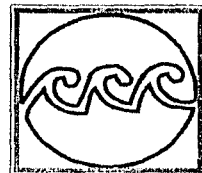




**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**“DETERMINACIÓN DE METALES EN  
SEDIMENTOS EN LA SONDA DE CAMPECHE,  
CAMP.”**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A**

**FERNANDO JESÚS DE LORENZ SANTOS**



**ASESOR:  
DR. FELIPE VÁZQUEZ GUTIÉRREZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

FERNANDO JESÚS DE LORENZ SANTOS  
PRESENTE.

En contestación a la solicitud de fecha 30 de octubre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el Dr. FELIPE VÁZQUEZ GUTIÉRREZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "DETERMINACIÓN DE METALES EN SEDIMENTO, EN LA SONDA DE CAMPECHE, CAMP.", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 19 de noviembre del 2001  
LA DIRECTORA

  
ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ





Cp Secretaría Académica.  
Cp Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.  
Cp Asesor de Tesis.

LTG/AIR/IIa.

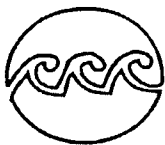
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CONTENIDO

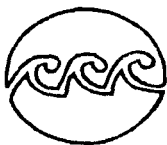
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. OBJETIVOS Y METAS</b>	<b>5</b>
1.1 OBJETIVOS	5
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.2 METAS	5
<b>2. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>6</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>10</b>
3.1 MUESTREO	10
3.2 TOMA DE MUESTRA PARA ANALIZAR EN EL LABORATORIO	11
3.3 ANÁLISIS EN EL LABORATORIO	11
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>15</b>
4.1 ETAPA MACRO	15
4.1.1 METALES ADSORBIDOS	15
4.2 ETAPA MICRO	19
4.2.1 METALES ADSORBIDOS	19
4.3 ANÁLISIS EXPLORATORIOS Y CLUSTERS	22
4.3.1 ANÁLISIS EXPLORATORIOS	22
4.3.1.1 METALES TOTALES	22
4.3.1.1.1 ETAPA MACRO	22
4.3.1.1.2 ETAPA MICRO	22
4.3.1.2 METALES ADSORBIDOS	23
4.3.1.2.1 ETAPA MACRO	23
4.3.1.2.2 ETAPA MICRO	24
4.4 CLUSTERS, DIAGRAMAS DE ÍCONOS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS	25
4.4.1 ETAPA MACRO	26
4.4.2 ETAPA MICRO	30
<b>5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>34</b>
5.1 METALES ADSORBIDOS	34

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>40</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>FIGURAS</b>	
<b>FOTOGRAFICO</b>	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## LISTA DE SIGNIFICADO DE ABREVIATURAS.

**B/O** = Buque oceanográfico.  
**Ba-A** = Bario adsorbido (color azul marino).  
**BaT** = Bario total (color rojo) = **BAT**.  
**Case** = Estación de muestreo ó caso.  
**CNA** = Comisión Nacional del agua.  
**DES. EST** = Desviación estándar.  
**E** = Este.  
**EPA** = Environmental Protection Agency.  
**FeT** = Fierro total = **FET**.  
**Fig** = Figura.  
**m** = Metro.  
**MA** = Metal adsorbido (ej. Níquel adsorbido Ni-A).  
**MAX** = Máximo.  
**mg/L** = Miligramos por Litro.  
**mL** = Mililitro  
**MIN** = Mínimo.  
**M** = Molar  
**MT** = Metal total ( ej. Vanadio Total = **VT**)  
**N** = Norte.  
**NW** = Noroeste.  
**NE** = Noreste.  
**NiT** = Níquel total (color azul claro).  
**NOM** = Norma Oficial Mexicana.  
**O** = Oeste.  
**PB** = Plomo adsorbidos (color azul).  
**Pb-A** = Plomo adsorbidos.  
**PbT** = plomo total ( color amarillo) = **PBT**.  
**ppb** = Partes por billón.  
**ppm** = Partes por millón.  
**PROFEP** = Procuraduría Federal de Protección Ambiental.  
**SARH** = Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.  
**SEMARNAP** = Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.  
**t(°C)** = Temperatura en grados centígrados.  
**UAM** = Universidad Autónoma Metropolitana.  
**UNESCO** = United Nations Educational Scientific Organizational.  
**USA** = Estados Unidos de Norteamérica.  
**V\_HORNO** = vanadio disuelto (color azul).  
**VT** = Vanadio total (color azul marino).  
**XN** = Normalidad (X = cualquier número).  
**ZnT** = Zinc total (color magenta).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es un sistema ambiental de los más diversos y ricos de la Tierra. Por sus dimensiones y sus características de cuenca semicerrada, es el gran mar interior del Atlántico tropical y un verdadero mediterráneo entre América del Norte y Sur (Carson, 1980).

Estructuralmente y como área de depositación, el Golfo de México se divide en siete provincias geológicas: La cuenca del Golfo, la Plataforma Carbonatada del Golfo Nororiental; la Plataforma Carbonatada del Sur de la Florida; la Plataforma de Yucatán y la Sonda de Campeche (Antonie, 1972).

Es conocido que la zona costera del Golfo de México que comprende de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Campeche, es la franja donde se han desarrollado los más importantes campos petroleros de nuestro país y en consecuencia, es en estos estados donde se concentra el mayor número de instalaciones petroleras.

