que siempre ha estado conmigo

A mis hermanos **EDUARDO, IVAN Y LIZETH**, esperando que este trabajo les sirva de algo

A mi amiga **MARGARITA** por su valiosa amistad y ayuda incondicionales

A todos ustedes **MUCHAS GRACIAS!!**

## ÍNDICE

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| <b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>             | Pag. 1 |
| 1.1 OBJETIVOS                       | 5      |
| <b>2.0 ANTECEDENTES</b>             | 6      |
| 2.1 RELIEVE SUBMARINO               | 6      |
| 2.2 DEFINICIÓN DE SEDIMENTOS        | 7      |
| 2.3 FORMACIÓN DE LOS SEDIMENTOS     | 7      |
| 2.4 COMPONENTES DE LOS SEDIMENTOS   | 9      |
| 2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS | 10     |
| 2.6 TIPOS DE ROCAS                  | 15     |
| <b>3.0 ÁREA DE ESTUDIO</b>          | 16     |
| 3.1 UBICACIÓN                       | 16     |
| 3.2 CLIMA                           | 17     |
| 3.3 HIDROLOGÍA                      | 19     |
| 3.4 OROGRAFÍA                       | 21     |
| 3.5 LITOLOGÍA                       | 22     |
| <b>4.0 METODOLOGÍA</b>              | 23     |
| 4.1 TRABAJO DE CAMPO                | 23     |
| 4.2 TRABAJO DE LABORATORIO          | 23     |
| 4.3 CALIBRACIÓN DE LOS ANÁLISIS     | 29     |
| <b>5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>   | 33     |
| <b>6.0 CONCLUSIONES</b>             | 66     |

|   |    |
|---|----|
| <b>7.0 APÉNDICES</b>                                  | 68 |
| 7.1 APÉNDICE 1 TIPOS DE ROCAS MINERALES Y COMPOSICIÓN | 68 |
| 7.2 APÉNDICE 2 UBICACIÓN Y PROFUNDIDAD DE ESTACIONES  | 73 |
| 7.3 APÉNDICE 3 FUNDAMENTOS DE FRX                     | 74 |
| 7.4 APÉNDICE 4 FUNDAMENTOS DE ESTADÍSTICA             | 79 |
| 7.5 APÉNDICE 5 RESUMEN DE RESULTADOS                  | 80 |
| <br>  |    |
| <b>8.0 BIBLIOGRAFÍA</b>                               | 81 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |        |
|--|--------|
| Tabla 1.1 RECURSOS DEL MAR   | Pag. 3 |
| Tabla 5.1 MATRIZ DE CORRELACIÓN                                    | 63     |
| Tabla 7.1.1 CLASIFICACIÓN DE SILICATOS                             | 69     |
| Tabla 7.1.2 OTROS MINERALES  | 70     |
| Tabla 7.1.3 CARBONATOS Y FOSFATOS                                  | 70     |
| Tabla 7.1.4 MINERALES PRINCIPALES Y ACCESORIOS DE LAS ROCAS ÍGNEAS | 70     |
| Tabla 7.1.5 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS PLUTÓNICAS                  | 71     |
| Tabla 7.1.6 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS VOLCÁNICAS                  | 71     |
| Tabla 7.1.7 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS METAMÓRFICAS                | 71     |
| Tabla 7.1.8 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS               | 72     |
| Tabla 7.1.9 METALES TRAZA EN MINERALES                             | 72     |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |        |
|---|--------|
| Figura 1.1 MAPA DE LA ZEE                       | Pag. 4 |
| Figura 2.1 RELIEVE SUBMARINO                    | 6      |
| Figura 3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO      | 16     |
| Figura 3.2 CLIMAS                               | 18     |
| Figura 3.3 PRINCIPALES RÍOS                     | 20     |
| Figura 3.4 OROGRAFÍA                            | 21     |
| Figura 3.5 LITOLIGÍA                            | 22     |
| Figura 4.1 RED DE ESTACIONES                    | 24     |
| Figura 4.2 BATIMETRÍA                           | 24     |
| Figura 4.3 DRAGA SMITH MC INTYRE                | 25     |
| Figura 5.1a DISTRIBUCIÓN DE LODOS               | 34     |
| Figura 5.1b DISTRIBUCIÓN DE ARENAS              | 34     |
| Figura 5.1c DISTRIBUCIÓN DE GRAVAS              | 34     |
| Figura 5.2 DISTRIBUCIÓN DE SILICIO              | 36     |
| Figura 5.3 DISTRIBUCIÓN DE ALUMINIO             | 36     |
| Figura 5.4 DISTRIBUCIÓN DE HIERRO               | 40     |
| Figura 5.5 DISTRIBUCIÓN DE MANGANESO            | 40     |
| Figura 5.6 DISTRIBUCIÓN DE MAGNESIO             | 41     |
| Figura 5.7 DISTRIBUCIÓN DE CALCIO               | 41     |
| Figura 5.8 DISTRIBUCIÓN DE SODIO                | 43     |
| Figura 5.9 DISTRIBUCIÓN DE POTASIO              | 43     |
| Figura 5.10 DISTRIBUCIÓN DE TITANIO             | 47     |
| Figura 5.11 DISTRIBUCIÓN DE FÓSFORO             | 47     |
| Figura 5.12 DISTRIBUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA    | 49     |
| Figura 5.13 DISTRIBUCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO | 49     |
| Figura 5.14 DISTRIBUCIÓN DE CROMO               | 52     |
| Figura 5.15 DISTRIBUCIÓN DE COBALTO             | 52     |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.16 DISTRIBUCIÓN DE NÍQUEL           | 53 |
| Figura 5.17 DISTRIBUCIÓN DE COBRE            | 53 |
| Figura 5.18 DISTRIBUCIÓN DE ZINC             | 55 |
| Figura 5.19 DISTRIBUCIÓN DE RUBIDIO          | 55 |
| Figura 5.20 DISTRIBUCIÓN DE ESTRONCIO        | 56 |
| Figura 5.21 DISTRIBUCIÓN DE ITRIO            | 56 |
| Figura 5.22 DISTRIBUCIÓN DE CIRCONIO         | 58 |
| Figura 5.23 DISTRIBUCIÓN DE NIOBIO           | 58 |
| Figura 5.24 DISTRIBUCIÓN DE BARIO            | 60 |
| Figura 5.25 DISTRIBUCIÓN DEL TIF             | 60 |
| Figura 5.26 DIAGRAMA DEL ANÁLISIS DE CLUSTER | 65 |
| Figura 7.3.1 DIAGRAMA DEL EQUIPO DE FRX      | 78 |

# INTRODUCCIÓN

## 1.0 INTRODUCCIÓN.

Los cambios químicos que pueden llevarse a cabo en el océano producidos por el alto grado de industrialización, el aumento en el consumo de combustibles fósiles, así como el incremento de descargas urbanas pueden ser de gran importancia para la vida en nuestro planeta, ya que los océanos controlan el clima y sus productos biológicos, que son esenciales para el sustento de gran parte de la población. La introducción de metales en exceso, al medio ambiente marino produce condiciones tóxicas para los organismos que en él habitan; siendo los sedimentos el destino final de los metales, su estudio aporta información valiosa en estudios ambientales (Rosales, 1992).

Un estudio químico de sedimentos marinos es muy importante ya que a través de éste se pueden inferir los procesos que los originan, es decir como interactúan e influyen entre ellos y conocer las concentraciones y patrones de distribución de algunos metales y con esto definir las posibles fuentes de aporte, ya que la química de los océanos y sedimentos no sólo está controlada por procesos superficiales, sino también por fluctuaciones en aportes continentales, volcánicos e hidrotermales (Méndez, 1993).

Además el auge industrial en la actualidad se basa en gran medida en el uso de recursos minerales, los cuales son principalmente de origen terrestre, sin embargo las reservas de éstos son limitadas por lo que las investigaciones se han encaminado a la posible explotación de los recursos minerales marinos.

En el mar existen aproximadamente 77 elementos químicos disueltos o formando parte de minerales, sales u otro tipo de compuestos (Ruiz, 1990). Aunque la explotación de algunos de estos recursos no resulta costosa, se piensa que en un futuro cuando las reservas terrestres se agoten y con el rápido avance

tecnológico se podrán explotar y representarán una fuente importante de recursos.

Los recursos no renovables del mar son muchos (Tabla 1 1), pueden ser explotados del agua de mar, de la plataforma continental o del talud continental. En el agua de mar hay alrededor de 60 elementos explotables de los cuales en la actualidad sólo se obtienen sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg), bromo (Br) y potasio (K). En la plataforma continental se extraen principalmente hidrocarburos, arena, grava, carbón y fosforitas ( $P_2O_5$ ). También se pueden encontrar óxidos de hierro, manganeso, titanio, entre otros.

La mayoría de las investigaciones realizadas en México en lo referente a los recursos marinos se enfocan principalmente a la explotación de recursos pesqueros y a la extracción de hidrocarburos, pese a lo extensa de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del país (Fig. 1.1), que es de 2 892 000 Km<sup>2</sup> aproximadamente 1.5 veces el territorio nacional y a lo rica que puede ser en otros recursos marinos.

El presente estudio se realizó con sedimentos superficiales de la zona del relieve submarino conocida como Plataforma Continental en una porción del Pacífico Mexicano.

El Pacífico Mexicano es un área de gran interés económico y científico para México y a pesar de lo anterior la investigación científica en esta región no ha tenido el énfasis debido. En los estudios realizados recientemente en esta zona, se ha encontrado que en la región del Golfo de Tehuantepec, los sedimentos contienen altas concentraciones de fósforo lo que sugiere la existencia de importantes bancos de fosforitas (Carranza-Edwards, 1989).

Además el área de estudio donde se realizó el presente trabajo recibe el aporte de numerosos sistemas fluviales los cuales podrían llevar al mar una importante cantidad de desechos urbanos e industriales, lo cual indica que puede ser una zona expuesta a contaminación, por lo que es muy importante un constante monitoreo de esta área.

Tabla 1.1 RECURSOS DEL MAR.

| RECURSOS MINERALES<br>Br, B, Ca, Mg, K, Na, Cl, S y V.   | LOCALIZACIÓN<br>Agua de Mar.     |
|--|----------------------------------|
| 1. Arenas, gravas silíceas y calcéreas.<br>2. Placeres metalíferos (Sn, Cr, Ti, Zr, Tierras Raras, Cu, Pt y Diamantes).<br>3. Fosforitas U y F.<br>4. Carbón, Sal Gema e Hidrocarburos.                                      | Plataforma y Talud Continentales |
| 1. Nódulos Polimetálicos (25-35% Mm, 15-20% Fe, 1-2% Cu, 1-2% Ni, 0.5% Co, 0.001-0.01% Mo y V.<br>2. Lodos Mineralizados (Zn, Cu y Ag).<br>3. Sulfuros Polimetálicos (10% Cu, 10% Fe, 0.1% Mo, 0.1% V, 0.1% Zn y 0.035% Ag). | Cuencas Oceánicas.               |

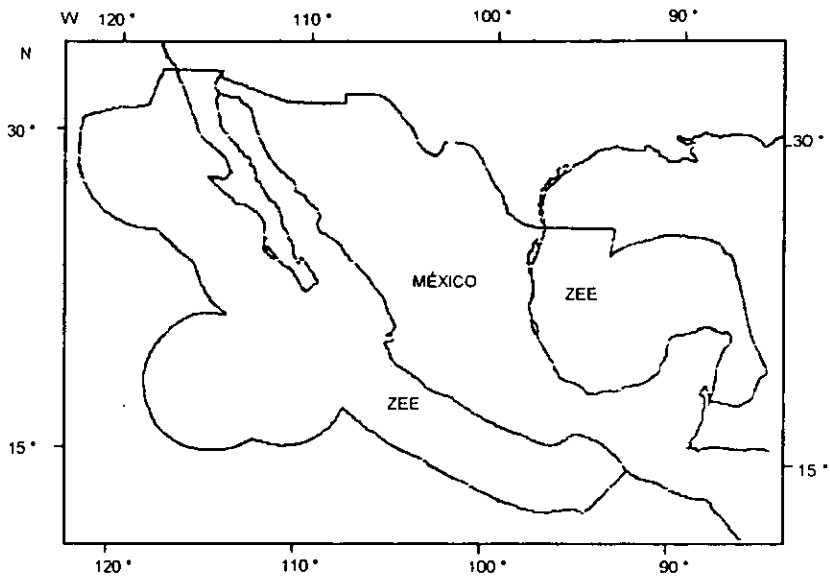


Figura 1.1 Mapa de la ZEE.

## **1.1 OBJETIVOS:**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar a través de la composición química de los sedimentos superficiales del área de estudio su posible origen, así como los procesos que afectan a los sedimentos en esta zona.

### **1.1.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Analizar la composición química de los sedimentos (Materia Orgánica, Carbonato de Calcio, Elementos Mayores (Si, Al, Na, P, Mg, K, Ca, Ti, Mn y Fe) y Metales Traza (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Y, Ba, y Nb).
2. Determinar a través del análisis de la composición química el grado de influencia de los aportes terrígenos y biogénicos.
3. Evaluar el nivel de concentración de metales traza desde un punto de vista antrópico.



# ANTECEDENTES

## 2.0 ANTECEDENTES.

### 2.1 RELIEVE SUBMARINO:

El relieve submarino está formado principalmente por tres zonas (Ruíz, 1990) (Fig. 2.1):

1. **Plataforma Continental:** Es relativamente ancha (de 70-80 Km. a varios cientos de kilómetros) y con una profundidad promedio de 200 m y bordea las tierras emergidas. Se trata de una prolongación sumergida del continente, se distingue de él por la capa de agua que la cubre y por los fenómenos sedimentarios debidos a las corrientes marinas recientes.
2. **Talud Continental:** Se sitúa entre 200 a 4000 m (márgenes estables), 200-500 y 10 000 m (márgenes activos), su pendiente media es de 4 a 5°.
3. **Cuencas Oceánicas:** Su morfología está determinada por la naturaleza de los márgenes que la rodean; pueden ser llanuras abisales muy planas o fondos accidentados con montes submarinos.

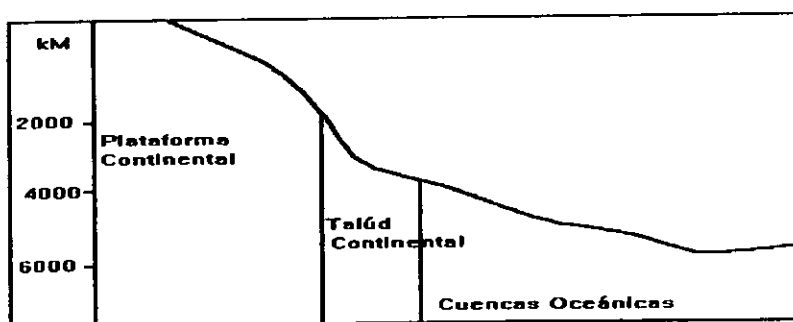


Figura 2.1 Relieve submarino

## 2.2 DEFINICIÓN DE SEDIMENTOS

Los sedimentos están formados de material sólido producido por el intemperismo de las rocas acarreado al mar principalmente por la acción de los ríos, del aire y del agua, carbonato de calcio de un origen mineral y biogénico y depósitos de evaporitas. Los sedimentos están depositados sobre las extensiones de las áreas terrestres hacia el mar. Los medios ambientes de deposición incluyen playas, deltas, estuarios, llanuras de marea, lagunas, fiordos, cuencas costeras, cañones submarinos y la propia placa (Riley, 1989).

Los sedimentos son una compleja mezcla de numerosas fases de sólidos, las cuales pueden incluir materia orgánica, arcillas, carbonatos, sílice, óxidos de metales y otros minerales (Paez-Osuna, 1990).

## 2.3 FORMACIÓN DE SEDIMENTOS

Existen diversas etapas involucradas en la formación de los sedimentos, los procesos que liberan el material de la superficie expuesta, son conocidos como intemperismo y erosión, este último implica la renovación simultánea del material intemperizado; la siguiente etapa es la transportación y deposición y éstas son seguidas por la diagénesis (Riley, 1989).

### *INTEMPERISMO*

El intemperismo es una combinación de procesos que involucran la interacción de la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera sobre la corteza terrestre. Hay varias clases de intemperismo: *Intemperismo mecánico* involucra la fragmentación del material de la roca original hacia partículas, pero los productos finales tendrán aún la misma composición química que el material original. Los principales agentes activos son los cambios de temperatura, la acción de los organismos y la influencia física del agua. *Intemperismo químico* comprende un ataque químico sobre el material de la roca, y el residuo del intemperismo tiene una composición

química diferente a la del material original. El intemperismo químico involucra reacciones entre aguas naturales (sus sólidos disueltos y gases) y el material de las rocas. El agua es el principal agente en el intemperismo químico, es un excelente solvente y casi todos los minerales son solubles en ésta. Los principales procesos involucrados son la hidratación, la hidrólisis, reducción, carbonatación y solución.

La estabilidad de los minerales al intemperismo químico depende en gran medida de la fuerza de sus enlaces y en forma decreciente es: cuarzo>muscovita>feldespato potásico>biotita>hornoblenda>piroxeno>olivina.

#### *TRANSPORTACIÓN:*

*Transporte de agua* Se considera a los ríos como los más importantes abastecedores del material sedimentario a los océanos y una fracción grande de la litosfera intemperizada es transportada por acción de los ríos.

*Transporte por viento* Por cientos de años los marinos han conocido que el polvo atmosférico es transportado hacia las áreas del mar profundo, este polvo atmosférico es una importante senda de transporte para el material sedimentario.

*Transporte del hielo* El material sedimentario es al mismo tiempo introducido hacia los océanos y redistribuido dentro de éste por los mecanismos de transporte del hielo, el cual puede originarse en el medio ambiente marino ya sea como hielo de tierra, formado sobre las áreas de tierra principalmente de la nieve o los glaciares, o como hielo de mar, el cual está formado por la congelación del agua de mar.

*Transporte de organismos* En las áreas del mar profundo el transporte por organismos es difícil de evaluar, pero probablemente no es muy importante. Los mamíferos marinos, las aves y los peces pueden transportar material sedimentario en sus estómagos y la madera flotante puede incluir ciertas cantidades.

## *DIAGÉNESIS*

La diagénesis se refiere a los procesos que afectan a los sedimentos después de su deposición. Estos procesos son la formación de nuevos minerales, la modificación de minerales preexistentes, la disolución completa o parcial de los minerales, la movilización posdeposicional y la migración de los elementos, los efectos físicos resultantes del espesor del hundimiento o la sobrecarga en la columna de los sedimentos, los efectos resultantes de la profundidad sobre las aguas superyacentes y el periodo de tiempo transcurrido sobre el piso oceánico.

## **2.4 COMPONENTES DE LOS SEDIMENTOS**

Los sedimentos consisten de diversos componentes individuales, los cuales pueden ser clasificados en diversas formas por ejemplo los componentes sedimentarios pueden estar formados por una fracción detrítica, cuando son transportados como material sólido de origen terrestre y por una fracción no detrítica o autigénica, cuando son formados en el área de depósito. En otra clasificación los componentes se dividen en litogénicos, cosmogénicos hidrogénicos, biogénicos y agua intersticial. También se clasifican de acuerdo al lugar de la geosfera donde han sido originados, litosfera, hidrosfera, biosfera atmósfera o el espacio exterior (Riley, 1989).

**COMPONENTES LITOGÉNICOS** Son definidos como aquellos provenientes de la erosión de la tierra, vulcanismo submarino o por el intemperismo submarino donde la fase sólida no sufre mayor cambio durante su residencia en el agua de mar. La mayoría de los componentes litogénicos son inorgánicos y están incorporados en los sedimentos tanto como fragmentos de roca, como partículas discretas de minerales simples.

**COMPONENTES HIDROGÉNICOS** Son aquellos que resultan de la formación de la materia sólida en el mar por reacciones inorgánicas. Se dividen en dos amplios

grupos material primario formado directamente del agua de mar y material secundario que resulta de la alteración submarina de otros minerales preexistentes.

**COMPONENTES BIOGÉNICOS** Son aquellos producidos en la biosfera, incluyen material inorgánico de conchas y materia orgánica.

**COMPONENTES COSMOGÉNICOS** Los componentes cosmogénicos de los sedimentos del mar son aquellos derivados de fuentes extraterrestres.

## 2.5 CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS

Los sedimentos marinos pueden ser divididos en dos amplias categorías: Los que están depositados en el medio ambiente *marinoprofundo* y los que se encuentran *cerca de la costa*.

Los sedimentos *marinoprofundos* se pueden dividir en dos tipos pelágicos y no pelágicos.

1. *Pelágicos* son aquellos sedimentos del mar profundo en los cuales los componentes minerales de aporte terrestre han sido depositados por una suspensión diluida con un tiempo de residencia grande en el agua de mar y los cuales han sido depositados lentamente de las capas superiores del agua adyacente. La mayor parte de estos sedimentos están depositados en las profundidades abisales, aproximadamente a una profundidad de 1000 m.

2. *No pelágicos* contienen componentes de aporte terrestre los cuales no han estado en suspensión por largos periodos de tiempo en las capas superiores de la columna de agua y han sido depositados por procesos de fondo tales como las corrientes de turbidez.

Los *sedimentos costeros* se forman de numerosos y diferentes componentes provenientes de diferentes lugares.

De acuerdo con la fracción más abundante en los sedimentos costeros se clasifican en detríticos, autigénicos o biogénicos (Riley, 1980)

1. La *fracción detrítica* está formada de fragmentos de rocas y minerales derivados de los continentes por la erosión y son transportados al océano por los ríos, el hielo o el viento. Los principales minerales detríticos son cuarzo, feldespatos, micas, illita, montmorilonita, kaolinita, ilmenita, rutilo, hornoblenda, piroxeno, olivino y magnetita
  
2. *Fracción autigénica* se deriva de precipitados inorgánicos los cuales se forman en el agua o en zonas cercanas a la costa y forman parte de los sedimentos después de su deposición. Los minerales autigénicos más importantes son la limonita, la glauconita y la illita reconstituida
  
3. La *fracción biogénica* está constituida por esqueletos inorgánicos de organismos marinos que permanecen en el mar o por la dispersión de material orgánico producto de la degradación de tejidos orgánicos.