En esta ocasión nos enfocaremos en el área que cubre el Sur del Golfo de México sobre las aguas de la plataforma continental de la Sonda de Campeche. Dicha región es de gran trascendencia tanto en el aspecto científico como en el aspecto socioeconómico del país. La Plataforma Continental de Tabasco y Campeche así como sus regiones costeras mantienen los yacimientos petrolíferos más importantes del país y del Hemisferio Occidental. A su vez una gran parte de la captura pesquera nacional se extrae de estos sitios. Estas actividades hacen de la Sonda de Campeche en el Golfo de México, el sitio más transitado de nuestras aguas nacionales.

A pesar de haberse iniciado el estudio de la Sonda de Campeche y regiones marinas en los 70's, la mayoría de estos estudios estaban enfocados en el diagnóstico geomorfológico, climático, biológico y pesquero principalmente sin considerar el efecto antropogénico derivado de la industria petrolera y el esfuerzo pesquero. Por su parte las regiones costeras y marinas de Tabasco y Campeche empiezan a tener un conocimiento más completo del efecto antropogénico en agua, organismos y sedimento. En la mayoría de los casos, los resultados existentes difieren entre sí, generando confusión en cuanto a este tópico.

Con el fin de diagnosticar el efecto antropogénico sobre el área de estudio, la UNAM y PEMEX en 1996 se comprometieron mediante un convenio a dar **seguimiento** a través de campañas cuyo objetivo fue determinar el efecto antropogénico y particularmente "determinar el grado de alteración que las



actividades derivadas de la industria petrolera han provocado en la ecología natural así como en los recursos de la región marina y costa del Sur del Golfo de México", sitio sobre el cual se localizan las plataformas petroleras y chapopoterías naturales más importantes del Hemisferio Occidental.

Con la finalidad de dar un seguimiento y poder cumplir las recomendaciones emanadas en el primer estudio, este proyecto da cuenta a la Campaña Oceanográfica realizada en el Sur del Golfo de México (Noviembre 27-Diciembre 10, 1998), la cuarta campaña de la serie de campañas previstas.

La Campaña Oceanográfica se estableció en dos etapas "Macro" y "Micro". La etapa "Macro" consideró 53 estaciones hidrográficas distribuidas sobre la plataforma Continental y sobre su borde (Fig. 1.1). La etapa "Micro" consideró 96 estaciones hidrográficas distribuidas sobre la Plataforma Continental, particularmente en los entornos de los campos Ku, Cantarell, Abkatun y Pool, localizados al Noreste de Laguna de Términos entre los  $19.20^{\circ}$ - $19.60^{\circ}$  N y los  $91.90^{\circ}$ - $94.30^{\circ}$  W (Fig. 1.2).

La distribución de las estaciones sobre estos campos fue de forma concéntrica. Las primeras 23 estaciones fueron centradas a la estructura Ku-A del campo Ku. De la estación 24 a la estación 55 se distribuyeron concéntricas a la estructura Akal-C del campo Cantarell; por último se centraron a la estructura Abkatun-1A del campo Abkatun, las estaciones de la 56 a la 75.

Finalmente de las estaciones 76 a la estación 96 se centraron a la estructura Pool-A (Fig. 1.2)



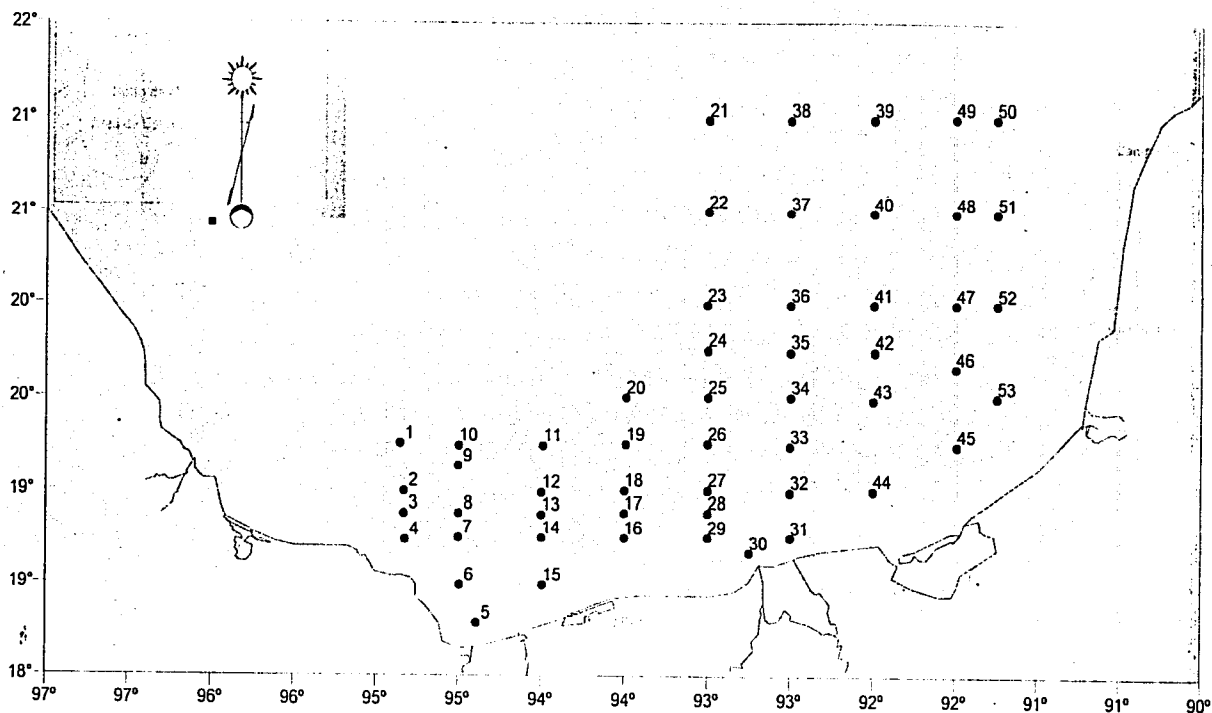
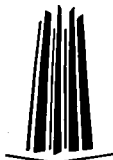


FIGURA 1.1. UBICACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA ETAPA MACRO DEL SGM-4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

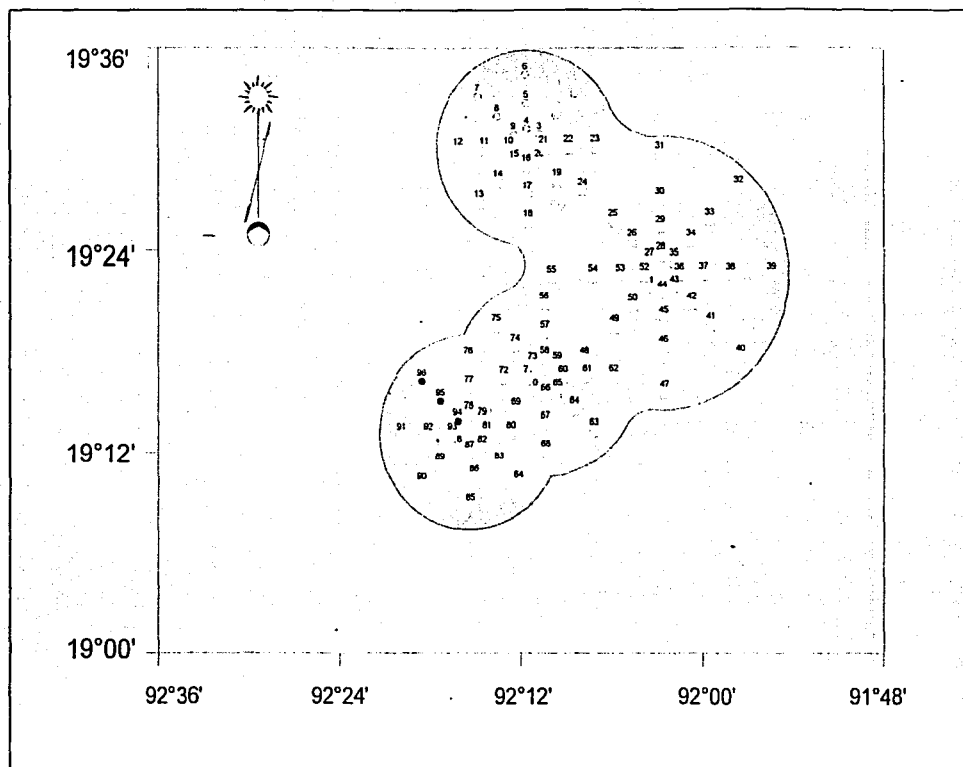
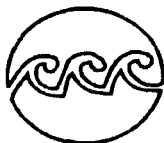


FIGURA 1.2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA ETAPA MICRO DEL SGM-4.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 1. OBJETIVOS Y METAS PROPUESTAS

### 1.1 OBJETIVOS.

#### 1.1.1. Objetivo general.

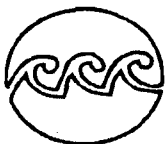
Determinación de metales adsorbidos en sedimento, aplicando la técnica "Procedimiento de Extracción consecutiva de las Partículas de Metales Traza" (Tessier *et al*; Junio 1979), para obtener las concentraciones existentes en la Sonda de Campeche, Camp., ubicada en el Sur del Golfo de México.

#### 1.1.2. Objetivos específicos.

- a) Realizar una revisión bibliográfica de la evaluación de los metales adsorbidos en sedimentos a nivel internacional, utilizando artículos de investigación publicados y trabajos realizados.
- b) Aplicar la técnica "Procedimiento de Extracción consecutiva de las Partículas de Metales Traza" (Tessier *et al*; Junio 1979), para determinar la concentración de metales adsorbidos en sedimentos.
- c) Delimitar con detalle las concentraciones de metales adsorbidos y compararlas con las concentraciones de metales totales en los sedimentos en la Sonda de Campeche (Sur del Golfo de México).
- d) Con base a los resultados obtenidos, realizar un programa de monitoreo a largo plazo que permita dar seguimiento a los impactos agudos y crónicos en los sedimentos del área por la actividad petrolera, que generan concentraciones de metales adsorbidos.

### 1.2. METAS.

- a) Realizar una comparación con otros lugares de las concentraciones de metales adsorbidos en sedimentos.
- b) Comparar los valores de metales adsorbidos con los totales en condiciones ambientales que se encuentran en los sedimentos de la Sonda de Campeche.
- c) Observar la tendencia de los niveles de metales adsorbidos en los sedimento.
- d) Establecer las condiciones ambientales en los sedimentos en zonas aledañas a las plataformas marinas, con base a muestreos radiales en ellas.



## 2. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio es la misma que en las campañas oceanográficas SGM-2 y 3 (Fig. 2.1). Esta se sitúa sobre la plataforma continental del sector Este de la bahía de Campeche entre la latitud Norte 18.00° a 21.00° y longitud Oeste 91.00° a 95.00°. Esta área de estudio abarca las zonas con actividades petroleras más importantes, donde se ubica la principal producción de petróleo en el país.

La zona Este del área de estudio se caracteriza por tener una amplia y somera plataforma, mientras que la parte Oeste presenta una plataforma estrecha alcanzando grandes profundidades (>800m); el área de estudio incluye a la sonda de Campeche que forma parte de la plataforma continental al Oeste de la Península de Yucatán en el sur del Golfo de México, y ha sido ampliamente descrita en los trabajos de Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil (1983, 1986, 1988a) así como en el realizado por PEMEX-UNAM (1997).