Shepard (1954) basado en la relación arena-limo-arcilla hizo su clasificación de acuerdo al tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ ) (Riley, 1980):

| TIPO DE SEDIMENTO | TAMAÑO DE PARTÍCULA |
|-------------------|---------------------|
| Arcilla           | <4                  |
| Limo              | 4-62.5              |
| Arena             | >62.5               |
| Grava             | >2000               |

Otra clasificación fue hecha por Goldberg (1954):

**I. SEDIMENTOS INORGÁNICOS DEL MAR:** Son aquellos que contienen <30% de residuos de esqueletos orgánicos. A su vez se dividen en: *Sedimentos inorgánicos no-pelágicos* y *Sedimentos inorgánicos pelágicos*.

*Sedimentos inorgánicos no-pelágicos* Estos sedimentos tienen alguna o todas las características siguientes:

1. Están casi siempre depositados más allá del talud continental.
2. Una fracción importante de la materia mineral derivada de tierra es de tamaño del limo y arena ( $>4\mu\text{m}$ ).
3. La materia mineral derivada de tierra no ha estado suspendida por largos periodos en las capas de agua superiores y son transportados por procesos de fondo como corrientes de turbidez.
4. Los sedimentos pueden presentar una estructura sedimentaria fina, por ejemplo laminación delgada en extractos clasificados.
5. La fracción biogénica puede estar compuesta de organismos pelágicos o no pelágicos.
6. Los sedimentos pueden contener más de 1% de carbono orgánico.

Los sedimentos inorgánicos no pelágicos se subdividen en las siguientes clases:

i) Sedimentos litogénicos no-pelágicos ("Fangos"): Estos sedimentos están subdivididos de acuerdo al tamaño de la partícula y el color. Según el tamaño de partícula se clasifican en fangos arcillosos, fangos limosos, fangos arenosos y arenas.

ii) Sedimentos marinos glaciales: Son de color verdoso o gris y por lo regular contienen partículas del tamaño del limo y consisten principalmente de rocas finas producidas por la acción del hielo sobre la tierra, son transportados por la deriva del hielo.



iii) Depósitos de turbidita y desprendimiento: Las secuencias de turbidita consisten de capas anchas de arena que contienen cantidades considerables de limo, arcilla, grava y a menudo contienen cantidades considerables de material detrítico de conchas. Las arenas de origen de turbidita a menudo consisten principalmente de cuarzo.

iv) Arenas minerales inorgánicas no-pelágicas (excluyendo arenas de cuarzo): Algunas arenas del mar están compuestas de porciones variantes de granos minerales inorgánicos de un tipo no transportado generalmente a áreas mesoocéánicas de los continentes. Por lo regular estos minerales tienen un origen local, de actividad volcánica o intemperismo submarino.

*Sedimentos inorgánicos pelágicos* Deben cumplir alguna o todas las características siguientes:

1. La materia mineral derivada de tierra ha estado en suspensión por periodos largos de tiempo en las capas de agua superiores y ha sido lentamente acumulada en las áreas oxigenadas del agua profunda por lo general lejos de las masas continentales.
2. Una porción alta (70% del material derivado de la tierra) es de dimensiones de arcilla.
3. Los compuestos de hierro de los minerales derivados de tierra en los sedimentos de superficie están en estado oxidado y son casi siempre de color café o rojo.
4. Cuando los sedimentos presentan capas estratificadas con frecuencia tienen una apariencia abigarrada debido al circulamiento de los organismos.
5. La fracción biógena está formada por los restos de los esqueletos de los organismos pelágicos.
6. Los sedimentos a menudo contienen minerales autigénicos, por ejemplo nódulos de ferromanganeso y zeolitas y por ende tendrán un aumento en la concentración de metales traza como: Cu, Pb, Ni, Co, etc.

7. Los sedimentos por lo general contienen menos del 5% de carbono orgánico.

Los sedimentos pelágicos del mar profundo están divididos en las siguientes clases:

i) Arcillas litogénicas: Estos sedimentos contienen <30% de restos de organismos y tienen una fracción inorgánica compuesta predominantemente de mineral litogénico como arcillas derivadas de tierra y cuarzo. Son con frecuencia de color café o rojo y son denominadas *arcillas rojas*. Las arcillas litogénicas pueden ser diluidas con otros minerales y cuando este material excede el 5% de los sedimentos se utiliza un nombre característico (arcillas litógenas calcáreas, síliceas o volcánicas).

ii) Arcillas hidrogénicas: Las arcillas hidrogénicas contienen <30% de restos orgánicos de esqueletos y tienen una fracción inorgánica compuesta predominantemente por minerales de origen acuático como montmorillonita y filpsita.

**II. DEPÓSITOS BIOGÉNICOS DEL MAR:** son definidos como los que contienen restos orgánicos de esqueletos >30%. Estos sedimentos son nombrados como légamo u oozes. Los légamos del mar son subdivididos de acuerdo al organismo predominante.

*Légamo calcáreo* estos sedimentos contienen >30% de  $\text{CaCO}_3$  derivado orgánicamente y son clasificados en base al tipo de organismo predominante presente, por ejemplo el légamo de globigerinas, de pterópodos o de cocolitos.

*Légamo síliceo* estos sedimentos contienen <30% de  $\text{CaCO}_3$  derivado orgánicamente y >30% de  $\text{SiO}_2$  (ópalo) derivado orgánicamente. Se clasifican de acuerdo al principal organismo dentro de légamo de radiolarios y diatomeas.

*Desechos de arrecifes de corales* se han distinguido depósitos formados por los desechos de arrecifes de coral de los otros sedimentos pelágicos. Estos desechos de arrecifes de coral incluyen arenas y fangos de coral.

## 2.6 TIPOS DE ROCAS:

Algunos componentes de los sedimentos provienen de las rocas existentes en la corteza terrestre para comprender su composición es importante saber el tipo de roca formadora, por eso es importante saber la clasificación de éstas y los principales, minerales de los que están constituidas (Apéndice 1).

Existen tres tipos de rocas: las ígneas, las sedimentarias y las metamórficas (Olivera, 1997).

1. Las rocas ígneas se formaron por la solidificación de material fundido ya sea sobre la superficie de la Tierra o en el interior de la misma. Según la rapidez de solidificación se dividen en: a) Extrusivas o Volcánicas Cuando el magma emerge a la superficie de la Tierra por fenómenos volcánicos (lava) y se enfría rápidamente, ej.: basalto, piedra pomex. b) Intrusivas o Plutónicas se forman cuando el magma no emerge a la superficie de la Tierra y se enfría lentamente en el interior de la corteza terrestre, ej: Granito, grabo.

2. Las rocas sedimentarias se forman cuando las ígneas sufren cambios por procesos de desgaste, transporte, deposición y compactación de materiales orgánicos e inorgánicos (caliza, lutita, arenisca).

3. Las rocas metamórficas se forman cuando las ígneas y las sedimentarias se exponen a grandes presiones y temperaturas lo que provoca cambios en su composición formándose éstas.

# ÁREA DE ESTUDIO

### 3.0 ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1 UBICACIÓN

En el mapa de la figura 3.1 se muestra el área de estudio que está localizada entre los  $102^{\circ} 20'$  y los  $105^{\circ} 00'$  de Longitud Oeste (desde Playa Azul, Michoacán hasta Bahía Chamela, Jalisco). Se realizaron 33 transectos con 132 estaciones (Carranza y Morales, 1998) (Apéndice 2). El área de estudio está limitada al norte por el Eje Neovolcánico, así como por las entrantes sedimentarias correspondientes a la Cuenca Morelos-Guerrero y la Cuenca de Tlaxiaco. También lo limita al SE la Sierra de Juárez y al Oriente la Provincia del Sur Este de México (López-Ramos, 1981).

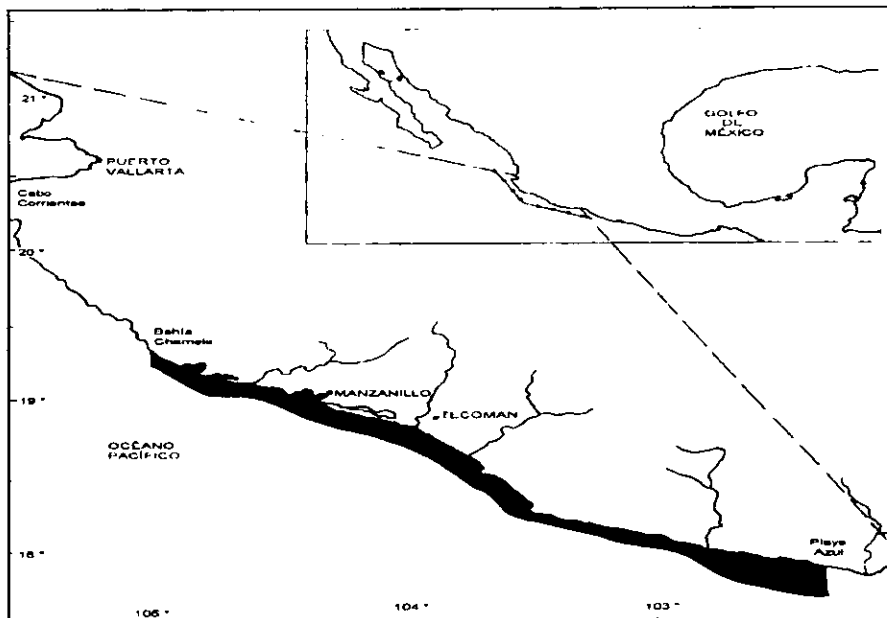


Figura 3.1 Ubicación de la Zona de Estudio

La Plataforma Continental en el área de estudio es muy angosta y se ensancha ligeramente en las cercanías de Delta del Río Balsas. La línea de costa es paralela a la Fosa Mesoamericana.

En lo general se presentan costas rocosas y abruptas, a excepción de algunas áreas, donde por la influencia de las corrientes fluviales, se desarrolla una incipiente planicie costera.

Las rocas más abundantes en la parte continental son metamórficas e ígneas, con edades paleozoicas y posiblemente precámbricas (Carranza-Edwards, 1975).

### 3.2 CLIMA

En la figura 3.2 se observa que los climas de la región continental adyacente a la zona de estudio son los siguientes.

En la costa de Jalisco y en Colima predomina el clima tropical con lluvias en verano (Aw), la temperatura en todos los meses es superior a 18 °C, la temporada de lluvias queda localizada en los meses de verano (lluvias superiores a 750 mm). La temperatura máxima es de 40° C en los meses de julio y agosto y la mínima va de 10 a 15 °C en el mes de enero. La vegetación es herbácea de tipo sabana.

Hacia el centro de Jalisco y en la costa de Michoacán el clima es templado húmedo con lluvias en verano (Cw), con lluvias superiores a 900 mm de precipitación anual. La vegetación es del tipo pradera caracterizada por plantas herbáceas.

En la parte central de Michoacán el clima es seco estepario (BS) con temperatura media anual superior a 18 °C. Esta área presenta vegetación de estepa

caracterizada por plantas herbáceas y xerófilas. En Michoacán la temperatura máxima es de 40 °C y la mínima va de 5 a 10 °C (Tamayo, 1991).

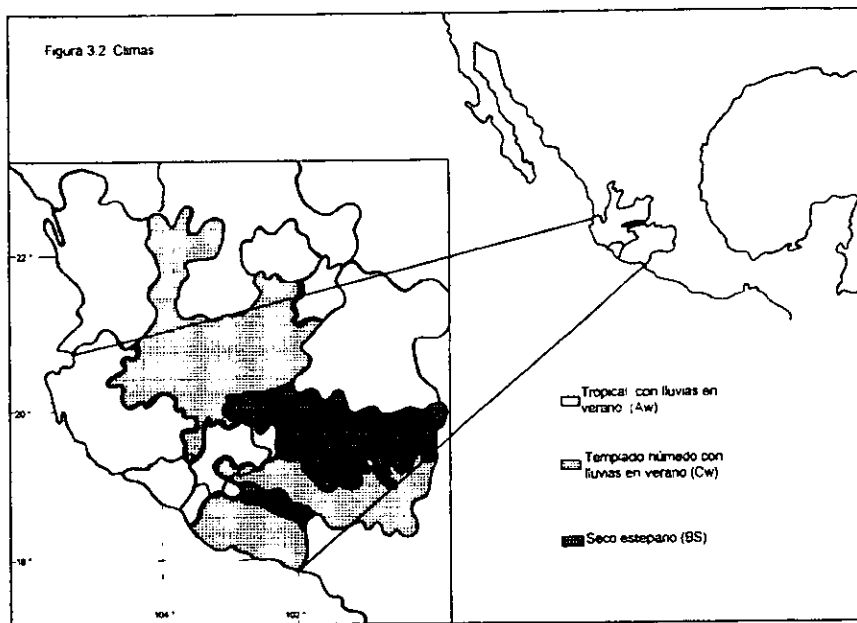


Figura 3.2 Climas (Modificado de Vivó, 1946)

### 3.3 HIDROLOGÍA

En esta región se localizan varios ríos que desembocan en el Pacífico (Fig. 3.3), los principales son el Purificación, el Cihuatlán, el Armería y aunque el Balsas ya no queda comprendido en la zona de estudio puede tener influencia en ésta.

**Río Purificación:** Nace en la estribación sur de la Sierra Coalcomán recibiendo los arroyos de Higuera, San Miguel y Ampamila para desembocar al norte de la Punta de Farallón; su cuenca de captación es de 3000 Km<sup>2</sup> y su descarga al mar se estima en 720 millones de m<sup>3</sup> (Tamayo, 1991).

**Río Cihuatlán:** Nace en Autlán con el nombre de Mamey o Paticajo, recibiendo aguas de los ríos Cacao, San José Camotlán; Pueblo Nuevo, Marabasco Y finalmente desemboca en Barra de Navidad; sirve de límite entre los estados de Jalisco y Colima desde su nacimiento hasta su desembocadura. El área total de la cuenca es de 3700 Km<sup>2</sup> y se estima en 890 millones de m<sup>3</sup> la descarga en el océano (Tamayo, 1991).

**Río Armería:** Nace en el Estado de Jalisco y se forma por la unión de ríos Toxacuesco o Tecolotlán y Ayuquila y penetra en el Estado de Colima, el que cruza en toda su anchura y desemboca en el océano Pacífico en la Boca de los Pascuales. Su cuenca cubre 10 000 Km<sup>2</sup> y su escurrimiento medio anual es de 1200 millones de m<sup>3</sup> (Tamayo, 1991).







### 3.5 LITOLOGÍA

La región continental adyacente al área de estudio comprende dos provincias geológicas (Fig. 3.5):

El Batolito de Jalisco de edad mesozoica, conformado principalmente por rocas plutónicas pertenecientes a una raíz de arco. Localizado en la porción suroccidental de Jalisco.

El Complejo Orogénico de Guerrero-Colima Constituido por rocas volcano-sedimentarias del mesozoico de origen de arco submarino. Integrado por los Estados de Colima, Michoacán y Guerrero.

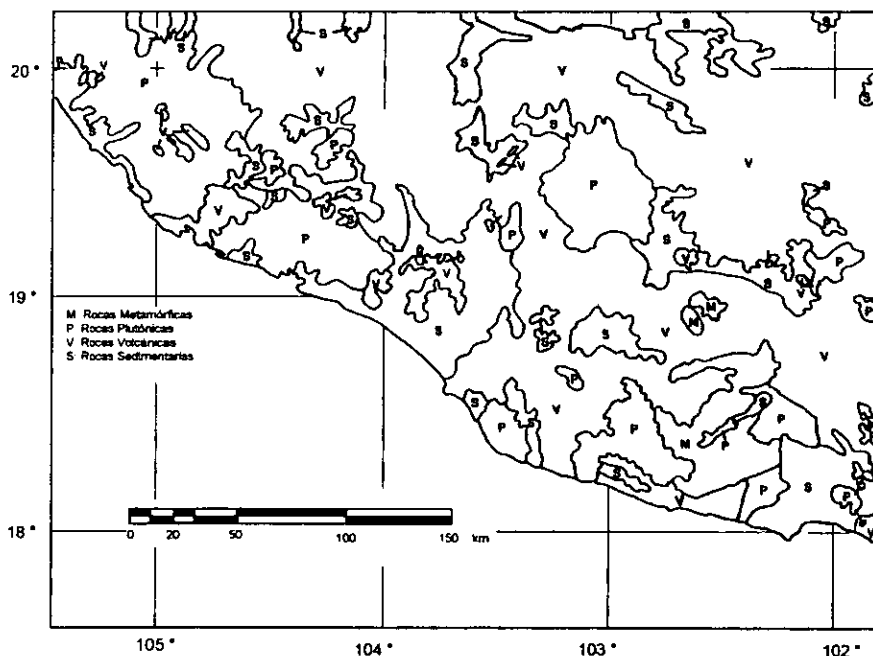


Figura 3.5 Litología

# METODOLOGÍA

## 4.0 METODOLOGÍA

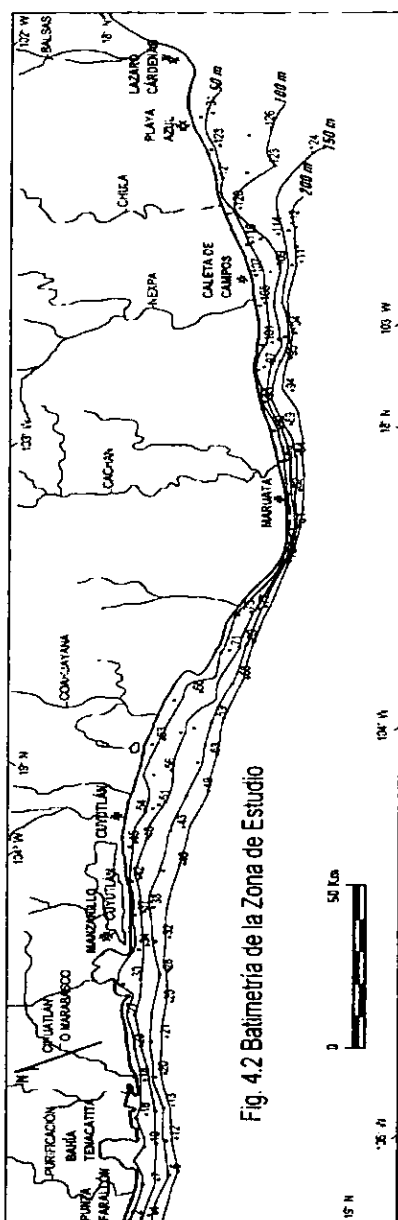
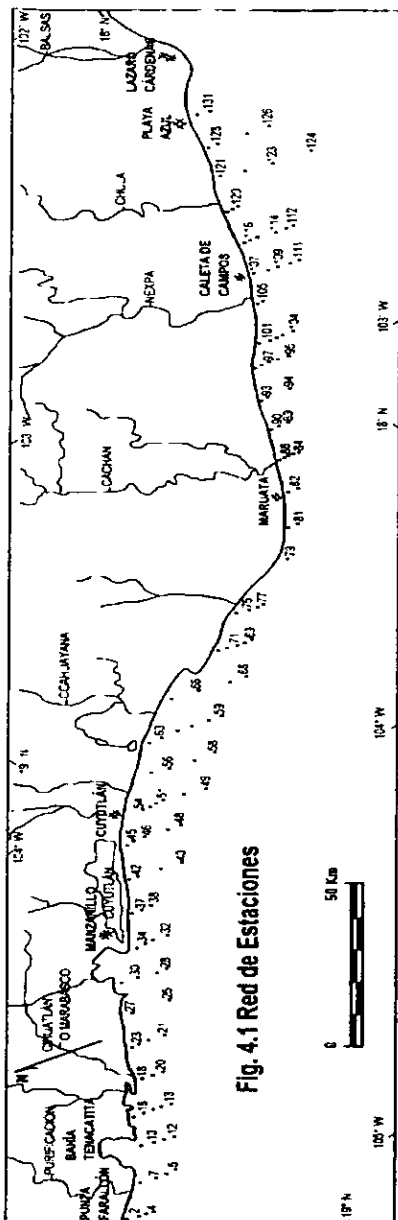
### 4.1 TRABAJO DE CAMPO

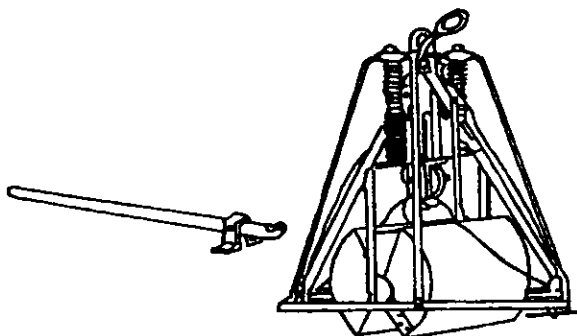
La colecta de muestras se llevo a cabo a bordo del B/O "El Puma", en la campaña oceanográfica llamada SEDIMENTO II realizada del 6 al 16 de noviembre de 1997.

El recorrido fue de 132 estaciones (Fig. 4.1), que abarco la Plataforma Continental adyacente a los Estados de Jalisco, Colima y Michoacán. En la Figura 4.2 se muestra la batimetría de la zona de estudio. Las muestras de sedimento marino se recolectaron con una Draga Smith Mc Intyre (Fig. 4.3), tomándose la muestra de la parte central de la draga para que no sufra ninguna alteración o contaminación. El sedimento obtenido se guarda en bolsas de polietileno, que con anterioridad se lavaron con HNO<sub>3</sub> al 30% y después con agua bidestilada, cerradas y etiquetadas con el número de estación y el nombre de la campaña y se refrigeran a 4° C.

### 4.2 TRABAJO DE LABORATORIO

*4.2.1 Preparación de muestras:* Se toma una porción del sedimento colocándolo en una cápsula de porcelana para secar en la estufa a 110° C por 12 horas, una vez seco se muele, primero en un mortero de porcelana y después con un molino de rotación (SPEX 8000 Mixer/Mill) por 3 minutos, en un vial de Tugsteno Carbide; para homogeneizar la muestra, después se guardan en bolsas de polietileno cerradas y etiquetadas.