Como características principales cuenta con 90,000km<sup>2</sup> aproximadamente y una profundidad máxima de 200m, clima cálido subhúmedo con precipitación media anual de 1,100 a 2,000mm (Fig. 2.1). Los vientos predominantes muestran una dirección E-SE con velocidad máxima promedio de 8 nudos, excepto para los meses del período de "nortes", donde los vientos presentan dirección N-NW con velocidades de 50 a 72 nudos. Estos autores definen tres estaciones climáticas en el año: de junio a septiembre la estación de lluvias; de octubre a marzo la estación de nortes y de febrero a mayo la estación de sequía.

Una de las características ambientales de mayor relevancia en la región frente a la Laguna de Términos, es el área de transición sedimentológica entre las provincias deltáica (al Oeste) y carbonatada (al Este) del Golfo de México, donde las principales fuentes de sedimentos son el sistema fluvial Grijalva-Usumacinta y la plataforma carbonatada de Yucatán, además de la importante descarga de la Laguna de Términos sobre la plataforma continental (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1983, 1988a; Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988). Los cambios estacionales en la circulación costera son menores y la temperatura del agua se mantiene entre 25 y 29°C. Sin embargo, se presenta un gradiente horizontal de salinidad, pH (potencial de hidrógeno), oxígeno disuelto y materia orgánica como consecuencia de los aportes de aguas estuarinas epicontinentales. Estos procesos y la distribución de sedimentos determinan la existencia de dos hábitats o subsistemas ecológicos diferentes descritos ampliamente por Sánchez-Gil *et al.* (1981) y Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil (1983, 1988a) y representados como Zona A y Zona B; los límites de dicha zona cambian con la época debido a los aportes continentales y la intensidad de las corrientes.



La Zona A tiene la influencia permanente del río Grijalva-USUMACINTA y de la Laguna de Términos, ésta última origina un delta de intermareas hacia el mar en la Boca del Carmen (Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988) resultado del flujo neto en la Laguna de Este a Oeste (Kjerfve *et al.*, 1988) determinando aguas turbias (transparencia de 7 a 42%), alta concentración de sedimentos suspendidos (25.2mg/L) (Carranza-Edwards *et al.* 1993), ausencia de plantas benthicas, sedimentos limo arcillosos (10-60% de  $\text{CaCO}_3$ ), alto contenido de materia orgánica ( $\geq 10\%$ ), pH de 7.6 a 8.3, oxígeno disuelto  $< 4\text{mL/L}$ , salinidad superficial de 32.2 a 37.0, temperatura superficial de 22.8 a 27.7°C y temperatura de fondo de 23.3 a 28.0°C.

La Zona B es un área marina típica con aguas claras (transparencia de 50 a 99%), pastos marinos y macroalgas, sedimentos arenosos (70-90%  $\text{CaCO}_3$ ), bajo contenido de materia orgánica ( $\leq 10\%$ ), pH de 7.7 a 8.9, oxígeno disuelto  $> 4\text{mL/L}$ , salinidad superficial y de fondo de 35.7 a 37.2, temperatura superficial de 26.1 a 28.8 °C y temperatura de fondo de 24.2 a 28.1°C.

Las características de las Zonas A y B prevalecen a lo largo del año, presentándose variaciones estacionales determinadas por la dinámica ambiental y por la estrecha relación que presentan con la Laguna de Términos con la que llevan a cabo intercambio de materia y energía a través de procesos fisicoquímicos, biológicos y ecológicos como lo señalan Gutiérrez-Estrada y Castro del Río (1988), Kjerfve *et al.* (1988), Lizárraga-Partida y Bianchi (1988), Soberón-Chávez *et al.* (1988), Vázquez-Gutiérrez *et al.* (1988), Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, (1988a), Yáñez-Arancibia *et al.* (1988b, c) y Carranza-Edwards *et al.* (1993).

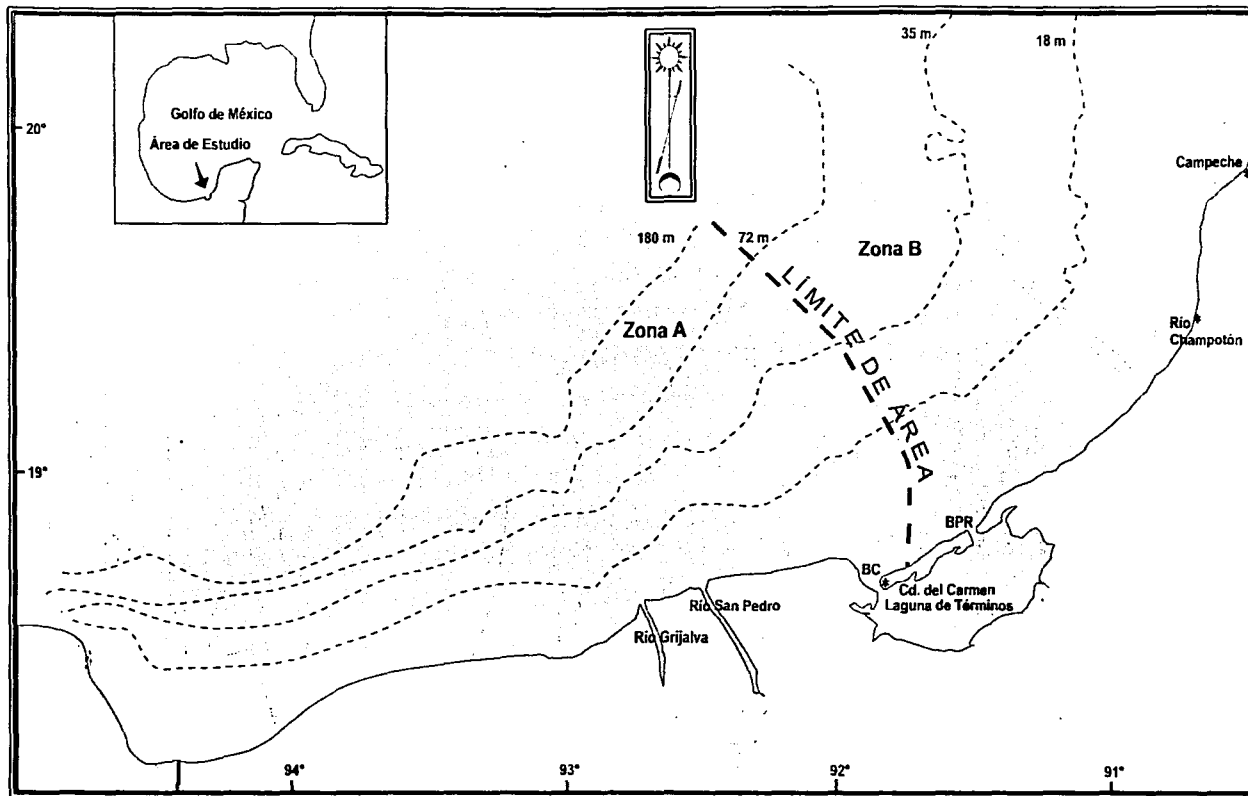


FIGURA 2.1. SONDA DE CAMPECHE.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

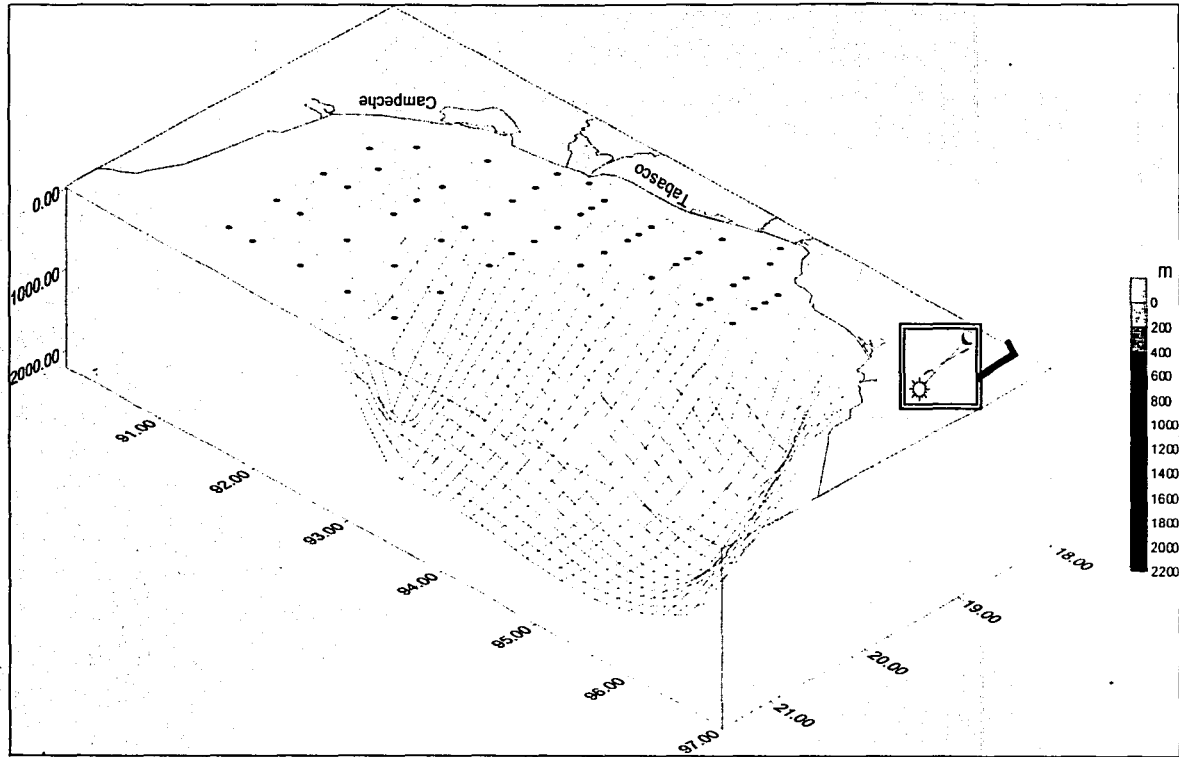


FIGURA 2.2. ÁREA DE ESTUDIO.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### 3. METODOLOGÍA

Se realizó la campaña oceanográfica, a bordo del B/O "Justo Sierra" de noviembre 28 a diciembre 10 de 1998, saliendo del Puerto de Tuxpan, Ver.

Las estaciones de muestreo de la campaña se encuentran localizadas en las figuras 1.1 y 1.2. Para la etapa Macro se realizaron 53 estaciones y para la etapa Micro fueron 96. La localización de cada estación se encuentra en las Tablas 3.1 y 3.2.

El mapa de los derroteros, así como el plan de campaña y solicitud del uso del buque se encuentra en los anexos.

La selección de las estaciones de muestreo se realizó con base en los trabajos anteriormente desarrollados en la zona marina de las plataformas y las costas de los estados de Campeche y Tabasco (Campañas oceanográficas SGM-1, SGM-2 y SGM-3), (PEMEX-UNAM, 1997).

Las técnicas usadas para la determinación de los parámetros se basó en las normas nacionales e internacionales, y recomendadas para trabajos de investigación marina. (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Técnicas analíticas utilizadas.