**Figura 4.3** Draga Smith Mc Intyre

**4.2.2 Determinación de Materia Orgánica: Fundamento:** La materia orgánica marina se divide en dos a) Materia orgánica disuelta que esta formada por materia disuelta y coloidal; b) Materia orgánica particulada formada por organismos muertos (detritos), fitoplancton y zooplancton (Rosales-Hoz, 1980).

Para determinar la cantidad de materia orgánica particulada se usa el método por titulación que se basa en la oxidación del carbono orgánico con  $K_2Cr_2O_7$  1 N y  $H_2SO_4$  concentrado, con calentamiento exotérmico.



En donde el exceso de  $K_2Cr_2O_7$  es calculado por titulación con una disolución de  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0.5 N (Gaudette, 1974).

Este método presenta algunas interferencias debido a la presencia de compuestos inorgánicos:  $CaCO_3$ ,  $Cl^-$  sol,  $Fe^{3+}$  y óxido de manganeso. En donde el ion Cloruro reduce el cromato interfiriendo en la oxidación del carbono orgánico, lo cual se elimina usando  $H_3PO_4$  (Walkley, 1947; Okuda, 1974) que

volatiliza la mayoría de los iones cloruro y reduce los demás halógenos hasta un nivel aceptable (0.1 mg de Cl<sup>-</sup>). El H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> también elimina los óxidos de manganeso y a los carbonatos.

Los iones de Hierro son eliminados con la adición de NaF o de Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en la mezcla (Loring y Rantala, 1977). Debido a que este método no requiere de calentamiento externo no provoca mayor problema.

#### Técnica:

1. Pesar un gramo de sedimento tamizado.
2. Agregar 10 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N con pipeta volumétrica.
3. Poner 20 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc y mezclar por un minuto.
4. Dejar reposar 30 minutos y diluir a 200 mL con H<sub>2</sub>O destilada.
5. Agregar 10 mL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 85%, 0.2 g de NaF y 15 gotas de indicador de difenilamina.
6. Titular con Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.5 N el vire es de café verdoso, verde, azul oscuro a verde brillante.
7. Correr un blanco igual pero sin sedimento.

#### CÁLCULOS:

$$\% \text{carbonoorganico} = 10 \left[ 1 - \left( \frac{T}{S} \right) \right] \left[ 1.0N(0.003) \left( \frac{100}{W} \right) \right]$$

Donde:

T = mL de solución de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.5 N en la titulación de la muestra.

S = mL de solución de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O N en la titulación del blanco.

0.003 = 12/4000 = Peso meq del carbono.

1.0 N = Normalidad del K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

10 = Volumen de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> en mL.

W = Peso de la muestra de sedimento en gr.

**4.2.3 Pérdida por calcinación:** Es necesaria para hacer un ajuste al 100% de los resultados del análisis de elementos mayores por FRX y para saber el cantidad de sedimento que se pesará en la determinación de carbonatos.



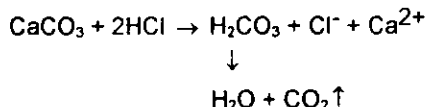
Se basa en la medición de la pérdida de peso de la muestra, debido a una combustión a 950 °C.

Técnica:

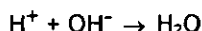
1. Se taran los crisoles a 600 °C.
2. Pesar 5 gr de muestra seca y se coloca en el crisol ya tarado.
3. Se colocan los crisoles con muestra en la mufla a 950 °C durante una hora.
4. Transcurrido este tiempo, se enfría el crisol con la muestra en un desecador, el crisol se pesa de nuevo y la diferencia entre el peso de la muestra antes de la combustión y después de ésta, es lo que se considera como la pérdida por calcinación.

4.2.4 *Determinación de CaCO<sub>3</sub>*: Fundamento: Esta técnica se basa en el principio de retrotitulación, a la muestra de sedimento se le agrega un exceso en volumen de ácido clorhídrico 0.1N, el exceso de ácido que no reaccionó se titula con NaOH 0.3 N (Shapiro L, 1975).

La reacción es:



La reacción de titulación del exceso de HCl con NaOH es:



Técnica:

Hay que tener una idea de la cantidad de carbonatos existentes en la muestra lo cual se obtiene de acuerdo a la siguiente tabla:

| Pérdida por Calcinación (%) | Peso de Muestra (gr) |
|-----------------------------|----------------------|
| < 10                        | 2                    |
| De 10 a 20                  | 1                    |
| De 20 a 40                  | 0.5                  |
| > 40                        | 0.25                 |

Se pesa la cantidad adecuada de muestra, pasándola a un vaso de precipitado, agregándole con una pipeta volumétrica 50 mL de HCl 0.1 N, se agita y se deja reposar en frío durante la noche. A la mañana siguiente se titula con una solución valorada de sosa 0.3 N usando un pHmetro (se uso un pHmetro Coming modelo 7). Se titula un blanco sin sedimento.

#### CÁLCULOS.

$$\%CaCO_3 = \frac{(V - v)(N)(2.2)}{w}$$

Donde:

V = Volumen de NaOH necesario para titular el ácido sin muestra.

v = Volumen de NaOH empleado en la titulación de la muestra.

N = Normalidad de la solución de NaOH.

w = Peso de la muestra.

*4.2.5 Determinación de elementos mayores y metales traza por Fluorescencia de Rayos X (FRX) (Apéndice 3):* Este análisis se realizó en la USAI de la Facultad de Química de la UNAM.

Fundamento: Para la obtención de los resultados se puede usar el método de muestra fundida o muestra prensada. Para elementos traza se recomienda el uso de muestra prensada y para esto es indispensable preparar la muestra con una dilución baja, es decir 10-20% en peso de aglutinante, lo que evita la pérdida de señal de las líneas características de cada elemento.

La técnica de fusión es la más adecuada para el análisis de elementos mayores en particular para rocas y minerales, ya que minimiza el efecto de matriz y a pesar de la dilución a que se somete la muestra es posible utilizar tiempos de conteo bajos, lo que optimiza el uso del equipo. Sin embargo con el software de PC para el cálculo de coeficientes de corrección disponible actualmente para evaluar el

efecto de matriz, también es posible medir elementos mayores en muestra prensada. Las ventajas son varias, entre ellas podemos destacar el menor tiempo de preparación de muestra, tiempos de conteo hasta 50% menores que los usados para muestra fundida y además las posibilidad de usar la misma tableta para medir elementos traza. Tal vez el motivo que genera la discusión entre usar una u otra técnica, es el precio de reactivos o fundentes para la preparación de perlas, en muestra fundida, ya que éste puede alcanzar hasta un 40% del precio total del análisis (Lozano-Santa Cruz, 1996).

Técnica: El método que se eligió para la obtención de los resultados fue muestra prensada. (Preparación de pastillas)

1. Se pesan 3.6 g de muestra y 0.4 g de cera Wax-C de Hoechst, que se usa como aglutinante (el peso de la cera puede ser otro siempre y cuando éste sea el 10% del peso total).
2. Se mezclan en un molino Spex 8000 Mixer/Mill por 1 minuto en un vial de Tugsteno Carbide.
3. En un contenedor de aluminio se pesan 4 gr. de ácido bórico que sirve como base, procurando que quede bien distribuido en el contenedor. Se agrega sobre el ácido la mezcla de muestra y cera, la superficie debe quedar bien plana para no tener problemas de prensado.
4. En una prensa Herzog de 40 toneladas, se prensan las pastillas por 20 segundos a 30 ton/cm<sup>2</sup>.
5. Estas pastillas se leen en un Espectrofotómetro secuencial de FRX (Siemens SRS 3000), donde se obtienen las concentraciones de elementos mayores y metales traza.

#### **4.3 CALIBRACIÓN DE LOS ANÁLISIS**

Con el objetivo de proporcionar resultados confiables se hizo una calibración de cada análisis hecho en los sedimentos. Se calcularon la precisión y exactitud.

Para precisión se calcularon el promedio (P), la desviación estándar (DE) y el límite de confianza al 99% (LC). Para exactitud se calcularon el promedio (P), el error absoluto (EA) y el error relativo (ER) (Skoog, 1996).

#### 4.3.1 Materia Orgánica

**Precisión.** Para el cálculo de precisión se eligió una muestra con una concentración promedio de materia orgánica (E-1 = 0.9%).

| Muestra     | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   |
|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|
| Mat Org (%) | 0.86  | 0.89 | 0.86 | 0.83 | 0.89 | 0.89 | 0.89 | 0.92 | 0.89 | 0.86 | 0.9 | 0.9 | 0.81 | 0.83 | 0.87 |
| P           | 0.873 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |
| DE          | 0.031 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |
| LC (99%)    | 0.02  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |      |      |

**Exactitud.** Para este cálculo es necesario tener un estándar, debido a que no existen estándares de sedimentos para la medición de la concentración de materia orgánica, se usa glucosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) como estándar, se pesan 0.01 g y se tratan de la misma forma que las muestras, Se ha reportado que 10 mg de glucosa equivalen al 39.99% de carbono orgánico (Santiago, 1989)

| Muestra     | 1      | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9  | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|
| Mat org (%) | 41.7   | 39.4 | 42.6 | 37.7 | 42.2 | 34.7 | 37.7 | 42.4 | 39 | 42.1 | 41.4 | 38.1 | 40.1 | 40.3 | 39.9 |
| P           | 39.96  |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |
| EA          | -0.029 |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |
| ER          | -0.072 |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |

#### 4.3.2 Pérdida por Calcinación

Para este análisis solo se calculó la precisión, debido a la carencia de un estándar para medir la exactitud. Se eligió la muestra E-1 = 3.5%.

| Muestra     | 1     | 2    | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-------------|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| % Perd Calc | 3.38  | 3.66 | 3.41 | 3.2 | 3.52 | 3.46 | 3.43 | 3.37 | 3.45 |
| P           | 3.43  |      |      |     |      |      |      |      |      |
| DE          | 0.123 |      |      |     |      |      |      |      |      |
| LC (99%)    | 0.993 |      |      |     |      |      |      |      |      |

#### 4.3.3 Carbonato de Calcio

Precisión. Para el cálculo de precisión se eligió una muestra con una concentración promedio de carbonato de calcio (E-1 = 6.1%).

| Muestra            | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
|--------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| %CaCO <sub>3</sub> | 6.4  | 5.8 | 6.4 | 6.6 | 6.9 | 6.1 | 5.8 | 6.4 | 5.9 | 6.1 | 6.1 | 6.4 | 6.9 | 5.8 | 5.8 |
| P                  | 6.22 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| DE                 | 0.42 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| LC (99%)           | 0.28 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

Exactitud. Para este cálculo es necesario tener un estándar, debido a que no existen estándares de sedimentos para la medición de carbonato de calcio, se uso CaCO<sub>3</sub> grado reactivo al 99% de pureza como estándar, se pesan 0.075 g y se tratan de la misma forma que las muestras, lo que equivale al 99% de carbonato.

| Muestra            | 1     | 2  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7  | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   |
|--------------------|-------|----|------|------|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| %CaCO <sub>3</sub> | 99.5  | 98 | 99.9 | 98.5 | 97.6 | 97.8 | 98 | 97.6 | 99.4 | 99.4 | 97.9 | 99.3 | 97.8 | 99.4 | 99.3 |
| P                  | 98.65 |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| EA                 | -1.36 |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| ER                 | -1.36 |    |      |      |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |

#### 4.3.4 Fluorescencia de Rayos-X (FRX).

En este caso la precisión, la exactitud y los límites de detección los proporcionó la USAI, de acuerdo a los parámetros de calibración de su equipo y con los estándares que ahí se usan para dicha calibración.

#### Precisión

| Elem. (%) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| P         | 50.7             | 16.8                           | 6.9                            | 0.1   | 2.9  | 1.4  | 3.6               | 3.4              | 0.72             | 0.15                          |
| DE        | 0.42             | 0.3                            | 0.03                           | 0.005 | 0.04 | 0.01 | 0.4               | 0.02             | 0.01             | 0.01                          |
| LC (95%)  | 0.27             | 0.19                           | 0.02                           | 0.003 | 0.02 | 0.01 | 0.26              | 0.01             | 0.01             | 0.01                          |

| Elem (ppm) | Cr  | Co  | Ni   | Cu  | Zn  | Rb  | Sr  | Y   | Zr  | Ba  | Nb  |
|------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| P          | 93  | 18  | 50   | 30  | 127 | 164 | 150 | 29  | 143 | 582 | 17  |
| DE         | 1.1 | 1   | 0.7  | 1   | 1.1 | 0.8 | 1   | 0.5 | 1.6 | 7.8 | 0.3 |
| LC (95%)   | 0.7 | 0.7 | 0.05 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 1   | 5.1 | 0.2 |

#### Exactitud

| Elem (%) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | MgO   | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| P        | 50.7             | 16.8                           | 6.9                            | 0.1   | 2.9   | 1.4  | 3.6               | 3.4              | 0.72             | 0.15                          |
| VR       | 50.46            | 16.37                          | 6.8                            | 0.098 | 3     | 1.37 | 3.83              | 3.5              | 0.751            | 0.16                          |
| EA       | 0.24             | 0.43                           | 0.1                            | 0.002 | -0.1  | 0.03 | -0.23             | -0.1             | -0.031           | -0.01                         |
| ER       | 0.47             | 2.62                           | 1.47                           | 2.04  | -3.33 | 2.18 | -6                | -2.85            | -4.12            | -6.25                         |

| Elem (ppm) | Cr   | Co | Ni   | Cu | Zn   | Rb   | Sr   | Y    | Zr   | Ba   | Nb   |
|------------|------|----|------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| P          | 93   | 18 | 50   | 30 | 127  | 164  | 150  | 29   | 143  | 582  | 17   |
| VR         | 97   | 20 | 53   | 30 | 130  | 159  | 146  | 28   | 136  | 479  | 12   |
| EA         | -4   | -2 | -3   | 0  | -3   | 5    | 4    | 1    | 7    | 103  | 5    |
| ER         | -4.1 | -1 | -5.6 | 0  | -2.3 | 3.14 | 2.73 | 3.57 | 5.14 | 21.5 | 41.6 |

En donde VR significa Valor Real

#### Límites de Detección (LD)

| Elem (%) | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| LD       | 7.1              | 2.1                            | 1.6                            | 0.03 | 0.4 | 0.44 | 1.2               | 0.5              | 0.4              | 0.08                          |

| Elem (ppm) | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Rb | Sr | Y  | Zr | Ba  | Nb |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| LD         | 10 | 31 | 1  | 21 | 10 | 6  | 24 | 14 | 28 | 223 | 20 |

# **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 5.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

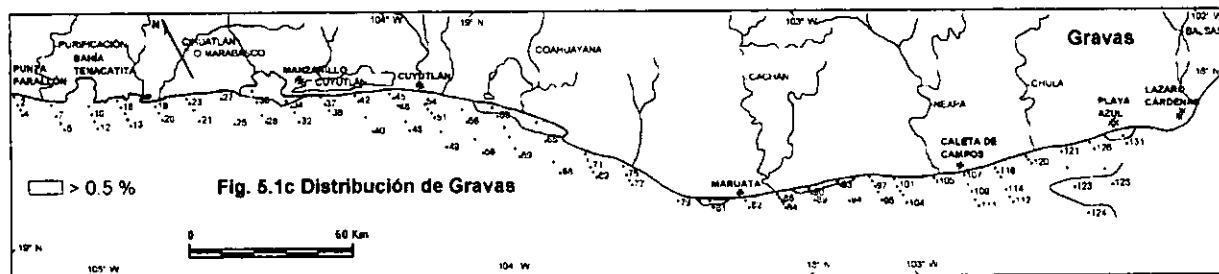
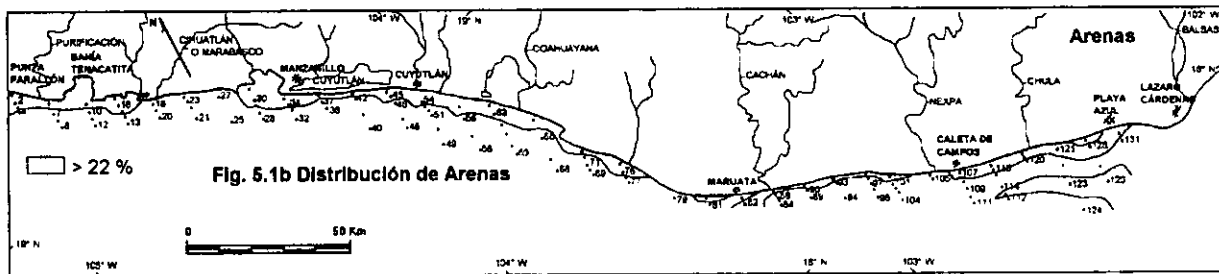
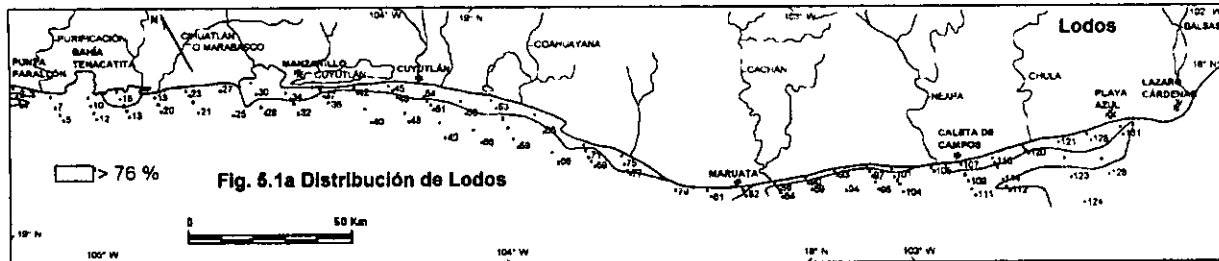
La composición química de los sedimentos está determinada por varios factores, como son la litología de la zona de estudio, la distancia que viajan los sedimentos antes de su depósito y los procesos que sufren después de su deposición (Olivera, 1997).

Debido a la amplitud del área de estudio y con el objeto de simplificar los datos obtenidos se hicieron mapas de distribución de cada parámetro estudiado, en donde se grafican los resultados de acuerdo al siguiente criterio: los resultados se dividieron en valores mayores al promedio y menores al promedio y en los mapas sólo se dibujó la isolinia del promedio.

Se hizo un estudio granulométrico de los sedimentos, en donde se observa que en la zona de estudio predominan los lodos, (máximo 99%, mínimo es 0%, promedio 76%), seguidos en abundancia por las arenas (máximo 93.66%, mínimo 0%, promedio 21.59%) y las gravas (máximo 54.6%, mínimo 0%, promedio 0.51%). En la figura 5.1 se observa el patrón de distribución que presentan los sedimentos en el área de estudio. En general los lodos siguen un patrón de distribución paralelo a la costa y aumentan con la profundidad (Fig 5.1a). Después siguen las arenas y al igual que los lodos tienen una distribución paralela a la costa, pero las arenas tienen una relación inversa con la profundidad, éstas disminuyen cuando la profundidad aumenta (Fig. 5.1b). Por último tenemos a las gravas, las encontramos en las menores profundidades y están en los sedimentos en menor proporción (Fig. 5.1c).

Un estudio granulométrico de los sedimentos es de gran ayuda, ya que la concentración de los minerales y metales está en función del tamaño de grano. En general las mayores concentraciones de los metales se encuentran en las partículas más finas de los sedimentos (Santiago, 1989).





En cuanto a los análisis químicos (Apéndice 5) que se hicieron en los sedimentos encontramos la siguiente información:

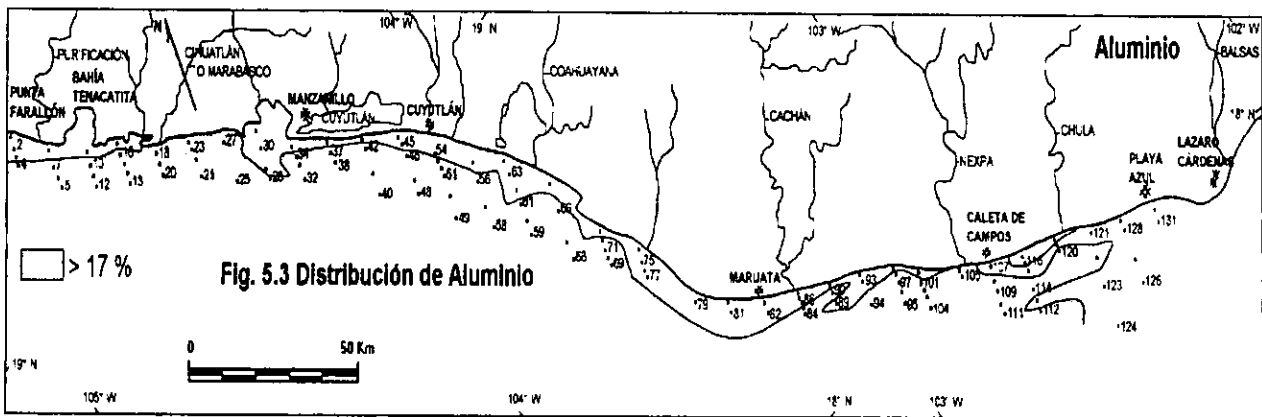
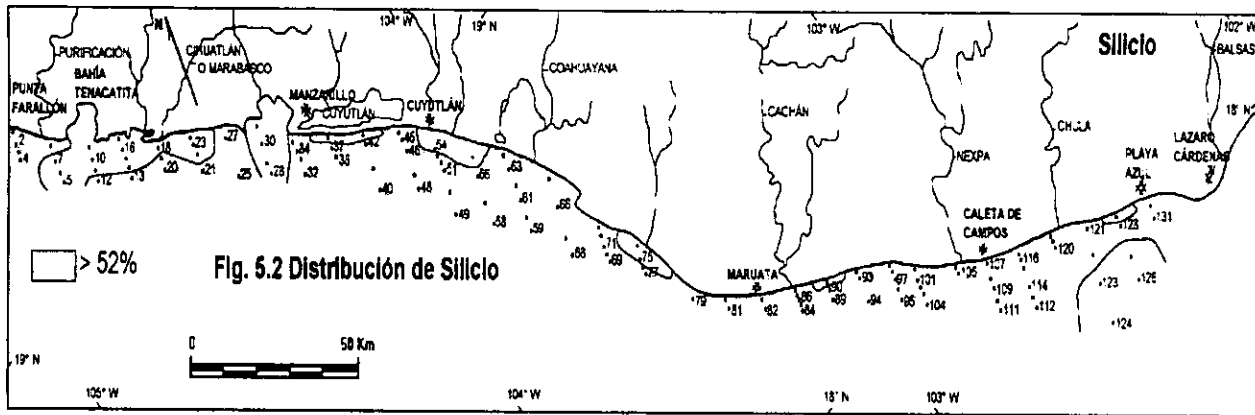
#### ELEMENTOS MAYORES

##### SILICIO

El silicio es el metal más abundante en la corteza, se encuentra presente en los minerales principales (aluminosilicatos) excepto en los carbonatos. Es un componente importante de los sedimentos de la plataforma. Las principales fuentes de aporte de este elemento al medio marino son el intemperismo de las rocas y la actividad volcánica (Méndez, 1993). El exceso de silicio en los sedimentos marinos se puede explicar por la existencia de cuarzo, el cual se deposita principalmente en las arenas o debido a la acumulación de organismos con esqueletos formados de sílice, que tienden a depositarse en los lodos (Nagender, 1989). El promedio de sílice para sedimentos costeros reportado por Wedephol es de 28.3% (Chester, 1990).