MUESTREO	MÉTODO/PRESERVACIÓN	DESCRIPCIÓN
Análisis de metales	El método analítico para la determinación de metales pesados es el de espectrofotometría de absorción atómica.	Las muestras de agua y sedimento se colectaron por duplicado aplicando las técnicas de toma y conservación.

#### 3.1. Muestreo (véase anexo fotográfico).

En la Tabla 3.2 se menciona el equipo utilizado para obtener las muestras de sedimento para llevar a cabo los análisis adecuados.

Las muestras de sedimento se colectaron con una draga de tipo Mackintyre de 0.5m<sup>3</sup> de capacidad.

Tabla 3.2. Equipo utilizado para la colecta muestras.

Equipo	Parámetro analizado
Draga	Metales





### 3.2 Toma de muestras para analizar en el laboratorio.

En una bolsa de plástico se vertió aproximadamente un kilogramo de sedimento con una cuchara de plástico, se selló, etiquetó y se refrigeró a 4°C.

### 3.3. Análisis en el laboratorio.

Se puso a secar la muestra durante 24 horas, a 105° C en una estufa de secado. Se trituró en un recipiente de plástico, para evitar contaminación de metales.

1. Se tomó 1g de muestra, pesada en una báscula analítica, previamente calibrada. (Fig. A)
2. La muestra se vació en un matraz Erlenmeyer de 25mL y se le añadió 10mL de Acetato de Sodio 1M, con un pH aproximadamente de 8.2 unidades. En un sistema de agitación modelo *STATUS* y marca *Hull England*, se puso a agitar durante 2 horas. (Figs. B y C)
3. Se puso la muestra en tubos de centrifugación de polipropileno de 10mL, para minimizar el contenido de material sólido suspendido.
4. En una centrífuga modelo *DYNAC* y marca *Clay Adams*, se colocó la muestra a 10,000 rpm, durante 30min. (Fig. D)
5. Se obtuvo el sobrenadante, vaciándolo en un matraz volumétrico, aforando a 25mL con agua destilada. (Fig. E)
6. Se calibró el equipo equipo, realizando curvas de calibración con estándares certificados internacionalmente marca *MERCK* de cada metal adsorbido que se midió. Se utilizó un mismo juego de pipeta para todas las curvas.
7. Se leyeron los metales adsorbidos en un **Espectrofotómetro de Absorción Atómica** marca *Perkin Elmer*, modelo 2380, utilizando el método de flama (Tessier, et al; 1979).

El límite de error que se obtuvo en los análisis fue de  $r = 0.99$ , con una distorsión de ruido en el equipo de  $\pm 2$  unidades de absorbancia. (Tessier et al; 1979)

#### NOTA:

TODO EL MATERIAL FUE LAVADO CON ESTRÁN (DETERGENTE EXENTO DE SALES Y FOSFATOS), ÁCIDO NÍTRICO DESTILADO Y AGUA DESTILADA, PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN DE METALES Y PODER CUMPLIR CON LA CALIDAD NECESARIA EN LOS ANÁLISIS.

En la Fig. 3.1 se muestra un diagrama de flujo del procedimiento que se llevó a cabo para la preparación de la muestra.

**Figura 3.1. Diagrama de flujo para la determinación de metales adsorbidos en sedimento por absorción atómica.**

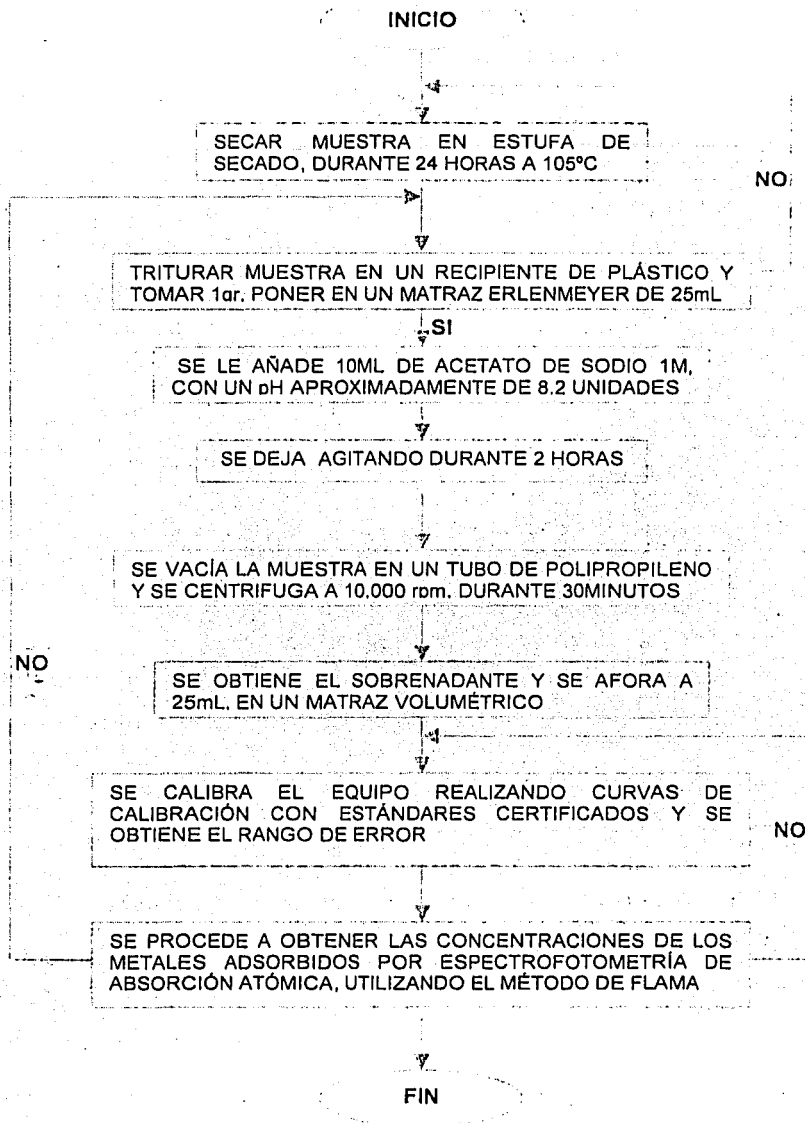
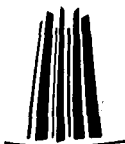
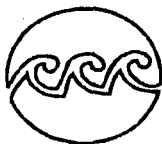
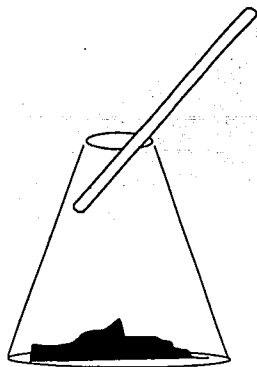
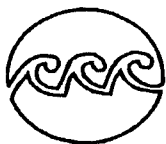
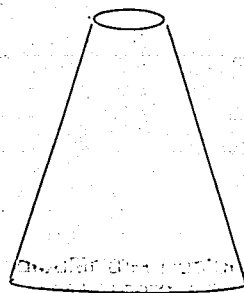