En el presente estudio el silicio se presenta en un rango de concentración que va de 13.29 a 60.64%, con un promedio de 51.96%.

En la figura 5.2 se observa que la mayoría de las estaciones tienen una concentración de silicio mayor al promedio, pero existen diferencias en ciertas regiones, en donde las concentraciones de silicio son menores al promedio. La primera zona se encuentra localizada en la región adyacente a la Bahía de Tenacatita, en donde los sedimentos tienen un alto contenido de hierro, lo cual se asocia a la litología del área adyacente y refleja bajas concentraciones de silicio. La siguiente región está localizada adyacente a la Bahía de Manzanillo en donde se observan altas concentraciones de carbonatos los cuales tienen un efecto de dilución en los sedimentos terrígenos y por lo tanto en la concentración de silicio de esta área.



## ALUMINIO

El aluminio es uno de los principales constituyentes de las rocas se encuentra presente en los aluminosilicatos en minerales como plagioclasas, micas, anfíbolos y piroxenos. El aluminio se aporta al medio marino en forma de arcillas originadas por el intemperismo de las rocas continentales (Skinner, 1967). El aluminio se considera indicador de aportes terrígenos, su concentración promedio en los sedimentos de plataforma reportada por Wedephol es 8.4% (Chester, 1990).

En el presente estudio después del silicio el aluminio es el elemento más abundante en los sedimentos (Fig. 5.3). La concentración mínima de aluminio es de 3.78% hasta un máximo de 21.45% y el promedio de 17.13%.

Las concentraciones máximas se encuentran ubicadas cerca a la desembocadura del río Cihuatlán, en donde se observa la influencia de este río en la composición de los sedimentos. La concentración de aluminio está directamente asociada al tamaño de grano y se observa una correlación alta entre la presencia de lodos y la concentración de aluminio.

En las estaciones cercanas a Caleta de Campos se observa que la isolínea de 17.13% tiene forma interdigitada, en donde todos los valores son menores al 15%. Ésto está aparentemente asociado a la presencia de sedimentos carbonatados en el área.

## HIERRO

El hierro en sedimentos marinos puede ser producto de la alteración de minerales ferromagnesianos, formando arcillas detríticas; como producto de actividades industriales u originarse de procesos hidrogénicos. En los sedimentos lo podemos encontrar formando carbonatos, óxidos, sulfuros o en forma libre (Méndez, 1993).

La concentración promedio para este metal en el área de estudio es de 6.39%, con intervalo de concentración que va de 1.95% a 9.46% (Fig. 5.4).

En el mapa de distribución para este elemento se observan 3 zonas con una concentración alta en hierro, la primera zona está localizada entre Bahía Tenacatita y Manzanillo, en donde desemboca el río Cihuatlán, la segunda se encuentra entre Cuyutlán y Maruata, en este lugar desemboca el río Coahuayana y la última es la zona adyacente a Caleta de Campos en la desembocadura del río Nexpa. Estas concentraciones tan altas de hierro pueden atribuirse a la influencia de ríos ya que en las tres zonas desembocan ríos importantes.

## MANGANESO

Es uno de los elementos traza más abundantes en la litósfera, se presenta en los minerales con diferentes estados de oxidación ( $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$  o  $Mn^{4+}$ ), siendo el más frecuente  $2+$  en minerales silicatados. El manganeso puede reemplazar al  $Fe^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  en silicatos y óxidos. Durante el intemperismo los compuestos de manganeso son oxidados rápidamente formando óxidos de manganeso (Méndez, 1993). Las concentraciones promedio para sedimentos de plataforma reportadas por Wedephol (Chester, 1990) son de 0.085%.

Para el manganeso en este trabajo la concentración máxima es de 0.18% y la mínima de 0.02% y promedio de 0.06%.

En el mapa de distribución para este metal (Fig. 5.5) se puede ver que las concentraciones más altas están cercanas a la costa, lo cual podría indicar la influencia terrígena de este elemento. También podemos ver que este metal conforme aumenta la profundidad disminuye la concentración.

## MAGNESIO

Las principales fuentes del magnesio pueden ser la alteración de minerales ferromagnesianos presentes en rocas ígneas y metamórficas, la alteración de rocas carbonatadas formadas por dolomita y por contaminación (Kabata-Pendias, 1984).

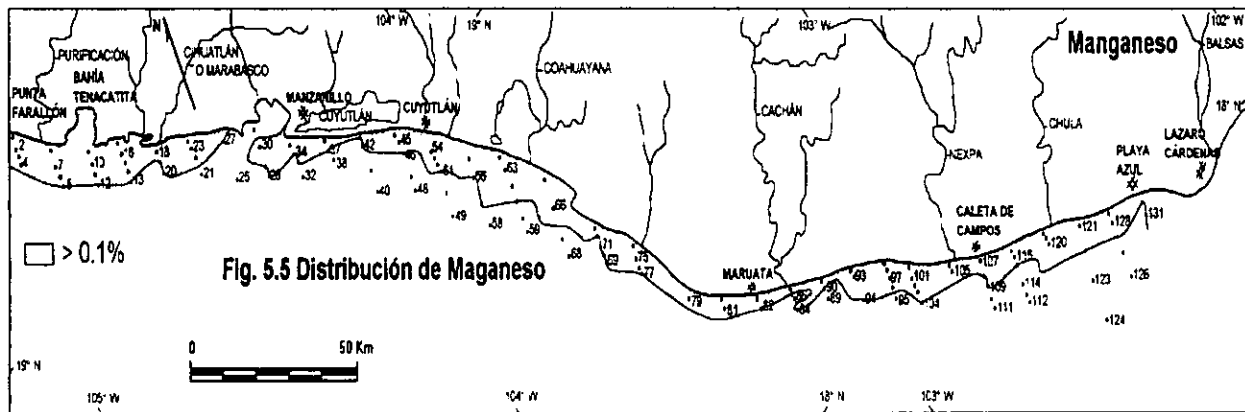
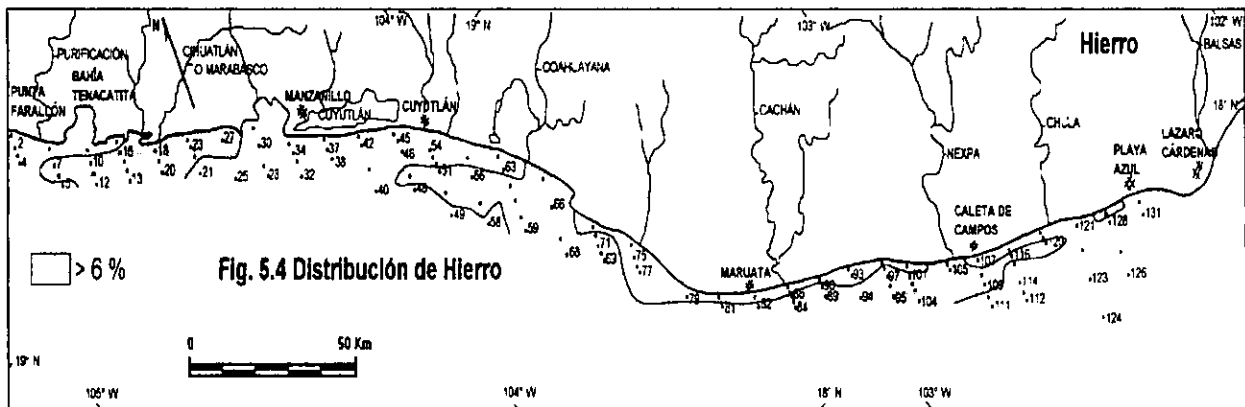
El promedio de concentración de este metal es de 1.65% el rango de concentración varía entre 1.11 y 3.74%. En la distribución para este elemento (Fig. 5.6), se observan 3 zonas en donde la concentración de éstas es menor al promedio la primera se encuentra en la región cercana a Bahía Tenacatita, la siguiente está en la zona adyacente a Cuyutlán y la última es cercana a Playa Azul.

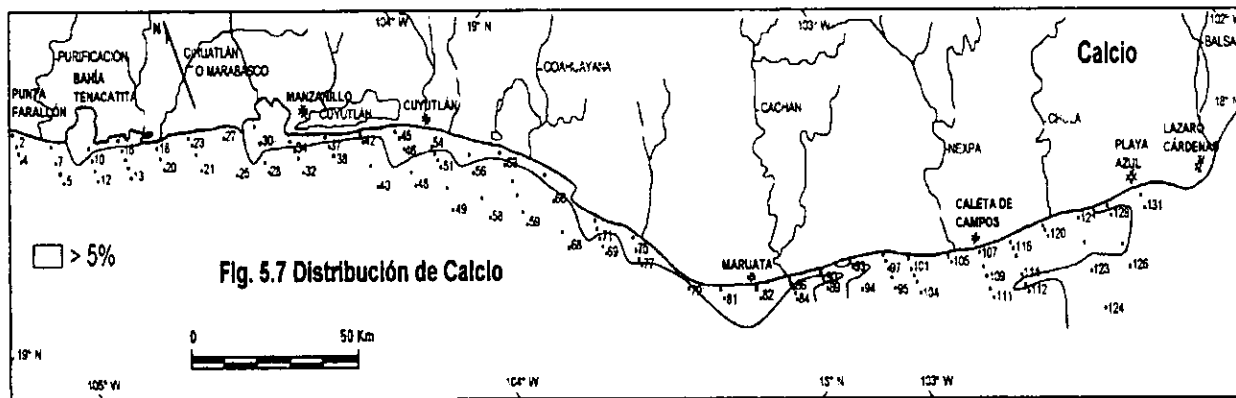
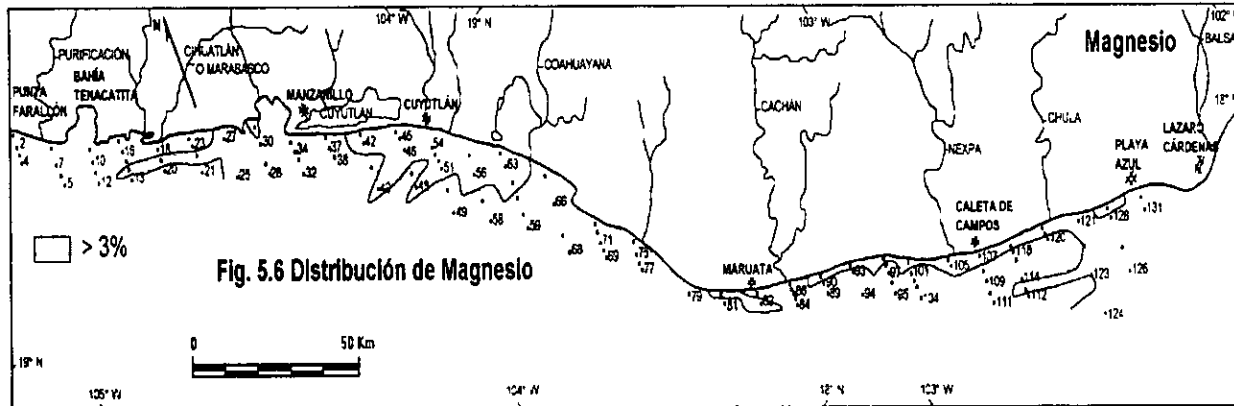
## CALCIO

El calcio lo encontramos en algunas rocas formando principalmente calcita y en sedimentos carbonatados, en donde, el carbonato de calcio es el principal componente de este tipo de sedimentos (Hesse, 1971).

El intervalo de concentración para el calcio en este estudio es de 1.37 a 46.98% con un promedio de 5.23%.

En el mapa de distribución (Fig. 5.7) se observa una región que está en la zona comprendida entre Manzanillo y Maruata en donde se ve claramente que el calcio tiene una relación inversa con la profundidad, pero existen dos regiones en donde las concentraciones son menores al promedio, lo cual podría atribuirse a la litología de la zona. También es importante resaltar que este elemento está altamente relacionado con los carbonatos de origen biogénico.







## SODIO

El sodio se aporta al ambiente marino durante la erosión de las rocas continentales sedimentarias compuestas por halita (NaCl) o al intemperismo de plagioclasas sódicas, contaminación asociada a la industria minera, papelera, producción de detergentes, sopas y otros productos domésticos y en menor proporción a sales presentes en el agua de mar (Nagender, 1989).

En la distribución de este metal en el área de estudio podemos ver dos regiones, una que va de Punta Farallón hasta Maruata en donde las concentraciones de sodio son altas todas mayores a 4.30% y la otra que va de Maruata hasta Playa Azul en donde a partir de la estación 31 se ve el límite de estas zonas y la concentración de sodio va disminuyendo hasta ser menor al promedio (4.27%).

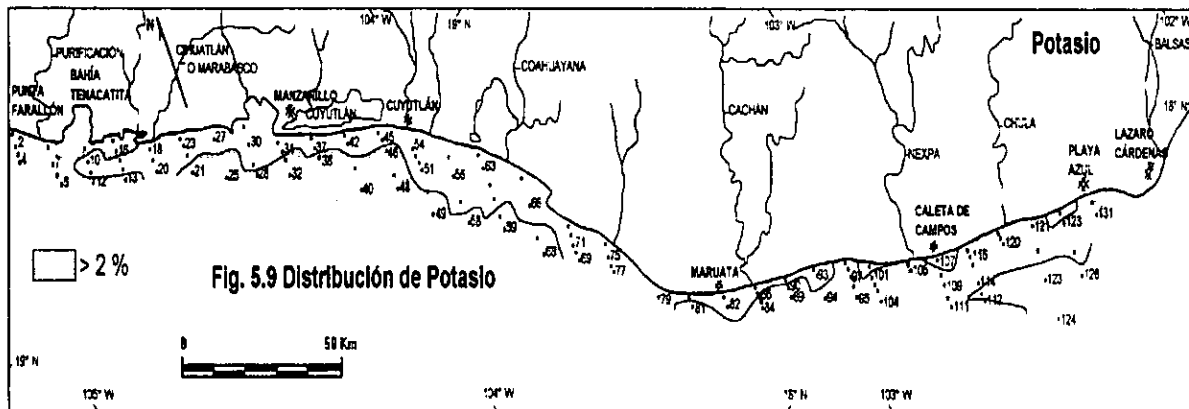
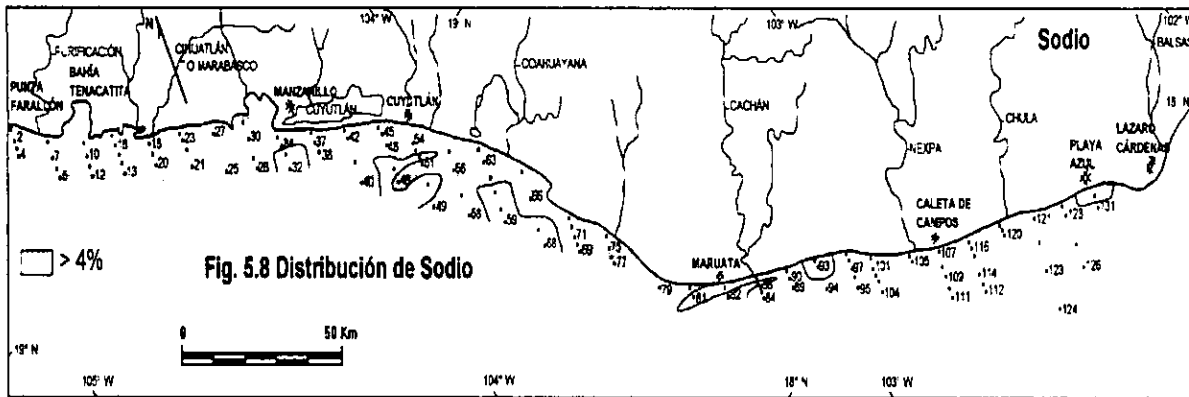
En el presente trabajo el rango de concentración para el sodio es de 2.23 a 5.81% (Fig. 5.8).

## POTASIO

El aporte de potasio a los sedimentos puede ser por la alteración de minerales como plagioclasas u ortoclasas y como producto de contaminación producto de desechos urbanos e industriales.

Cuando el potasio se absorbe preferentemente en las arcillas, se encuentra formando parte de silicatos principalmente en zeolitas, basaltos e illita. También puede estar presente en las arenas en forma de feldespatos de potasio (Nagender, 1989).

El promedio de concentración en este trabajo para el potasio es de 1.65% y el intervalo de concentración es de 0.05% a 2.31% (Fig. 5.9).



La distribución para el potasio demuestra que este metal tiene tendencia a depositarse en las partículas más finas de los sedimentos, en las estaciones más profundas la concentración de éste es mayor, lo cual indica la relación directa del potasio con la profundidad.

### TITANIO

El titanio es un constituyente común de las rocas sus principales minerales son la ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) y el rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) que son muy resistentes al intemperismo y son minerales accesorios comunes en las rocas plutónicas y metamórficas (Rosales-Hoz, 1992).

La concentración mínima para el titanio es de 0.19%, la máxima de 1.02 y el promedio de 0.82%.

En general la distribución de este elemento (Fig. 5.10) es muy parecida a la distribución que tiene el hierro, existen zonas en donde la concentración de estas muestras es alta, mayor al promedio, lo cual puede estar asociado al sistema fluvial de la zona de estudio.

### FÓSFORO:

En los sedimentos marinos al fósforo lo encontramos formando fosforitas ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), cuando está en altas concentraciones o en forma de apatita.

El promedio del fósforo es de 0.22%. El intervalo de concentración va de 0.11 a 17.83% (Fig. 5.11). En el mapa de distribución se ve que el fósforo está inversamente relacionado con la profundidad; conforme ésta aumenta, la concentración va disminuyendo, excepto en una zona que está localizada entre

Bahía Tenacatita y Manzanillo en donde las concentraciones de fósforo son más altas que el promedio, lo cual podría atribuirse a la litología.

Hay tres muestras (123, 124 y 126) las cuales tienen concentraciones (1.08, 17.83 y 2.51% respectivamente) de fósforo más altas de lo normal, predecir el origen de este fósforo es difícil ya que los datos que se tienen al respecto son insuficientes. Estas muestras están localizadas en la zona adyacente a Lázaro Cárdenas, en el extremo del área de estudio. El origen de este fósforo podría ser debido a la formación de un banco de fosforitas de origen reciente o a la influencia antrópica debida a la zona industrial que se encuentra en Lázaro Cárdenas.

Se ha reportado que las fosforitas marinas se encuentran acompañadas de altas concentraciones en  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$  y  $Al_2O_3$  lo que puede indicar la presencia de glauconita, alto contenido en  $Fe_2O_3$ , lo que indica la presencia de óxidos férricos, si la relación  $SiO_2/Al_2O_3$  es alta indica la existencia de cuarzo o altas concentraciones en  $MgO$  lo que significa la presencia de dolomita, además de altas concentraciones de carbonato biogénico. En cuanto a los elementos traza se ha encontrado que las rocas de fosforitas tienen un enriquecimiento en elementos como Ag, As, Cd, Cr, I, La, Mo, Pb, Sb, Se, Sn, Y, Sr y U. Summerhayes reportó estos valores para fosforitas africanas Sr (1298 a 1754 ppm), U (36 a 147 ppm), Y (9 a 142 ppm), Ce (3 a 26 ppm) La (4 a 48 ppm), As (51 a 69 ppm), Cr (105 a 290 ppm), Cu (356 a 559 ppm), Br (1311 a 1314 ppm), I (312 a 565 ppm) y V (75 a 151 ppm) (Riley y Chester, 1980).

Si se analizan estas características reportadas para las fosforitas y las comparamos con los resultados que se obtuvieron en el presente estudio, observamos que los resultados que se encontraron sólo cumplen con el alto contenido en carbonato biogénico y las altas concentraciones de estroncio, lo cual sugiere hacer un estudio más específico dedicado a explicar el por qué de

dichas concentraciones tan altas, ya que con los datos que se obtuvieron podríamos inferir que se trata de fósforo de origen antrópico porque no se cumplen la mayoría de las características antes mencionadas.

### MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica en los sedimentos puede provenir por el acarreo al mar de organismos terrestres, la cual llega al océano por la desembocadura de los ríos o derivarse de la alta productividad biológica existente en el medio marino (Manjuata, 1997).

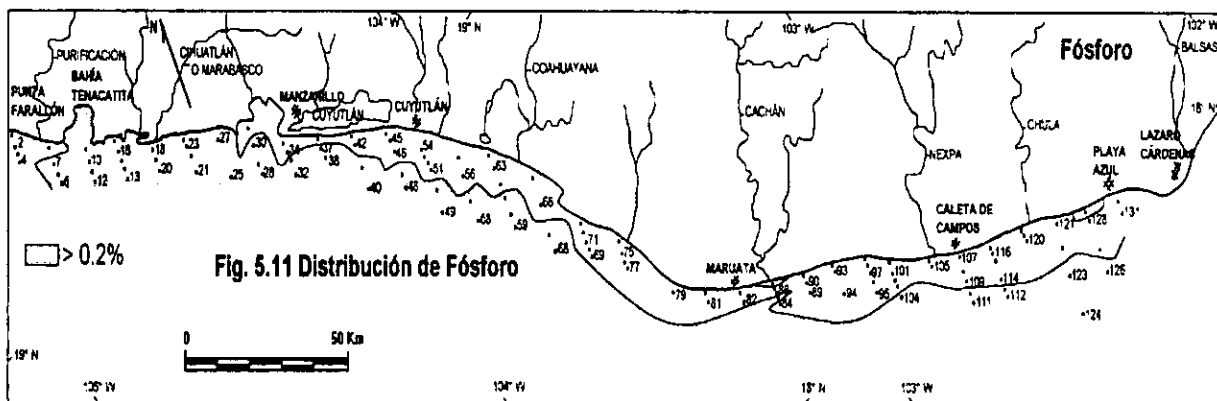
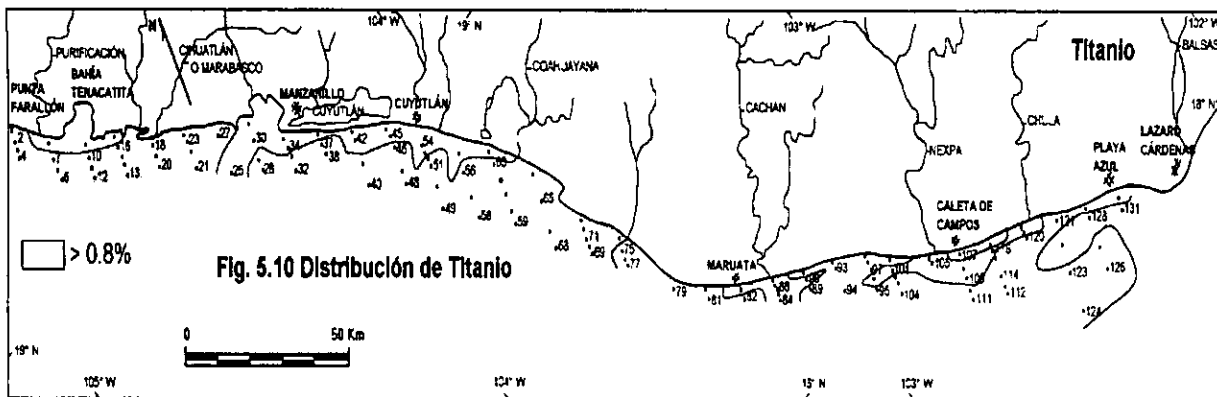
En este trabajo el promedio de concentración de la materia orgánica es de 1.60%, la concentración máxima de 3.61% y la mínima de 0.01%.

En la distribución (Fig. 5.12) para la materia orgánica se puede ver que ésta tiende a depositarse en las partículas más finas ya que las concentraciones más altas se encontraron en las estaciones más profundas.

Entre Caleta de Campos y Playa Azul existe una zona en donde la isolínea de 1.60% tiene forma interdigitada y las concentraciones son todas menores al promedio.

### CARBONATO DE CALCIO

En sedimentos marinos el carbonato está formando principalmente dos minerales aragonita y calcita (Brownlow, 1979). O derivarse de esqueletos de restos orgánicos, que están formados principalmente de carbonato de calcio (Riley, 1989).



En el presente estudio el intervalo de concentración va de 0.46 a 57.90% y el promedio es de 6.52% (Fig. 5.13).

En los resultados se encontraron algunas muestras con concentraciones muy altas de carbonato, estas muestras se analizaron al microscopio y se observó que las estaciones 31, 91, 113, 123 y 126 tenían alto contenido en biógenos (conchas). Sin embargo existe una zona cercana a Maruata en donde también hay concentraciones altas de carbonato y sin conchas, ésto se puede atribuir a la existencia de rocas calizas en el área de estudio.

## **METALES TRAZA**

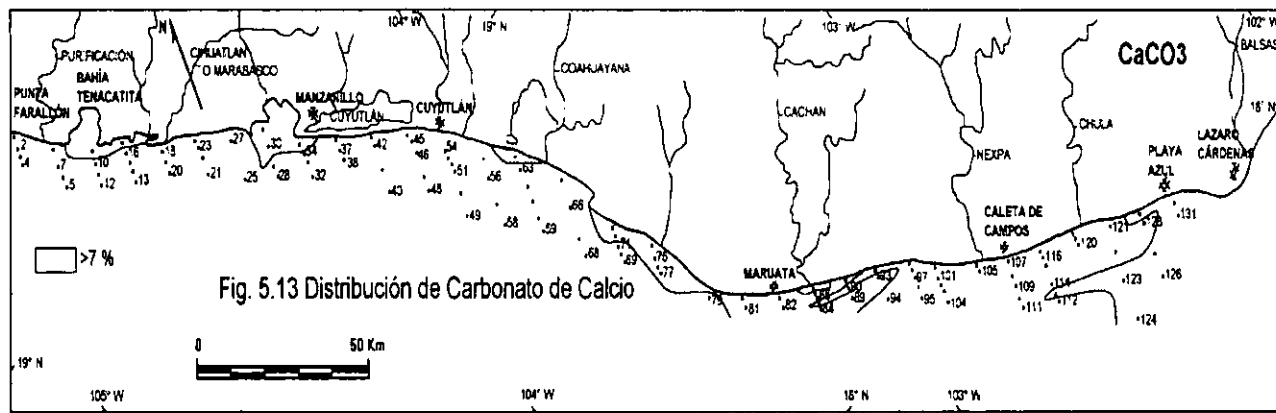
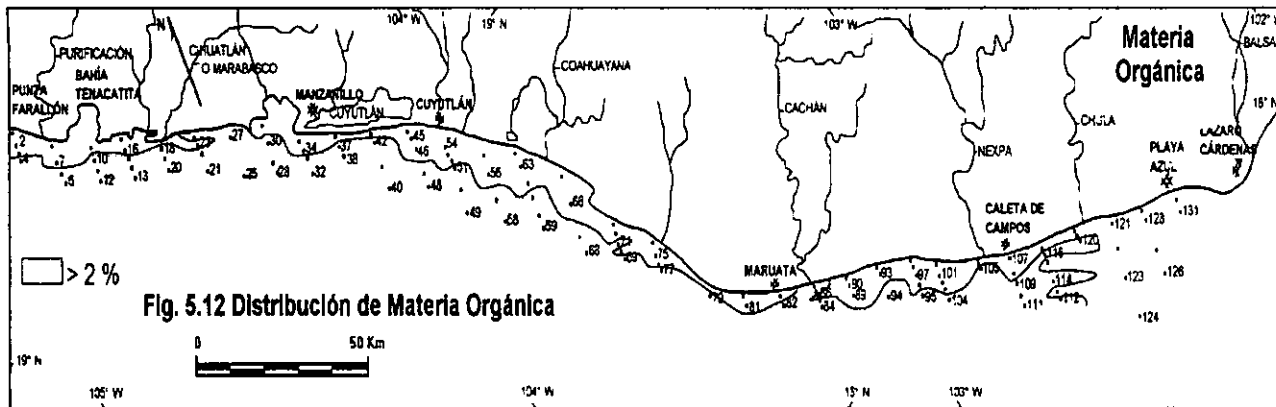
### **CROMO**

El cromo es considerado un metal esencial para los organismos cuando lo tenemos en bajas concentraciones, cuando éstas aumentan, el cromo VI es muy tóxico por su solubilidad y fácil penetración al interior de las células, mientras que el cromo III es insoluble y de difícil ingreso. En ríos y océanos se encuentra formando complejos, principalmente hidróxidos. En ambientes costeros el cromo está íntimamente asociado a desechos industriales, minería, curtiduría, galvanoplastia y a la industria de los fertilizantes (Villanueva, 1992).

El promedio de concentración del cromo en la corteza terrestre es de 88 ppm (Merian, 1991).

En el presente trabajo el cromo tiene un promedio de concentración de 69.59 ppm y un rango que va de 17 a 100 ppm.

En el mapa de distribución (Fig. 5.14) podemos observar que este metal tiene una correlación importante con la profundidad.





## COBALTO

El origen del Co en los sedimentos de la plataforma continental es principalmente litogénico se ha reportado que tiene una fuerte afinidad con los óxidos de hierro y manganeso (Paez-Osuna, 1990).

Trazas de cobalto se encuentran en todas las rocas y suelos, el contenido de cobalto en suelos va de 8 a 19 ppm (Merian, 1991).

En el presente trabajo para el cobalto el máximo es 47 ppm y el mínimo es 5 ppm con un promedio de 16 ppm (Fig. 5.15).

Se observan concentraciones altas de este elemento la zona localizada entre Punta Farallón y antes de Manzanillo. El Co se concentra principalmente en los tamaños finos de grano.

## NÍQUEL, COBRE Y ZINC

El níquel se relaciona con un estado de oxidación 2+ con olivinos y se intercambia con  $Fe^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  en estructuras de piroxenos anfífolas y micas. La ilmenita y la homoblenda constituyen más del 75% del total de los residuos de minerales pesados, estos minerales pueden atrapar al níquel y al cromo en su estructura (Padmatal, 1997). El promedio de concentración en la corteza terrestre para el níquel es de 45 ppm (Merian, 1991).

El cobre puede ser fijado en la materia orgánica y tiene afinidad con los sulfuros. Se ha demostrado que las altas concentraciones de cobre en sedimentos, son debidas a la formación de complejos orgánicos que tienen en su estructura a este metal (Paez-Osuna, 1990). La concentración promedio del cobre en suelos es de 20 a 30 ppm y la concentración límite permitida en suelos es de 100 ppm (Merian, 1991).

El zinc se encuentra distribuido en la corteza uniformemente en las rocas magmáticas como sulfuro y en algunos minerales puede sustituir al hierro y al magnesio en olivinos, piroxenos y anfíbolos. Así como al hierro y al magnesio en óxidos. Está relacionado con la montmorilonita, ya que este mineral tiene una alta capacidad de intercambio con el zinc en condiciones alcalinas. También se puede asociar a descargas contaminantes de industrias fundidoras (Padmatal, 1997). En la corteza terrestre el zinc se encuentra con una concentración promedio de 69 ppm (Merian, 1991).

El intervalo de concentración en este trabajo de estos elementos en la zona de estudio es níquel de 8 a 48 ppm (fig. 5.16), cobre es de no detectado a 106 ppm (Fig. 5.17) y zinc es de 19 a 147 ppm (fig. 5.18); los promedios son 31.71, 41.81 y 97.53 respectivamente.

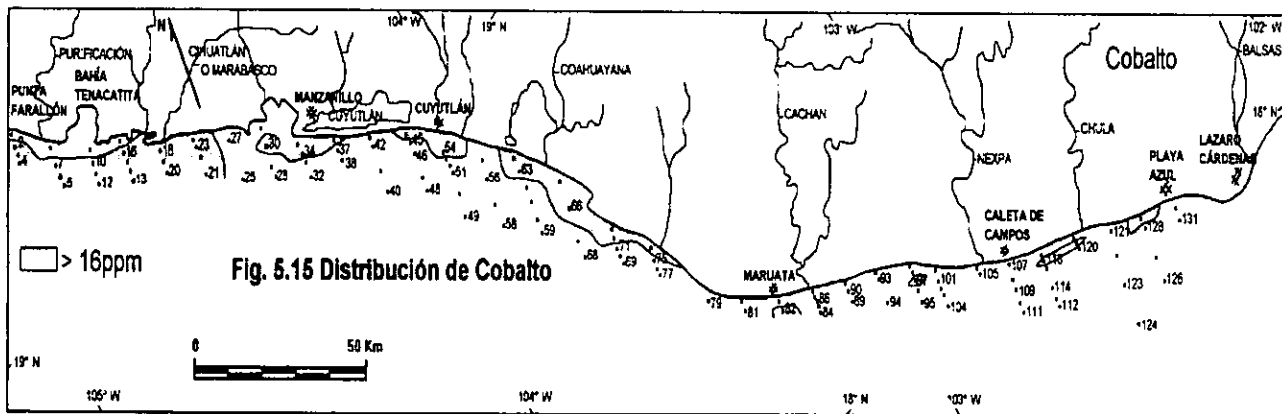
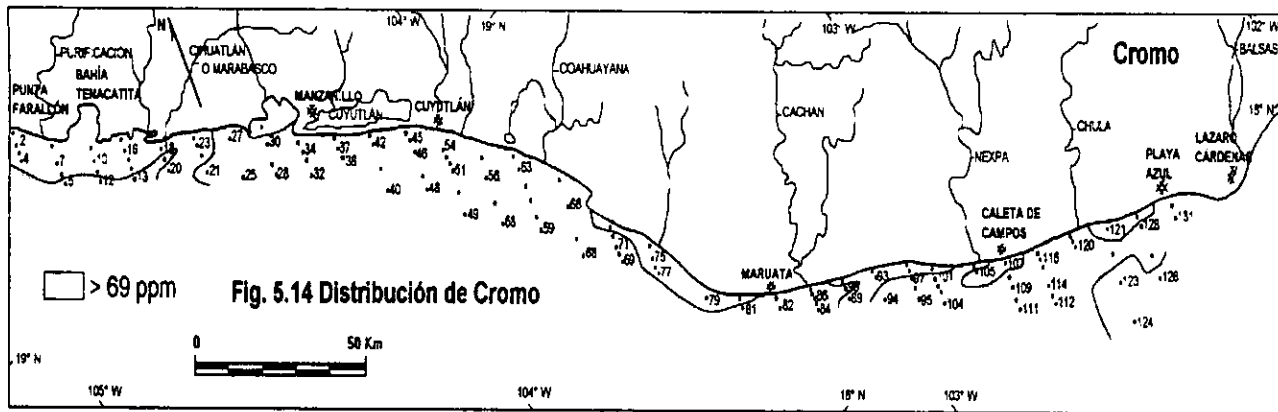
La distribución de estos metales es muy parecida; en general, las concentraciones más altas están a mayor profundidad, lo que sugiere que estos metales tienen afinidad por depositarse en las partículas más finas de grano.

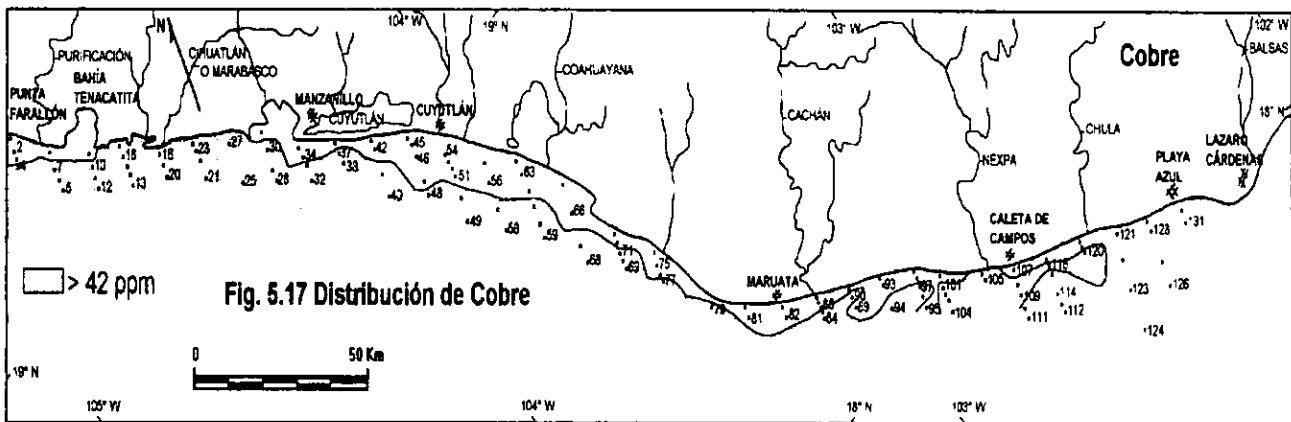
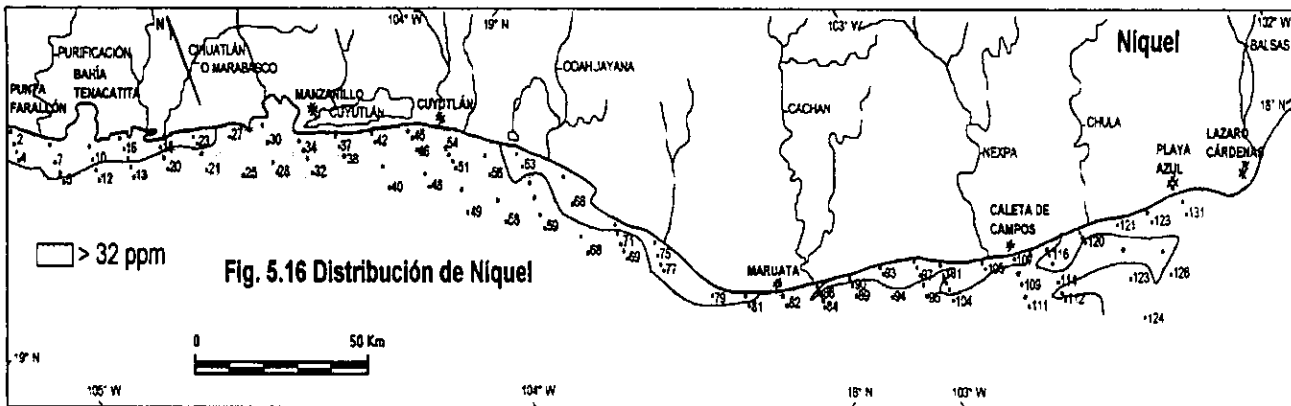
## RUBIDIO

El rubidio lo encontramos en los sedimentos derivado de las pegmatitas y se comporta de una manera similar al potasio (Hesse, 1971).

El intervalo de concentración para el rubidio en el presente estudio es de 8 a 95 ppm y el promedio es de 55 ppm (Fig. 5.19).

En general observamos que a mayor profundidad tenemos las concentraciones más altas para el rubidio, es decir, se deposita en los lodos, excepto en las zonas adyacentes a Caleta de Campos y Playa Azul en donde no se deposita a mayor profundidad pero sí en los tamaños de partícula más finos.





## ESTRONCIO

Se ha reportado que los carbonatos tienen afinidad por el estroncio ya que este elemento dada sus propiedades químicas puede sustituir al calcio en los sedimentos carbonatados, este metal puede ser incorporado en minerales arcillosos, así como fijado en la materia orgánica, sin embargo es más común encontrarlo en carbonatos biogénicos (Skinner, 1969).

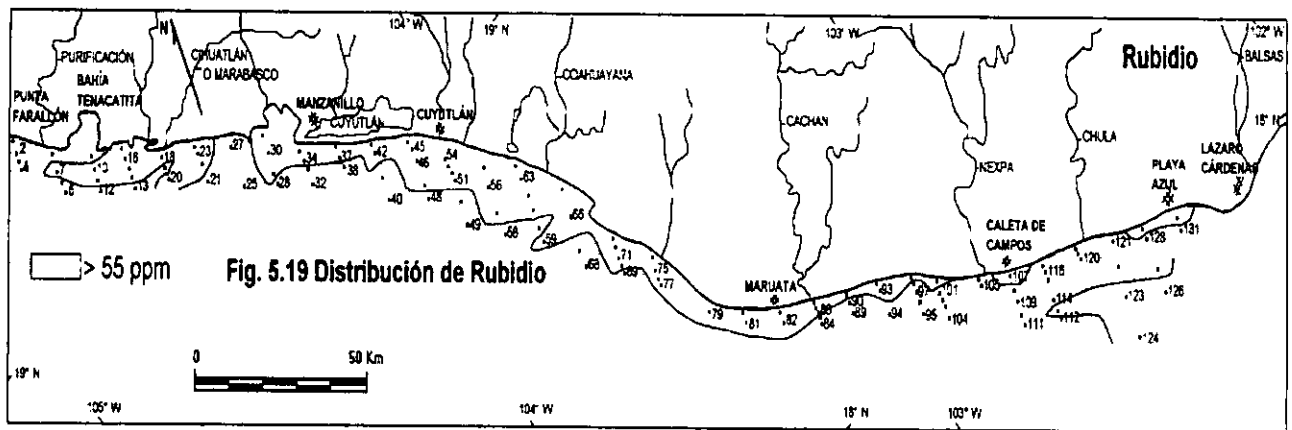
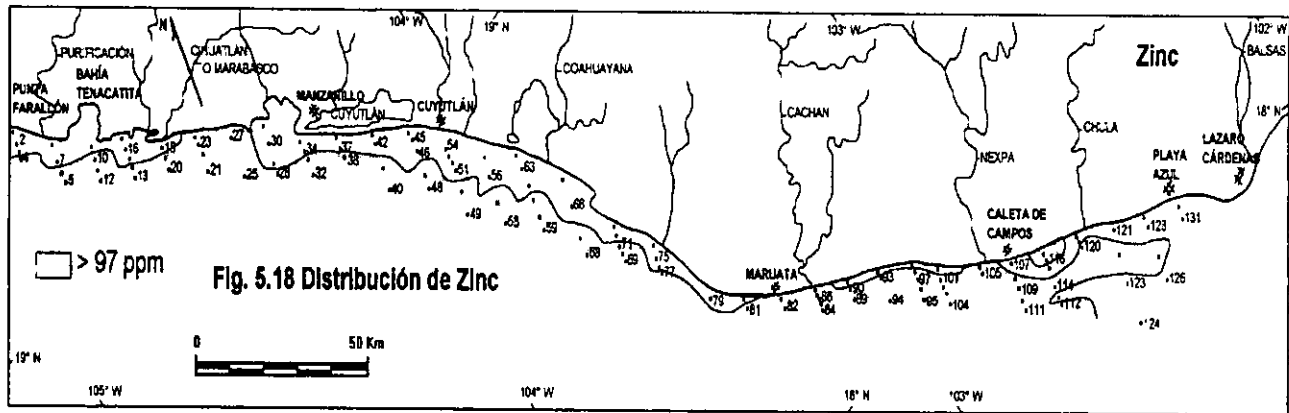
En el mapa de distribución se observa (Fig. 5.20), que al igual que los carbonatos y el calcio en las estaciones con biógenos (31, 91, 113, 123 y 126) tenemos las concentraciones más altas, lo que indica la asociación de estos tres parámetros con un aporte fuertemente biogénico. El estroncio tiende a depositarse en los tamaños de grano más grueso.