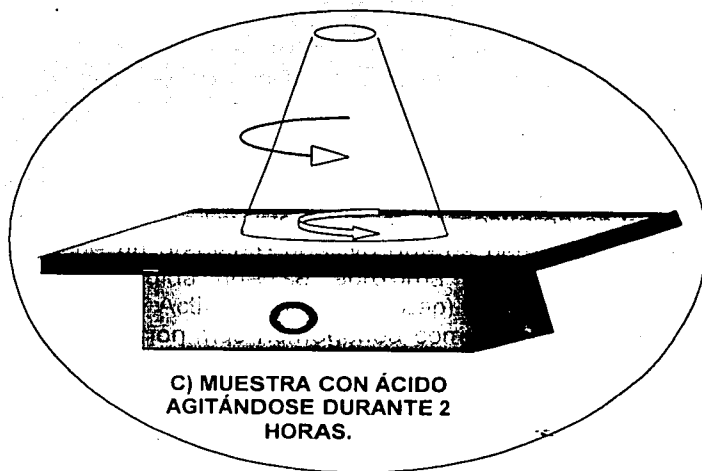
FIGURA 3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR METALES ADSORBIDOS EN SEDIMENTO



A) MUESTRA EN MATRAZ  
ERLEN MEYER

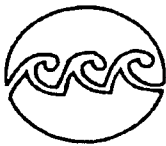


B) MUESTRA CON ÁCIDO  
NÍTRICO DESTILADO



C) MUESTRA CON ÁCIDO  
AGITÁNDOSE DURANTE 2  
HORAS.

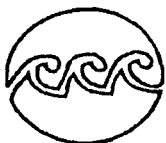
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**D) CENTRIFUGADO DE MUESTRA  
DURANTE 30 MINUTOS**



**E) SOBRENADANTE DE LA  
MUESTRA CENTRIFUGADA  
AFORADA A 25mL**



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La descripción y discusión de los resultados de esta campaña, han sido divididos en dos zonas, conforme se elaboró la propuesta y la campaña: (1) Etapa "Macro", que comprende desde Punta Zapotitlán, Ver; a la parte Norte de Cayo Arcas (Fig.1.1); (2) Etapa "Micro" que comprende solamente el área de las plataformas marinas (Fig. 1.2).

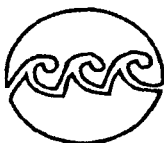
### 4.1. ETAPA MACRO.

#### 4.1.1. Metales Adsorbidos.

La concentración del bario adsorbido se encontró en el intervalo de 0.0337 a 1.077ppm, con un valor promedio de 0.317ppm. Al comparar la concentración del bario total (Fig. 4.3) con la del bario adsorbido (Fig. 4.2) se observan diferencias marcadas; en general esta distribución fue más homogénea y con un gradiente positivo de la zona costera a la de mayor profundidad. La zona Este presenta un vórtice de alta concentración cercano a la zona de Cayo Arcas (Fig. 4.2), el cual posiblemente ha sido motivado por algún aporte puntual de lastre; la zona de plataformas presenta una distribución con gradiente positivo hacia la parte Oeste. Precisamente, esta última zona presenta un comportamiento más heterogéneo, respecto a la zona Este, y se alcanzan a apreciar pequeños aportes fluviales debido a los procesos de lixiviación de sedimentos en la parte continental (Stumm y Morgan, 1996); los otros vórtices que se observan frente al Río Coatzacoalcos son motivados por los cambios de pendiente y las corrientes de fondo.

La concentración del cadmio adsorbido se encontró en el intervalo de 0.019 a 0.106ppm, con un valor promedio de 0.072ppm (Fig. 4.6). La zona Este presenta una distribución homogénea con un gradiente negativo de la zona costera a la parte profunda; la zona de plataformas también presenta esta característica como se describió anteriormente (PEMEX-UNAM, 1997). La zona Oeste presenta una distribución más heterogénea con un vórtice de alta concentración frente al Río Coatzacoalcos y es motivado por la batimetría de la zona y los aportes del río; frente al Puerto de Dos Bocas se alcanza a observar un aporte (Fig. 4.5); en la parte central y más profunda de ésta zona, se observan pequeños vórtices de alta concentración ocasionados por los cambios de pendiente.