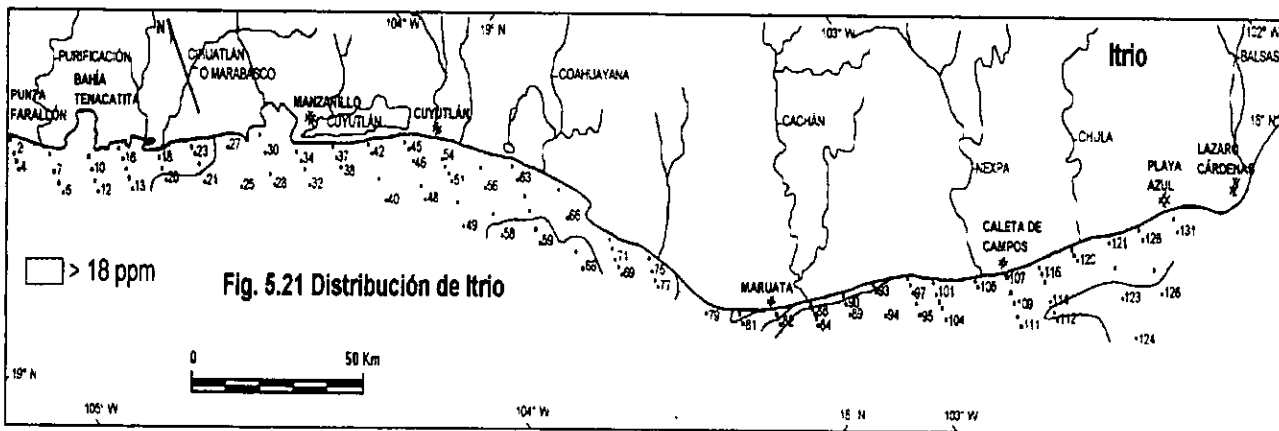
El intervalo de concentración para el estroncio en este estudio es de 131 ppm a 1729 ppm con un promedio de 334 ppm.

## ITRIO, CIRCONIO Y NIOBIO

El itrio se encuentra junto a los lantanidos formando minerales como monacita, itrialita y en minerales complejos. En la corteza terrestre su abundancia es relativamente alta, el promedio de concentración es de 28 ppm, aunque últimamente este promedio ha aumentado debido a las actividades antropogénicas. En los océanos al itrio lo encontramos como  $YCO_3^+$ ,  $Y(OH)^{3+}$ . Se ha reportado que el  $Y^{3+}$  puede reemplazar al  $Ca^{2+}$  (Merian, 1991).

El circonio se encuentra presente en muchos minerales principalmente en circonia ( $ZrO_2$ ) y en circón ( $ZrO_2 \cdot SiO_2$ ). En el mar está en forma de  $Zr(OH)_4$  y  $Zr(OH)_5^-$  (Merian, 1991).





El mineral principal del niobio es la niobita ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ), el promedio de este elemento en la corteza terrestre es de 25 ppm. El niobio en el agua de mar está en forma de  $\text{Nb}(\text{OH})_6^-$  (Merian, 1991).

En el presente estudio para el itrio el intervalo de concentración es de 6 a 24 ppm y el promedio de 18 (Fig. 5.21), el circonio tiene un rango que va desde no detectado hasta 245 ppm y el promedio de 143 ppm (Fig. 5.22) y finalmente para el niobio el promedio es 9 ppm y un rango de 3 a 12 ppm (Fig. 5.23).

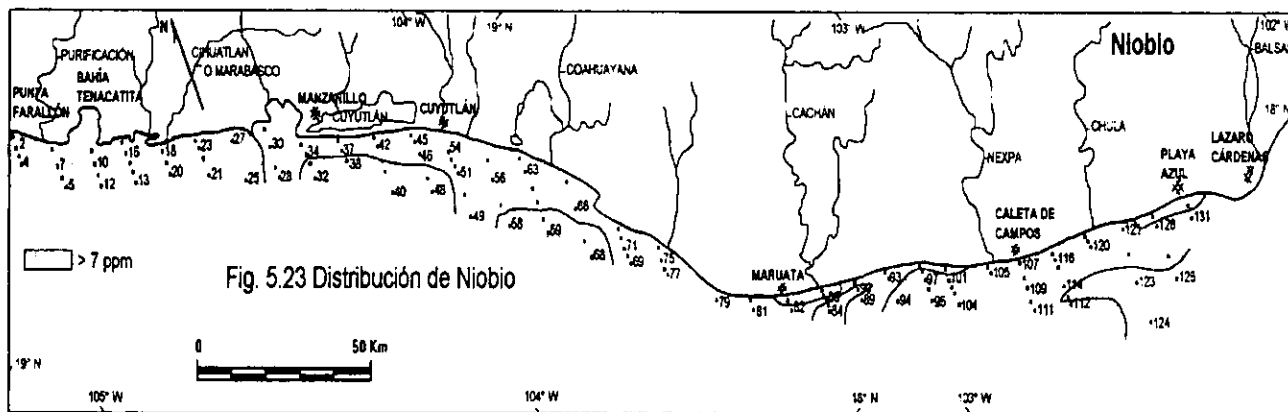
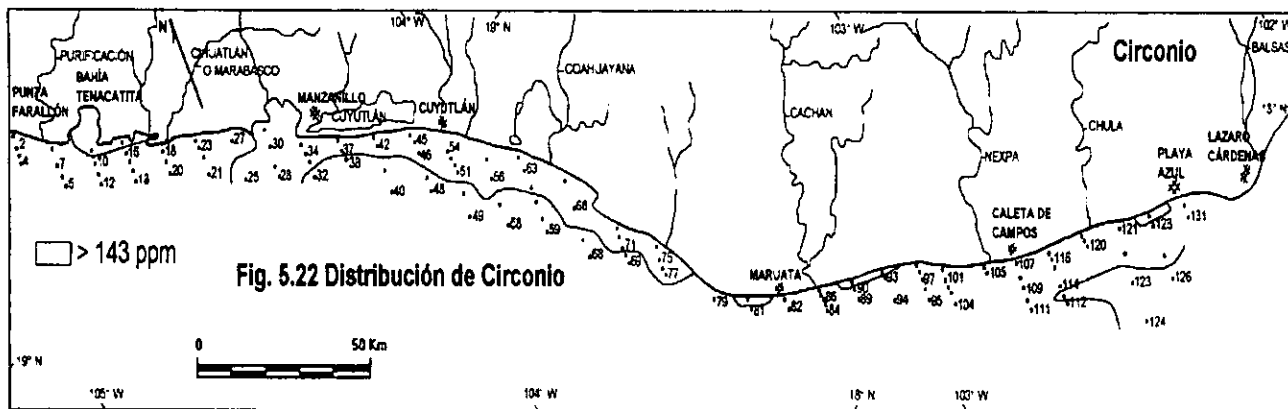
De acuerdo con los mapas de distribución para estos elementos se observa que su distribución en los sedimentos es muy parecida para los tres. Podemos ver que tienden a depositarse en los sedimentos más profundos, ya que en estas zonas tenemos las mayores concentraciones, lo cual indica su afinidad por su depósito en tamaños finos.

## BARIO

El Ba en la corteza terrestre se encuentra en rocas magmáticas, se asocia con el potasio, debido a que tienen un radio iónico similar y su presencia está ligada con feldespatos alcalinos y con biotita, en los medios acuáticos su movilidad es baja y precipita en forma de sulfatos y carbonatos y es atrapado por las arcillas (Méndez, 1993).

En el presente trabajo la concentración máxima para este elemento es de 606 ppm, la mínima de 103 ppm y el promedio de 350 ppm (Fig. 5.24).





En el área adyacente a Manzanillo y a Cuyutlán se observa una zona con altas concentraciones de bario depositado a menores profundidades, en tamaños de grano grueso y otra zona cercana a Caleta de campos y Playa Azul en donde el comportamiento es inverso las mayores concentraciones están depositadas en su mayoría en los tamaños más finos.

El aluminio se considera un elemento indicador del origen terrígeno de los sedimentos, cuando la relación Fe/Al o Mn/Al es alta, apoya el origen detrítico de dichos elementos. El Fe y el Mn en los sedimentos marinos pueden estar asociados: 1) arcillas pelágicas, 2) metales hidrogénicos, 3) componentes metalíferos y 4) componentes detríticos.

Para diferenciar el origen de los sedimentos según la información anterior y basándose en la información encontrada en la bibliografía se utilizó un índice que da información sobre la influencia terrígena en los sedimentos, el cual se aplicó en los resultados. Este índice es Terrigenous Index Factor (TIF) (Nagender, 1989), que está dado por la relación:

$$TIF = \frac{[Al]}{([Al] + [Fe] + [Mn])}$$

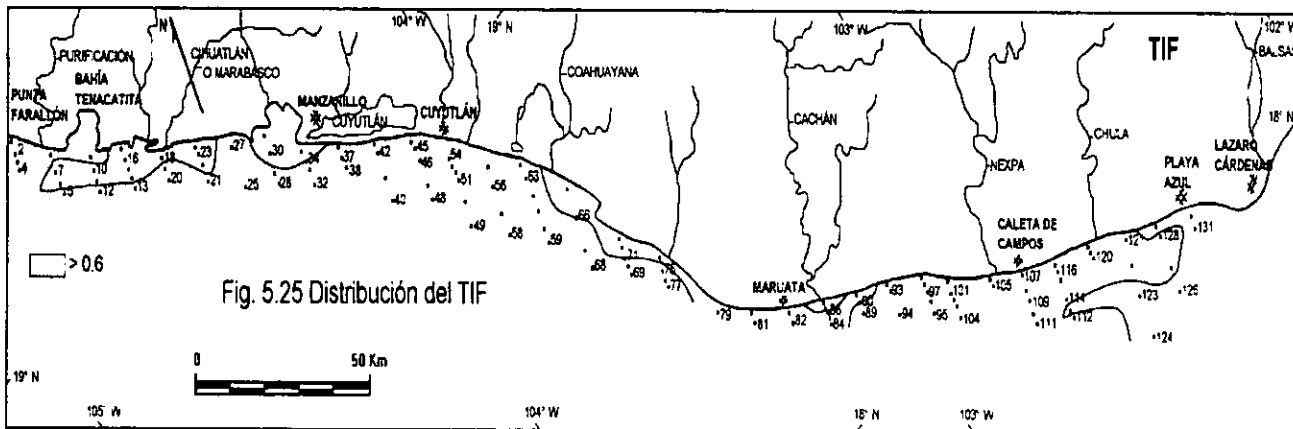
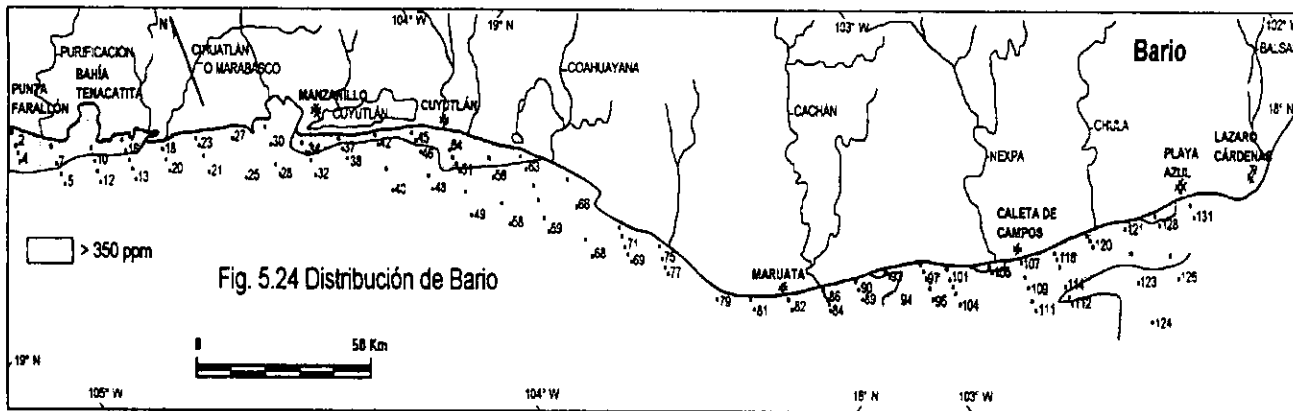
en donde:

[Al] es la concentración de aluminio

[Fe] es la concentración de hierro

[Mn] es la concentración de manganeso

Este factor indica que si el TIF es mayor de 0.50 (valor alto) tenemos una fuerte influencia terrígena en los sedimentos.



La información que proporciona el TIF indica que en toda el área de estudio se tiene un fuerte aporte terrígeno (Fig. 5.25), ya que la mayoría de los resultados son mayores a 0.50, excepto en los sedimentos carbonatos, lo que indica, la influencia biogénica en estas muestras.

Con el objeto de integrar la información generada se realizó una matriz de correlación (Tabla 5.1), los valores con una correlación significativa permitieron agrupar los diferentes parámetros estudiados en 2 grupos.

En el primer grupo las variables tienen un alto índice de correlación entre ellas y pertenecen al grupo biogénico, en donde se relacionan las gravas, las arenas, carbonatos, pérdida por calcinación, calcio, fósforo y estroncio.

La distribución de carbonatos permite definir la existencia de dos zonas con sedimentos carbonatados, la primera la tenemos en la zona inmediata a Manzanillo (muestras 30, 31 y 35), lo cual aparentemente se relaciona con la existencia de restos de moluscos asociado a la presencia de la laguna costera Cuyutlán (Carranza-Edwards, 1996). La segunda zona la tenemos en el área adyacente a Playa Azul comprende las muestras 113, 123, 124, 126, 127, 129, 130 y 131, lo cual se puede relacionar con la alta productividad biológica de la zona. Los resultados obtenidos en el microscopio indican la presencia de biógenos en las muestras con las concentraciones más altas de carbonato. Estos sedimentos sólo presentan correlación significativa con el estroncio y fósforo y su distribución indica que los valores más altos están en las regiones de sedimentos carbonatados. También se observa que estos elementos tienden a depositarse en los sedimentos con tamaño de grano grueso.

En el segundo grupo se relacionan los parámetros restantes como son silicio, aluminio, hierro, titanio, magnesio, manganeso, sodio, potasio, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, rubidio, itrio, circonio, niobio, bario, lodos, profundidad, materia orgánica y TIF.

En el área de estudio encontramos concentraciones muy altas de hierro, la litología indica que en las zonas localizadas entre Bahía Tenacatita y Manzanillo, Cuyutlán y Maruata y en Caleta de campos tenemos zonas en donde predominan las rocas plutónicas y están formadas de minerales como olivinos y piroxenos los cuales contienen en su estructura al hierro, además de que en esta zona hay importantes yacimientos de este elemento, lo que indica que las altas concentraciones son debidas a un posible aporte continental para el hierro.

La matriz de correlación dio una relación positiva del hierro con el titanio (0.74), lo cual indica que el titanio en estos sedimentos puede estar en forma de ilmenita. El hierro también se correlaciona positivamente con el manganeso (0.51), níquel (0.38) y zinc (0.67), el manganeso y el níquel se incorporan a la estructura cristalina de la pirita y a la de monosulfuros de hierro durante su precipitación. El zinc y el níquel se relacionan con anfíbotas piroxenos micas y olivinos los cuales sustituyen al hierro y al magnesio en estos minerales. La alta correlación existente entre estos metales puede indicar un fuerte aporte continental para todos éstos.

En el medio marino al aluminio se le relaciona con algunos elementos traza (As, Cr, Mo), los cuales existen como oxianiones y forman fases sólidas insolubles (Merian, 1991). La relación Al vs Cr es positiva (0.50) lo cual puede indicar que se trata de lo anterior.

|        | PROF  | GRAVAS | ARENAS | LODOS | MATORO | CaCO3 | PERDOL | SiO2  | Al2O3 | Fe2O3 | MnO   | MgO   | CaO   | Na2O  | K2O   | TiO2  | P2O5  | Cr    | Co   | Ni    | Cu    | Zn    | Rb    | Sr    | Y    | Zr   | Ba   | Nb   | Tf   |  |  |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|--|--|
| PROF   | 1.00  |        |        |       |        |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| GRAVAS | -0.11 | 1.00   |        |       |        |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| ARENAS | -0.64 | 0.29   | 1.00   |       |        |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| LODOS  | 0.62  | -0.35  | -0.69  | 1.00  |        |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| MATORO | 0.69  | -0.21  | -0.69  | 0.73  | 1.00   |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| CaCO3  | -0.18 | 0.76   | 0.33   | -0.51 | -0.34  | 1.00  |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| PERDOL | 0.41  | 0.43   | -0.25  | 0.16  | 0.37   | 0.66  | 1.00   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| SiO2   | 0.07  | -0.56  | -0.26  | 0.50  | 0.22   | -0.81 | -0.57  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Al2O3  | 0.41  | -0.49  | -0.01  | 0.79  | 0.60   | -0.75 | -0.16  | 0.74  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Fe2O3  | 0.26  | -0.41  | -0.56  | 0.88  | 0.43   | -0.56 | -0.17  | 0.43  | 0.74  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| MnO    | -0.39 | -0.27  | 0.18   | -0.25 | -0.31  | -0.21 | -0.49  | 0.24  | 0.08  | 0.38  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| MgO    | 0.32  | -0.18  | -0.43  | 0.48  | 0.37   | -0.21 | 0.11   | 0.39  | 0.61  | 0.41  | 0.24  | 1.00  |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| CaO    | -0.20 | 0.68   | 0.42   | -0.50 | -0.42  | 0.92  | 0.63   | 0.02  | -0.85 | 0.02  | -0.23 | 0.40  | 1.00  |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Na2O   | -0.06 | 0.14   | 0.30   | -0.13 | 0.00   | -0.22 | -0.39  | 0.14  | 0.14  | 0.34  | 0.26  | 0.02  | 0.21  | 1.00  |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| K2O    | 0.23  | -0.30  | -0.42  | 0.62  | 0.38   | -0.57 | -0.19  | 0.69  | 0.60  | 0.38  | 0.01  | 0.20  | -0.70 | -0.35 | 1.00  |       |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| TiO2   | 0.16  | 0.50   | -0.35  | 0.67  | 0.42   | -0.71 | -0.35  | 0.74  | 0.86  | 0.74  | 0.32  | 0.60  | 0.64  | 0.30  | 0.63  | 1.00  |       |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| P2O5   | 0.05  | 0.09   | -0.07  | -0.25 | -0.11  | 0.12  | 0.06   | -0.57 | -0.44 | -0.16 | 0.27  | -0.36 | 0.43  | -0.27 | -0.32 | -0.51 | 1.00  |       |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Cr     | 0.40  | 0.30   | -0.38  | 0.47  | 0.44   | -0.44 | 0.03   | 0.61  | 0.62  | 0.15  | -0.21 | 0.62  | 0.49  | -0.11 | 0.37  | 0.30  | -0.21 | 1.00  |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Co     | -0.08 | -0.13  | 0.09   | -0.03 | 0.07   | -0.19 | -0.20  | 0.06  | 0.24  | 0.68  | 0.46  | 0.10  | -0.21 | 0.42  | -0.14 | 0.38  | -0.16 | 0.22  | 1.00 |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Ni     | 0.60  | -0.25  | -0.54  | 0.64  | 0.63   | -0.41 | 0.16   | 0.41  | 0.68  | 0.39  | 0.70  | 0.66  | -0.49 | 0.02  | 0.29  | 0.40  | -0.23 | 0.66  | 0.00 | 1.00  |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Cu     | 0.68  | -0.30  | -0.59  | 0.68  | 0.64   | -0.44 | 0.10   | 0.30  | 0.78  | 0.11  | 0.39  | -0.50 | 0.09  | 0.30  | 0.66  | -0.21 | 0.03  | 0.41  | 0.38 | 1.00  |       |       |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Zn     | 0.66  | -0.31  | -0.76  | 0.66  | 0.66   | -0.49 | 0.14   | 0.66  | 0.78  | 0.08  | -0.10 | 0.61  | -0.02 | -0.26 | 0.66  | 0.62  | -0.29 | 0.62  | 0.01 | 0.63  | 0.68  | 1.00  |       |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Rb     | 0.33  | -0.26  | -0.54  | 0.63  | 0.46   | -0.44 | 0.05   | 0.62  | 0.64  | 0.32  | 0.16  | 0.16  | 0.54  | -0.53 | 0.93  | 0.36  | -0.20 | 0.38  | 0.74 | 0.32  | 0.38  | 0.70  | 1.00  |       |      |      |      |      |      |  |  |
| Sr     | -0.22 | 0.69   | 0.47   | -0.56 | -0.42  | 0.86  | 0.46   | -0.90 | -0.60 | 0.00  | -0.22 | 0.40  | 0.93  | -0.06 | -0.71 | -0.79 | 0.46  | -0.42 | 0.16 | -0.43 | -0.52 | -0.69 | -0.02 | 1.00  |      |      |      |      |      |  |  |
| Y      | 0.03  | -0.54  | -0.36  | 0.46  | 0.22   | -0.68 | -0.43  | 0.77  | 0.62  | 0.68  | 0.35  | 0.24  | 0.70  | -0.17 | 0.82  | 0.67  | -0.39 | 0.19  | 0.13 | 0.14  | 0.42  | 0.61  | 0.73  | -0.05 | 1.00 |      |      |      |      |  |  |
| Zr     | 0.17  | -0.41  | -0.44  | 0.56  | 0.37   | -0.63 | -0.27  | 0.67  | 0.61  | 0.61  | 0.01  | 0.11  | -0.09 | -0.16 | 0.74  | 0.63  | -0.27 | 0.12  | 0.12 | 0.17  | 0.49  | 0.63  | 0.70  | -0.81 | 0.84 | 1.00 |      |      |      |  |  |
| Ba     | -0.30 | -0.29  | 0.37   | -0.12 | -0.24  | -0.44 | -0.62  | 0.67  | 0.14  | -0.12 | 0.26  | -0.27 | -0.44 | 0.04  | 0.66  | 0.15  | -0.30 | 0.19  | 0.05 | -0.06 | -0.24 | -0.07 | 0.37  | -0.37 | 0.60 | 0.27 | 1.00 |      |      |  |  |
| Nb     | 0.17  | -0.43  | -0.39  | 0.61  | 0.37   | -0.59 | -0.22  | 0.60  | 0.66  | 0.66  | 0.13  | 0.03  | -0.68 | -0.14 | 0.81  | 0.68  | -0.31 | 0.05  | 0.18 | 0.14  | 0.63  | 0.64  | 0.78  | -0.71 | 0.83 | 0.84 | 0.38 | 1.00 |      |  |  |
| Tf     | 0.18  | -0.17  | -0.08  | 0.42  | 0.28   | -0.37 | -0.05  | 0.66  | 0.69  | 0.05  | -0.17 | 0.21  | 0.56  | 0.28  | 0.48  | 0.46  | 0.72  | 0.48  | 0.10 | 0.42  | 0.13  | 0.33  | 0.36  | -0.51 | 0.35 | 0.32 | 0.41 | 0.34 | 1.00 |  |  |

Valor Significativo = 0.174 al 95% de confianza

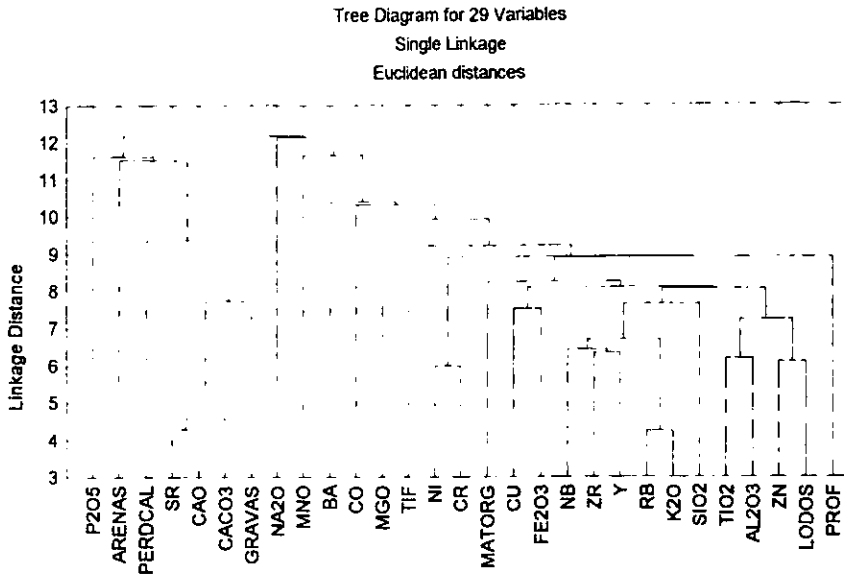
Número de Muestras = 127

Tabla 5.1 Matriz de Correlación

Para ayudar en la interpretación de la información generada en el presente estudio, se hizo un análisis de Cluster, el cual analiza la relación existente entre las diferentes variables estudiadas.

El resultado del análisis de Cluster indica la existencia de dos grupos (Fig. 5.26) con variantes en el grado de asociación de las variables.

- El primero es en donde encontramos agrupados arenas, gravas, pérdida por calcinación, estroncio, calcio, fósforo y carbonato de calcio. De acuerdo con la información existente todos estos parámetros se asocian al origen biogénico de los sedimentos. Lo cual puede indicar que en el área de estudio se encuentra una zona con un fuerte aporte biogénico.
- En el segundo grupo se encuentran asociados el sodio, manganeso, bario cobalto, magnesio, TIF, níquel, cromo, materia orgánica, cobre, hierro, niobio, circonio, itrio, rubidio, potasio, silicio, titanio, aluminio, zinc, lodos y profundidad. Lo cual indica que estas variables pueden tener un origen terrígeno.



**Fig. 5.26 Diagrama del Análisis de Cluster**

La información que proporcionan el TIF, la matriz de correlación y el análisis de Cluster es similar, los tres indican la presencia de dos agrupaciones importantes en el área de estudio y de acuerdo con la información existente y en la forma en como se agrupan las variables podemos inferir que los sedimentos de esta zona están influenciados principalmente por un origen terrígeno y uno biogénico.



# CONCLUSIONES

## 6.0 CONCLUSIONES

- El estudio químico de sedimentos superficiales del área de estudio permitió diferenciar dos tipos de sedimentos en esta zona: terrígenos y biogénicos.
- Los sedimentos terrígenos están formados principalmente por aluminio y silicio (aluminosilicatos), este grupo se subdivide en dos. Un grupo con gran influencia de rocas calizas sedimentarias, lo cual se ve reflejado en las altas concentraciones de carbonato de calcio y de óxido de calcio en dichas muestras, las cuales se encuentran localizadas en la zona adyacente a Maruata. El otro grupo se localiza entre Bahía Tenacatita y Manzanillo y en la zona cercana a Caleta de Campos, el cual está influenciado por las rocas plutónicas existentes en la región continental adyacente, estas muestras tienen altas concentraciones de hierro y de titanio, lo cual podría indicar que estos elementos están en forma de ilmenita, mineral con gran importancia económica.
- Los sedimentos biogénicos están caracterizados por su alto contenido de  $\text{CaCO}_3$  asociado con estroncio y óxido de calcio principalmente, este grupo también se divide en dos. El primero está localizado cerca a la Bahía de Manzanillo, en este subgrupo las muestras tienen altas concentraciones de carbonato de calcio, óxido de calcio y estroncio y según un análisis en el microscopio estas muestras contienen restos de conchas, lo cual se asocia a la presencia de la laguna costera Cuyutlán. El segundo subgrupo está localizado en la zona adyacente a Playa Azul, el cual tiene las mismas características que el primero, esta área presenta condiciones dinámicas de baja energía, pocos aportes de terrígenos y alta productividad.

- El uso del TIF permitió evaluar el grado de influencia de los aportes terrígenos en la zona de estudio.
- La distribución granulométrica de los sedimentos es un factor importante en la concentración de los elementos traza (Leoni, 1997). Los resultados del estudio granulométrico para el presente trabajo indican que la zona de estudio está influenciada principalmente por lodos (partículas con tamaño de grano fino) y se observa que las altas concentraciones de la mayoría de los metales traza (Ni, Cu, Zn, Cr, Co) están en las partículas finas.
- El estudio químico de los sedimentos de esta zona costera permitió conocer las concentraciones de los metales trazas presentes en el área y los procesos asociados a su mecanismo de aporte, lo cual da los niveles actuales de estos metales y permitirá a futuro evaluar el posible efecto de los aportes antropogénicos derivados de las actividades industriales, del aumento en descargas urbanas y agrícolas y por el incremento en el número de granjas acuícolas en esta área del Pacífico Mexicano.

# APÉNDICES

## 7.0 APÉNDICES

### 7.1 APÉNDICE 1. TIPOS DE ROCAS, MINERALES Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.

#### 7.1.1 Principales Minerales

##### 7.1.1.1 Silicatos

Los silicatos son los minerales más importantes, puesto que casi un 25% de los minerales conocidos son silicatos y cerca del 40% los más comunes. Las rocas ígneas constituyen casi un 90% de la corteza terrestre y están formadas principalmente por estos minerales.

Los iones más comunes presentes en la estructura de los silicatos son los metales alcalinos y alcalinotérreos.

De acuerdo al grado de polimerización y el número de oxígenos compartido por los tetraedros, su estructura puede estar formada por tetraedros independientes, grupos tetraédricos múltiples independientes, cadenas simples dobles o bandas, hojas o amazonas tridimensionales (Tabla 7.1.1).

**Tabla 7.1.1 Clasificación de Silicatos**

| TIPO DE SILICATO | DESCRIPCIÓN   | EJEMPLOS   |
|------------------|---|--|
| Neosilicatos     | Caracterizados por tetraedros de tetróxido de silicio unidos entre sí con enlaces iónicos, por medio de cationes intersticiales y sus estructuras dependen del tamaño y carga de estos cationes.  | GRUPO DEL OLIVINO<br>Olivino (Mg, Fe)(SiO <sub>4</sub> )<br>Fosferita Mg <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )<br>Fayalita Fe <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )<br>Granate A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )<br>A=Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> ,<br>B=Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup>   |
| Inosilicatos     | Los tetraedros de silicato se enlazan formando cadenas al compartir oxígenos con los tetraedros adyacentes. Estas cadenas después pueden unirse, compartiendo más oxígenos y formar bandas o cadenas dobles.                              | PIROXENOS (Cadena sencilla)<br>AB(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; A y B=Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> .<br>Serie Enstatita:<br>Enstatita Mg <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )<br>Hiperestena (Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )<br>Serie Diópsida:<br>Diópsida (Ca,Mg)(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )<br>Hedenbergita (Ca,Fe)(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )<br><br>ANFIBOLAS (Cadena Doble)<br>A <sub>2</sub> B <sub>5</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> ; A =Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> ,<br>B=Mg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup><br>Tremolita (Mg,Fe) <sub>7</sub> (Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> )<br>Hornoblenda<br>NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> )(OH, F) <sub>2</sub> |
| Filosilicatos    | Todos sus miembros tienen forma hojosa o escamosa y una dirección de exfoliación dominante. La mayoría contiene hidroxilos en su estructura.  | Caolinita Al <sub>4</sub> (OH) <sub>8</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )<br>Talco Mg <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )<br>Moscovita KAl <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )<br>Biotita K(Mg,Fe) <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )  |
| Tectosilicatos   | Son minerales formados alrededor de un armazón tridimensional de tetraedros de silicato, están compartidos con los tetraedros vecinos, dando lugar a una estructura de fuertes enlaces, en donde la relación Si:O es aproximadamente 1:2. | GRUPO SiO <sub>2</sub><br>Cuarzo SiO <sub>2</sub><br>Cristobalita SiO <sub>2</sub><br>FELDESPATOS POTÁSICOS<br>Ortoclasa KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub><br>FELDESPATOS ALCALINOS<br>Sanidino (K,Na)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub><br>Anortoclasa k(Na,K)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub><br>FELDESPATOS DE PLAGIOCLASAS<br>Albita Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )<br>Anortita Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )   |

7.1.1.2 Además de los silicatos las rocas están constituidas por otros minerales como óxidos, sulfuros o carbonatos que no tienen en su estructura al silicio (Tabla 7.1.2 y 7.1.3).

**Tabla 7.1.2 Otros Minerales**

| TIPO DE MINERAL | EJEMPLOS  | METALES TRAZA ASOCIADOS        |
|-----------------|---|--------------------------------|
| ÓXIDOS          | Magnetita Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>                    | Cr, Mn, V, Sn, Nb, Ta          |
|                 | Hematita Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                     |                                |
|                 | Ilmenita FeTiO <sub>3</sub>                                 |                                |
|                 | Pseudonutilo Fe <sub>2</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>9</sub> |                                |
|                 | Rutilo TiO <sub>2</sub>                                     |                                |
| SULFUROS        | Pirita FeS <sub>2</sub>                                     | Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Hg, Mo, Ag |
|                 | Pirrotita FeS   |                                |
|                 | Galena PbS  |                                |
|                 | Esfarelita ZnS  |                                |
|                 | Calcopirita CuFeS <sub>2</sub>                              |                                |

**Tabla 7.1.3 Carbonatos y fosfatos**

| TIPO DE MINERAL | EJEMPLOS  |
|-----------------|---|
| CARBONATOS      | Calcita, Aragonita CaCO <sub>3</sub><br>Dolomita MgCa(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>            |
| FOSFATOS        | Apatita Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F,OH)<br>Fuente importante de fósforo. |

### 7.1.2 Mineralogía de Rocas Ígneas

**Tabla 7.1.4 Minerales Principales y Accesorios en las Rocas Ígneas**

| MINERALES FORMADORES                          | MINERALES ACCESORIOS |
|---|----------------------|
| 1. Cuarzo.                                    | 1. Circón            |
| 2. Feldespatos: ortoclasa, plagioclasa.       | 2. Esfena            |
| 3. Nefelina.                                  | 3. Magnetita         |
| 4. Sodalita.                                  | 4. Ilmenita          |
| 5. Leucita.                                   | 5. Oligisto          |
| 6. Micas: moscovita, biotita, flogopita.      | 6. Apatita           |
| 7. Piroxenos: diópsida, enstatita.            | 7. Pirita            |
| 8. Anfíbolos: homoblenda, magnesiohomoblenda. | 8. Rutilo            |
| 9. Olivinos                                   | 9. Corindón          |
|   | 10. Granate          |

**Tabla 7.1.5 Clasificación de las Rocas Plutónicas**

| TIPO DE ROCA   | MINERALES FORMADORES                             | MINERALES ACCESORIOS                                 |
|----------------|--|--|
| Granito        | Cuarzo, feldespatos de potasio, oligoclasa.      | Homoblenda, magnetita, ilmenita, biotita, moscovita. |
| Granodiorita   | Cuarzo, feldespatos de plagioclasas, homoblenda. | Biotita, magnetita, ilmenita, homoblenda.            |
| Grabo Cuarzoso | Cuarzo Plagioclasa.                              | Biotita, magnetita, ilmenita, homoblenda.            |
| Peridotita     | Piroxeno, Olivino.                               | Homoblenda   |

**Tabla 7.1.6 Clasificación de Rocas Volcánicas**

| TIPO DE ROCA | MINERALES FORMADORES                                | MINERALES ACCESORIOS |
|--------------|---|----------------------|
| Andesita     | Oligoclasas, omoblenda.                             |                      |
| Riolita      | Cuarzo, biotita, feldespatos alcalinos, oligoclasa. | Augita, omoblenda.   |
| Basalto      | Olivino, plagioclasas cálcicas.                     | Biotita, omoblenda.  |

### 7.1.3 Mineralogía de Rocas Metamórficas

**Tabla 7.1.7 Clasificación de Rocas Metamórficas**

| TIPO DE ROCA | MINERALES FORMADORES  |
|--------------|---|
| Gneisses     | Cuarzo, feldespato, piroxeno, homoblenda.                       |
| Esquisto     | Cuarzo, mica (moscovita, biotita), talco, homoblenda, anfíbola. |
| Mármol       | Caliza, dolomita.   |
| Serpentina   | Peridotita.   |
| Pizarra      | Cuarzo, feldespato, plagioclasa.                                |



### 7.1.4 Minerología de Rocas Sedimentarias

**Tabla 7.1.8 Clasificación de Rocas Sedimentarias**

| TIPO DE ROCA              | MINERALES FORMADORES                            |
|---------------------------|---|
| Caliza                    | Calcita, dolomita, aragonita.                   |
| Pedernal                  | Silice coloidal, ópalo.                         |
| Yeso                      | Yeso, anhidrita.                                |
| Conglomerados y Areniscas | Fragmentos de roca (caliza, pedernal, granito). |
| Lutitas                   | Arcilla (lilita, montmorilonita, clorita).      |

### 7.1.5 Principales Metales Traza presentes en los Minerales

**Tabla 7.1.9 Metales Traza en Minerales**

| ELEMENTO | MINERAL  |
|----------|--|
| V        | Con un estado de oxidación 3+ se presenta en magnetita y olivino.  |
| Ni       | Con un estado de oxidación 2+ se relaciona con olivino. Se intercambia con Fe <sup>2+</sup> y Mg <sup>2+</sup> en la estructura de piroxeno, anfibola y mica.    |
| Cr       | Puede sustituir al Fe <sup>3+</sup> formando cromita. Se encuentra enriquecido en piroxeno.  |
| Sr       | Se sustituye en Ca <sup>2+</sup> y debido a su alta carga es capturado por potasio. Está presente en granos y basaltos en plagioclasas y feldespatos de potasio. |
| Zn       | Sustituye al hierro y al magnesio en olivino, piroxeno y anfibola. Así como al Fe y Mn en óxidos.  |
| Ti       | Se encuentra presente en ilmenita, piroxeno y biotita.   |
| Mn       | Como Mn <sup>2+</sup> se relaciona con Fe <sup>2+</sup> y Ca <sup>2+</sup> . Distribuido en olivino y minerales ferromagnesianos.                                |

## 7.2 APÉNDICE 2 UBICACIÓN Y PROFUNDIDAD DE LAS ESTACIONES

| Estación | Latitud Norte  | Longitud Oeste | Prof (m) |
|----------|----------------|----------------|----------|
| 1        | 19° 20 32      | 105° 00 07     | 52       |
| 2        | 19° 18 59      | 105° 00 06     | 90       |
| 3        | 19° 18 40      | 105° 00 24     | 115      |
| 4        | 19° 18 12      | 105° 00 28     | 150      |
| 5        | 19° 12 45      | 104° 54 99     | 200      |
| 6        | 19° 13 67      | 104° 55 19     | 140      |
| 7        | 19° 14 58      | 104° 54 98     | 105      |
| 8        | 19° 16 40      | 104° 55 11     | 70       |
| 9        | 19° 13 87      | 104° 49 93     | 75       |
| 10       | 19° 12 25      | 104° 50 07     | 100      |
| 11       | 19° 11 00      | 104° 50 15     | 158      |
| 12       | 19° 10 18      | 104° 50 32     | 212      |
| 13       | 19° 08 10      | 104° 44 77     | 220      |
| 14       | 19° 09 29      | 104° 45 02     | 150      |
| 15       | 19° 10 20      | 104° 44 95     | 95       |
| 16       | 19° 11 12      | 104° 45 01     | 70       |
| 17       | 19° 12 68      | 104° 44 97     | 50       |
| 18       | 19° 08 88      | 104° 40 17     | 90       |
| 19       | 19° 07 53      | 104° 40 04     | 160      |
| 20       | 19° 08 28      | 104° 40 07     | 215      |
| 21       | 19° 04 40      | 104° 35 07     | 210      |
| 22       | 19° 08 17      | 104° 34 99     | 150      |
| 23       | 19° 07 45      | 104° 34 88     | 100      |
| 24       | 19° 07 89      | 104° 34 80     | 70       |
| 25       | 19° 01 48      | 104° 30 00     | 215      |
| 26       | NO HAY MUESTRA |                |          |
| 27       | 19° 05 43      | 104° 30 11     | 110      |
| 28       | 19° 58 37      | 104° 24 91     | 205      |
| 29       | 19° 00 64      | 104° 25 08     | 150      |
| 30       | 19° 02 36      | 104° 24 94     | 100      |
| 31       | 19° 04 32      | 104° 25 00     | 70       |
| 32       | 18° 57 32      | 104° 20 03     | 210      |
| 33       | 18° 59 00      | 104° 19 00     | 155      |
| 34       | 18° 59 90      | 104° 59 90     | 100      |
| 35       | 19° 00 18      | 104° 00 18     | 80       |
| 36       | 18° 58 88      | 104° 14 77     | 80       |
| 37       | 18° 57 99      | 104° 14 92     | 110      |
| 38       | 18756 33       | 104° 15 01     | 165      |
| 39       | NO HAY MUESTRA |                |          |
| 40       | 18° 50 82      | 104° 09 99     | 212      |
| 41       | 18° 52 86      | 104° 09 79     | 160      |
| 42       | 18° 55 37      | 104° 10 13     | 107      |
| 43       | 18° 56 73      | 104° 10 02     | 72       |
| 44       | 18° 54 03      | 104° 05 00     | 45       |
| 45       | 18° 52 99      | 104° 05 04     | 70       |
| 46       | 18° 51 77      | 104° 05 018    | 100      |
| 47       | 18° 49 35      | 104° 05 014    | 150      |
| 48       | 18° 47 28      | 104° 05 08     | 200      |
| 49       | 18° 42 53      | 103° 59 98     | 200      |
| 50       | 18° 44 67      | 104° 00 08     | 150      |
| 51       | 18° 47 22      | 104° 00 04     | 100      |
| 52       | 18° 48 01      | 104° 00 06     | 130      |
| 53       | 18° 48 26      | 104° 00 17     | 260      |
| 54       | 18° 47 51      | 103° 54 92     | 50       |
| 55       | 18° 46 72      | 103° 54 96     | 70       |
| 56       | 18° 44 06      | 103° 55 15     | 100      |
| 57       | 18° 41 71      | 103° 55 00     | 147      |
| 58       | 18° 39 21      | 103° 55 08     | 200      |
| 59       | 18° 36 11      | 103° 50 03     | 200      |
| 60       | 18° 37 21      | 103° 50 26     | 160      |
| 61       | 18° 39 37      | 103° 50 10     | 105      |
| 62       | 18° 41 10      | 103° 50 24     | 78       |
| 63       | 18° 42 62      | 103° 50 12     | 58       |
| 64       | 18° 39 48      | 103° 45 04     | 29       |
| 65       | 18° 39 48      | 103° 45 04     | 40       |
| 66       | 18° 38 46      | 103° 45 45     | 75       |

| Estación | Latitud Norte  | Longitud Oeste | Prof (m) |
|----------|----------------|----------------|----------|
| 67       | 18° 31 79      | 103° 45 09     | 150      |
| 68       | 18° 30 79      | 103° 45 08     | 220      |
| 69       | 18° 28 43      | 103° 39 96     | 200      |
| 70       | 18° 28 68      | 103° 39 98     | 150      |
| 71       | 18° 29 55      | 103° 39 98     | 100      |
| 72       | 18° 31 85      | 103° 40 07     | 70       |
| 73       | 18° 33 12      | 103° 40 01     | 50       |
| 74       | 18° 27 75      | 103° 34 99     | 50       |
| 75       | 18° 26 00      | 103° 35 06     | 52       |
| 76       | 18° 24 73      | 103° 35 05     | 72       |
| 77       | 18° 24 13      | 103° 34 93     | 160      |
| 78       | NO HAY MUESTRA |                |          |
| 79       | 18° 18 51      | 103° 29 99     | 210      |
| 80       | 18° 16 21      | 103° 24 91     | 75       |
| 81       | 18° 15 86      | 103° 25 11     | 200      |
| 82       | 18° 13 97      | 103° 19 95     | 180      |
| 83       | 18° 14 04      | 103° 20 00     | 160      |
| 84       | 18° 10 18      | 103° 14 95     | 230      |
| 85       | 18° 11 17      | 103° 15 01     | 150      |
| 86       | 18° 11 92      | 103° 14 97     | 100      |
| 87       | 18° 12 20      | 103° 14 98     | 80       |
| 88       | 18° 12 81      | 103° 14 98     | 42       |
| 89       | 18° 09 99      | 103° 10 07     | 160      |
| 90       | 18° 10 38      | 103° 09 98     | 150      |
| 91       | 18° 11 48      | 103° 10 03     | 40       |
| 92       | 18° 10 68      | 103° 05 028    | 50       |
| 93       | 18° 10 38      | 103° 05 024    | 150      |
| 94       | 18° 07 60      | 103° 05 03     | 210      |
| 95       | 18° 05 42      | 103° 00 06     | 210      |
| 96       | 18° 08 04      | 103° 05 04     | 150      |
| 97       | 18° 06 89      | 103° 00 02     | 100      |
| 98       | 18° 07 91      | 102° 59 86     | 80       |
| 99       | 18° 05 33      | 103° 00 11     | 65       |
| 100      | 18° 06 64      | 102° 54 97     | 38       |
| 101      | 18° 05 35      | 102° 54 79     | 79       |
| 102      | 18° 04 58      | 102° 54 59     | 95       |
| 103      | 18° 04 57      | 102° 55 03     | 135      |
| 104      | 18° 03 06      | 102° 54 83     | 223      |
| 105      | 18° 04 24      | 102° 49 95     | 50       |
| 106      | 18° 05 04      | 102° 50 04     | 30       |
| 107      | 18° 03 15      | 102° 44 98     | 40       |
| 108      | 18° 01 52      | 102° 44 66     | 75       |
| 109      | 18° 00 43      | 102° 44 78     | 100      |
| 110      | 17° 58 21      | 102° 44 85     | 150      |
| 111      | 17° 57 43      | 102° 45 05     | 220      |
| 112      | 17° 56 23      | 102° 40 05     | 212      |
| 113      | 17° 55 89      | 102° 40 01     | 158      |
| 114      | 17° 58 07      | 102° 40 06     | 110      |
| 115      | 18° 00 79      | 102° 40 09     | 75       |
| 116      | 18° 01 88      | 102° 40 19     | 51       |
| 117      | 18° 02 77      | 102° 40 27     | 28       |
| 118      | 18° 01 56      | 102° 34 97     | 15       |
| 119      | 18° 00 88      | 102° 34 98     | 40       |
| 120      | 18° 00 25      | 102° 35 01     | 200      |
| 121      | 18° 00 08      | 102° 30 06     | 39       |
| 122      | 17° 56 88      | 102° 29 83     | 79       |
| 123      | 17° 53 92      | 102° 29 98     | 100      |
| 124      | 17° 49 58      | 102° 29 99     | 140      |
| 125      | NO HAY MUESTRA |                |          |
| 126      | 17° 51 49      | 102° 25 06     | 100      |
| 127      | 17° 54 35      | 102° 25 09     | 90       |
| 128      | 17° 57 61      | 102° 25 08     | 60       |
| 129      | 17° 53 85      | 102° 25 12     | 40       |
| 130      | 17° 57 49      | 102° 20 04     | 32       |
| 131      | 17° 55 74      | 102° 20 00     | 62       |
| 132      | NO HAY MUESTRA |                |          |

### 7.3 APÉNDICE 3 FUNDAMENTOS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS-X (FRX)

Los rayos X se definen como una radiación electromagnética de longitud de onda corta producida por la desaceleración de electrones de elevada energía o por transiciones electrónicas que implican electrones de orbitales internos de los átomos. El intervalo de longitud de onda de los rayos X va desde  $10^{-5}$  Å hasta 100 Å, sin embargo la espectroscopía tradicional abarca la región de 0.1 a 25 Å.

La excitación se produce normalmente por irradiación sobre una muestra con el haz de rayos X a través de un tubo de rayos X o fuente radioactiva. En estas condiciones, los elementos de la muestra son excitados por absorción del haz primario y emiten sus propios rayos X fluorescentes característicos. A este proceso se le conoce como método de fluorescencia de rayos X y es uno de los métodos más ampliamente utilizado para el análisis cuantitativo y cualitativo de elementos con un número mayor a 8.

#### INSTRUMENTACIÓN

El espectrómetro de rayos X está formado por diferentes elementos que tienen como función principal el separar, identificar y cuantificar los rayos X emitidos por la muestra.

El espectrómetro de FRX utilizado fue de dispersión de longitud de onda. Este equipo está formado por tres partes fundamentales: unidad de fuente primaria, espectrómetro y detector (Fig.7.3.1).

*Unidad de fuente primaria:* Consiste de un generador de alto voltaje que genera una energía suficiente que es llevada al tubo de rayos X, el cual consiste de un tubo de alto vacío en el que se monta un cátodo de filamento de tungsteno y un ánodo sólido. El ánodo lo forma un bloque pesado de cobre con un blanco de

metal dispuesto sobre la superficie del metal. Los metales del blanco incluyen molibdeno, plata, hierro o rodio.

La forma en que se producen los rayos X, es mediante la producción de electrones en el cátodo caliente, los cuales son acelerados hacia un ánodo metálico (blanco) con un potencial del orden de 100 kv.; en la colisión parte de la energía del haz de electrones se convierte en rayos X, los cuales emiten y son conducidos a la muestra a analizar.

*Espectrómetro:* Está integrado por un monocromador que contiene un par de colimadores, cuya función principal es conducir los haces emitidos por la muestra a un cristal simple montado sobre un goniómetro, placa rotatoria que permite la determinación precisa del ángulo  $\theta$  entre la cara del cristal y el haz incidente colimado. De esta manera se podrá analizar el elemento deseado. Ya que conociendo la distancia entre los planos de cristal ( $d$ ) utilizado, así como el ángulo, se podrá seleccionar la longitud de onda adecuada siguiendo la ley de Bragg ( $\lambda = 2d\text{Sen}\theta$ ).

Para obtener un espectro, es necesario que el colimador de la salida del haz y el detector, estén montados en una segunda placa que gira cuando el cristal rote a un ángulo  $\theta$ , el detector debe moverse simultáneamente al ángulo  $2\theta$ .

*Detector.* El tipo de detector con que cuenta el equipo de FRX es un tubo Geiger, el cual consiste de un detector de gas, en donde la radiación entra en la cámara a través de una ventana transparente de mica, aluminio, berilio o myler. Cada fotón de rayos X puede interaccionar con un átomo de argón causando la pérdida de uno de sus electrones externos. Este fotoelectrón tiene una elevada energía cinética, que es igual a la diferencia entre la energía del fotón de rayos X y la energía del electrón en el átomo de argón. El fotoelectrón pierde entonces este exceso de energía cinética ionizando algunos de los cientos de átomos

adicionales de gas. Bajo la influencia de un potencial aplicado, los electrones móviles migran hacia el ánodo central mientras que los cationes que se mueven más despacio son atraídos hacia el cátodo cilíndrico del metal.

*Análisis Cuantitativo:* Aunque el método de FRX es un proceso de emisión, se puede medir de manera cuantitativa, usando la ley de Lambert y Beer, considerando que para todo proceso de emisión se necesita antes de una absorción.

Así, cuando se hace incidir un haz de rayos X en algún material con un espesor  $x$ , parte de la energía contenida en el haz será absorbida y producirá el efecto fotoeléctrico, por otra parte, una pequeña fracción de esta energía se pierde por dispersión, resultado de la desviación del haz incidente ( $I_0$ ) por los electrones del átomo absorbente. Por lo tanto la intensidad transmitida ( $I$ ) del rayo está dada por:

$$I = I_0 E^{-\mu \rho x}$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de absorción másico, el cual relaciona la probabilidad de que ocurran procesos de absorción y dispersión de una muestra con densidad  $\rho$ , cuya unidad se expresa en  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Considerando que la intensidad transmitida es proporcional a la concentración, se puede hacer una medición cuantitativa por FRX, relacionando la concentración del analito en una gráfica, donde se grafica intensidad contra concentraciones de estándares conocidos.

*Interferencias:* Los rayos X producidos en un proceso de FRX se genera no sólo a partir de los átomos de la superficie de una muestra sino también de aquellos que se encuentran debajo de la superficie. Así una parte del haz incidente y del haz fluorescente atraviesa un grosor significativo de muestra en el que puede tener lugar una absorción y dispersión. El grado de atenuación de ambos haces

depende del coeficiente de absorción másico del medio, el cual a su vez se determina a partir de los coeficientes de todos los elementos de la muestra. Por tanto aunque la intensidad neta de una línea que llega al detector de una medida de FRX depende de la concentración del elemento que produce la línea, también está afectada por la concentración y por los coeficientes de absorción másica de los elementos de la matriz, siendo una de las interferencias que afectan más en el método de fluorescencia. Un segundo efecto de matriz, llamado efecto de intensificación, puede dar lugar también a resultados mayores de lo esperado.

Este comportamiento se encuentra cuando la muestra contiene un elemento cuyo espectro de emisión característico se excita por el haz incidente y este espectro a su vez produce una excitación secundaria de la línea analítica.

#### *Ventajas del Método:*

1. Se pueden identificar casi a todos los elementos.
2. Análisis cuantitativo rápido.
3. No se destruye la muestra original.
4. Pueden determinarse al mismo tiempo varios elementos contenidos en la muestra.
5. Se pueden analizar muestras de diferentes tamaños, cortes o formas.

#### *Desventajas*

1. La adquisición y mantenimiento del equipo son costosos.
2. Los Límites de detección son altos.

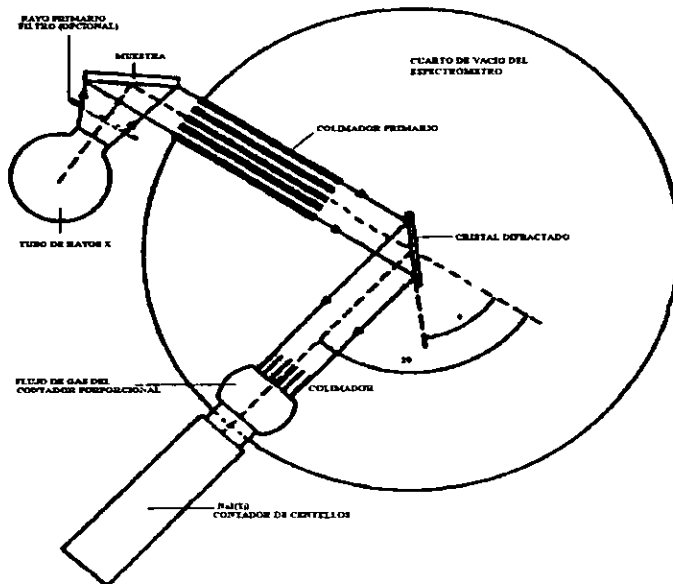


FIG. 7.3.1 Diagrama del Equipo de FRX

## 7.4 APÉNDICE 4 FUNDAMENTOS DE ESTADÍSTICA.

Precisión indica la concordancia entre dos o más medidas que han sido hechas exactamente de la misma manera.

Promedio (P) se define como la suma de todas la medidas hechas entre el número de mediciones.

Desviación Estándar (DE) es un término estadístico que se usa como una medida de la precisión.

Limite de Confianza (LC) Establece extremos para los parámetros de población, dando un intervalo en el cual se podría localizar la medida verdadera, con algún grado de confianza.

$$LC = P \pm \sqrt{\frac{zDE}{N}}$$

donde z al 99% de confianza es 2.58 y N el número de muestras

Exactitud indica la proximidad de una medida a su valor verdadero o aceptado y se expresa por el error.

Error Absoluto (EA) de la medida de una cantidad  $X_i$  está dado por la ecuación:

$$EA = X_i - X_v$$

donde  $X_v$  es el valor verdadero o aceptado de la cantidad.

Error Relativo (ER) es una cantidad más útil que el EA y está dado por la expresión

$$ER = \left( \frac{X_i - X_v}{X_v} \right) * 100$$



|          | Gravas<br>% | Arenas<br>% | Lodos<br>% | Mat. Org.<br>% | CaCO <sub>3</sub><br>% | Perd Calc<br>% | SiO <sub>2</sub><br>% | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% | MnO<br>% | MgO<br>% | CaO<br>% | Na <sub>2</sub> O<br>% | K <sub>2</sub> O<br>% |
|----------|-------------|-------------|------------|----------------|------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|------------------------|-----------------------|
| Máximo   | 24.60       | 93.60       | 99.0       | 3.60           | 58.00                  | 33.00          | 60.60                 | 21.50                               | 9.50                                | 0.20     | 3.80     | 47.00    | 6.00                   | 2.30                  |
| Mínimo   | 0.00        | 0.00        | 0.00       | 0.01           | 0.50                   | 2.50           | 13.30                 | 4.00                                | 2.00                                | 0.02     | 1.10     | 1.40     | 2.20                   | 0.05                  |
| Promedio | 0.50        | 21.60       | 76.00      | 1.60           | 8.50                   | 11.50          | 52.00                 | 17.00                               | 6.40                                | 0.06     | 2.80     | 5.20     | 4.30                   | 1.60                  |
| Desv Est | 2.78        | 25.95       | 28.45      | 0.75           | 9.27                   | 4.88           | 6.82                  | 2.87                                | 1.02                                | 0.02     | 0.37     | 6.31     | 0.73                   | 0.32                  |

|          | TiO <sub>2</sub><br>% | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>% | Cr<br>ppm | Co<br>ppm | Ni<br>ppm | Cu<br>ppm | Zn<br>ppm | Rb<br>ppm | Sr<br>ppm | Y<br>ppm | Zr<br>ppm | Ba<br>ppm | Nb<br>ppm | TiF  |
|----------|-----------------------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Máximo   | 1.00                  | 18                                 | 100       | 47        | 48        | 106       | 147       | 95        | 1729      | 24       | 245       | 606       | 12        | 0.80 |
| Mínimo   | 0.2                   | 0.1                                | 17        | 5         | 8         | 0         | 19        | 8         | 131       | 6        | 0         | 103       | 3         | 0.50 |
| Promedio | 0.80                  | 0.40                               | 69.60     | 16.00     | 31.70     | 42.00     | 97.50     | 55.00     | 334.00    | 17.70    | 142.70    | 350.00    | 8.70      | 0.70 |
| Desv Est | 0.12                  | 1.58                               | 15.70     | 6.05      | 8.12      | 18.63     | 21.66     | 18.13     | 296.67    | 3.12     | 55.09     | 87.87     | 1.78      | 0.03 |

## 7.5 APÉNDICE 5 RESUMEN DE RESULTADOS

# **BIBLIOGRAFÍA**

## 8.0 BIBLIOGRAFÍA

1. Brownlow (1979). GEOCHEMISTRY. Prentice Hall International. 497 p.
2. Carranza Edwards A. (1975). UNIDADES MORFO-TECTÓNICAS CONTINENTALES DE LAS COSTAS MEXICANAS. An. Centro Cienc. Mar y Limnol. UNAM 2(1):81-88.
3. Carranza Edwards A., et al. (1989). INVESTIGATIONS OF PHOSPHORITE DEPOSITS IN THE GULF OF TEHUANTEPEC, MEXICO. Marine Mining vol 8, 317-323.
4. Carranza Edwards A., et al. (1996). A RECONNAISSANCE STUDY OF CARBONATES IN MEXICAN BEACH SANDS, Sedimentary Geology 101, 261-268.
5. Carranza Edwards A. y Morales de la Garza E. (1998) INFORME TÉCNICO DE LA CAMPAÑA OCEANOGRÁFICA SEDIMENTO II.
6. Chester R: (1990). MARINE GEOCHEMISTRY. Unwyn Hyman, London. 735 p.
7. Gaudette H: E. and Flight W. R. (1974). AN INEXPENSIVE TRITATION METHOD FOR THE DETERMINATION OF ORGANIC CARBON IN RECENTS SEDIMENTS. Jour. Sed. Petrol 44(1):249-253.
8. Hesse P. R: (1971). SOIL CHEMICAL ANALYSIS. John Murray. 520 p.
9. Kabata-Pendias. (1984). TRACE ELEMENTS IN SOILS AND PLANTS. CRS Pres Inc. Boca Raton, Florida. 315 p.
10. Leoni L. and Sartori F. (1997). HEAVY METALS AND ARSENIC DISTRIBUTIONS IN SEDIMENTS OF ELBA-ARGENTARIO BASIN, SOUTHERN TUSCANY, ITALY. Environmental Geology 32(2) September 83-91.

11. López-Ramos E. (1981). GEOLOGÍA GENERAL Y DE MÉXICO. Vol III. Instituto de Geología. UNAM.
12. Loring D. H. and Rantala R. T. (1977). GEOCHEMICAL ANALYSIS OF MARINE SEDIMENTS. TECHNICAL REPORT NO. 700. Fisheries and Marine Service. Environment Canada. 58 p.
13. Lozano-Santa Cruz R. y Giron-García P. (1996). EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y LA PRESIÓN EN LA INTENSIDAD RELATIVA  $I/I_0$  DE ELEMENTOS MAYORES EN MUESTRA PENSADA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS-X. Actas INAGEQ 2, 231-234.
14. Manjuata B. R. and Shankar R. (1997). THE INFLUENCE OF RIVERS ON THE GEOCHEMISTRY OF SHELF SEDIMENTS, SOUTH WESTERN COAST OF INDIA. Environmental Geology 31(1/2):107-115.
15. Méndez-Jaime C. (1993). ESTUDIO QUÍMICO DE SEDIMENTOS RECIENTES EN LA PORCIÓN SUR DEL GOLFO DE MÉXICO. Tesis Profesional, Facultad de Química UNAM. 71 p.
16. Merian E. (1991). METALS AND THEIR COMPOUNDS IN THE ENVIRONMENT. VCH. 1938 p.
17. Nagender Nath B., et al (1989) GEOCHEMICAL EVIDENCE OF TERRIGENOUS INFLUENCE IN DEEP-SEA SEDIMENTS UP 8° S IN THE CENTRAL INDIAN BASIN. Marine Geology 87, 301-313.
18. Olivera-Salas A. (1997). ESTUDIO GEOQUÍMICO DE SEDIMENTOS LITORALES DEL PACÍFICO MEXICANO. Tesis Profesional, Facultad de Química UNAM. 129 p.
19. Ortega-Gutiérrez F. (1992). TEXTO EXPLICATIVO DE LA QUINTA EDICIÓN DE LA CARTA GEOLÓGICA DE LA REPUBLICA MEXICANA. Instituto de Geología UNAM, México, D: F:

20. Padmatal D., et al. (1997). GEOCHEMISTRY OF Cu, Co, Ni, Zn, Cd and Cr IN THE SURFICIAL SEDIMENTS OF A TROPICAL ESTUARY. SOUTHWEST COAST OF INDIA: A GRANULOMETRIC APPROACH. *Environment Geology* 31(1/2) may, 85-93.
21. Paez-Osuna F. and Osuna-López J. (1990). HEAVY METALS DISTRIBUTION IN GEOCHEMICAL FRACTION ON SURFACE SEDIMENTS FROM THE LOWER GULF OF CALIFORNIA. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. UNAM* 17(2):287-298.
22. Riley and Chester (1980). CHEMICAL OCEANOGRAPHY, Vol 6. Unwyn Hyman, London. Cap 33.
23. Riley and Chester (1989). INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA MARINA. AGT Editor, S.A. Caps. 10, 11, 12.
24. Rosales-Hoz L.; (1980). MANUAL DE LABORATORIO DE OCEANOGRAFÍA QUÍMICA. *Inst. Cienc. Mar y Limnol.* 146p.
25. Rosales-Hoz L., et al. (1992). DISTRIBUCIÓN DE METALES EN SEDIMENTOS RECIENTES DEL SURESTE DEL GOLFO DE MÉXICO. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. UNAM*, 19(2):123-130.
26. Ruiz-Ramírez E. (1990). ANÁLISIS QUÍMICO DE SEDIMENTOS MARINOS DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE L GOLFO DE TEHUANTEPEC. Tesis Profesional, Facultad de Química UNAM. 82 p.
27. Santiago Pérez S. (1989). ESTUDIO QUÍMICO DE SEDIMENTOS DE UNA PORCIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE BAJA CALIFORNIA NORTE, MÉXICO. Tesis Profesional, Facultad de Química UNAM. 76 p.
28. Shapiro L. (1975). RAPID ANALYSIS OF SILICATE, CARBONATE AND PHOSPHATE ROCKS (REVISED EDITION). US Geological Survey, Bulletin 1401. Washington D. C.

29. Skinner B. J. (1969). EARTH RESOURCES. Prentice Hall Inc Englewood Cliffs, N. J.. 150 p.
30. Skoog D A. (1996). FUNDAMENTOS DE QUÍMICA ANALÍTICA. 4a Ed. Reverté, Esp.
31. Tamayo J. (1991). GEOGRAFÍA MODERNA DE MÉXICO. 10a Ed. Editorial Trillas.
32. Verma S., et al. (1996). CALIBRACIÓN PRELIMINAR DE FLOURESCENCIA DE RAYOS X PARA ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ELEMENTOS TRAZA EN ROCAS ÍGNEAS. Actas INAGEQ 2, 237-242.
33. Villanueva S. y Botello A. (1992) METALES PESADOS EN LA ZONA COSTERA DEL GOLFO DE MÉXICO Y CARIBE MEXICANO: UNA REVISIÓN. Rev. Int. Contam. Ambient. 8(1):47-61.
34. Vivó J. (1946). CLIMATOLOGÍA DE MÉXICO. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México, D: F.