La concentración del cobre total se encontró en el intervalo de 0 a 47ppm, con un valor promedio de 32ppm (Tabla 4.2). Al comparar la concentración del cobre total (Fig.4.8) con la del cobre adsorbido (Fig.4.7) se observan diferencias marcadas; en general esta distribución fue más homogénea para el cobre total. Para el cobre adsorbido, la zona Este presenta dos vórtices de alta concentración en la parte



Norte de plataformas y en el paralelo 21°, ambos relacionados al tráfico marino de la zona los cuales pueden descargar lastre no autorizado, como sucede en diversas partes del océano mundial. En la zona de plataformas se presenta un vórtice de alta concentración que se une al proveniente de la zona costera de Atasta (Fig. 4.7) motivado por las corrientes marinas de fondo. En la zona Oeste, la distribución es más heterogénea y se perciben con claridad los aportes fluviales de las costas de Tabasco y Veracruz (Fig. 4.7); los vórtices de alta concentración en la parte del Río Coatzacoalcos se deben a la influencia del aporte mismo, a las corrientes de fondo y a la batimetría propia del lugar. Los cambios de pendiente frente a Punta Zapotitlán y el Río Coatzacoalcos dan origen a otros vórtices (Fig. 4.7).

La variación del Fe adsorbido presenta una variación bastante heterogénea (Fig. 4.10) similar a la del Ni y Pb. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0.001 a 0.003ppm, con un valor promedio de 0.002ppm. Al comparar, esta distribución con la del hierro total (como  $Fe_2O_3$ ) se puede señalar que existe un gran contraste (Fig. 4.11), ya que éste último es bastante homogéneo en los sedimentos superficiales de la zona de estudio. La parte Este se caracteriza por tener diversos vórtices que incluye la parte de plataformas y los aportes fluviales y de la Laguna de Términos (Fig. 4.10); este metal proviene de la lixiviación de las rocas y de las actividades propias de la industria petrolera en la zona (Stumm y Morgan, 1996). La zona Oeste, también presenta diversos vórtices asociados en la zona profunda y aportes fluviales en las costas de Veracruz y Tabasco (Fig. 4.1). El moldeamiento de los vórtices está motivado por las corrientes de fondo y el pastoreo de los organismos. La concentración de este metal adsorbido fue la más baja comparada con los otros metales analizados (Tabla 4.1).

La figura 4.13 muestra la distribución del níquel adsorbido en los sedimentos superficiales de la Sonda de Campeche; la concentración se encontró en el intervalo de 0.082 a 0.245ppm con un valor promedio de 0.163ppm. Se observa la formación de diversos vórtices de alta concentración en la parte Este del área de estudio; los cuales están posiblemente asociados a las actividades intensas del transporte marino que se realiza en la zona Este. También esta zona se caracteriza por presentar un gradiente negativo de la zona costera a la parte profunda. La zona de plataformas presenta un vórtice de concentración media que se extiende a la parte costera, motivado posiblemente por las corrientes marinas (PEMEX-UNAM; 1997). En la zona Oeste, la distribución de este metal fue también heterogénea y presentó diversos vórtices. Son claros los vórtices provenientes de los aportes de los ríos y del Puerto de Dos Bocas (Fig. 4.13); los vórtices al Este de Punta Zapotitlán pueden ser motivados por las corrientes y el aporte del Río Coatzacoalcos, lo cual se confirma con la distribución del níquel total en esa zona (Fig. 4.14). En general el gradiente es positivo de la zona costera



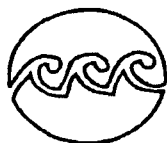
a la más profunda y es motivado por la disposición de la batimetría en la zona Oeste de la zona de estudio.

Las concentraciones bajas del níquel adsorbido en la zona costera se debe a la gran actividad por pastoreo de los organismos bentónicos y a las corrientes de fondo; de esta forma se tiene que para las zonas más profundas la concentración es mayor, debido al bajo pastoreo de los organismos bentónicos ocasionado por la disminución de su biomasa y también porque las corrientes de fondo son más lentas en zonas más profundas.

La concentración del níquel total se encontró en el intervalo de 1 a 171ppm, con un valor promedio de 57ppm. Al comparar la concentración del níquel total (Fig. 4.14) con la del níquel adsorbido se observan diferencias marcadas; en general esta distribución fue más homogénea. La zona Oeste presenta un vórtice de alta concentración frente al Río Coatzacoalcos y es motivado por la batimetría de la zona y los aportes del río; frente al Puerto de Dos Bocas se alcanza a observar una aporte que abarca gran parte de las costas de Tabasco (Fig. 4.14). A medida que se desplaza a la parte Este el gradiente se conserva positivo de la zona costera a la más profunda y se nota bien el vórtice de alta concentración en la zona de plataformas y en el paralelo 21°, éste último ocasionado por las actividades del tráfico marino que se realizan en la zona.

La concentración de plomo adsorbido se encontró en el intervalo de 0.62 a 1.318ppm con un valor promedio de 1.008ppm La concentración del plomo adsorbido es compleja en la zona de estudio (Fig. 4.16); en la zona Este se observan diversos vórtices de alta concentración cercanos al paralelo 20; también en la zona de plataformas se observa un vórtice, el cual se encuentra asociado con las actividades que en ella se desarrollan. En la parte Oeste de la Sonda de Campeche la concentración de plomo adsorbido en sedimentos presenta cuatro vórtices pequeños de alta concentración (Fig. 4.16); los cuales pueden ser debidos a los aportes fluviales y del área del Puerto de Dos Bocas. En general se puede señalar que el gradiente es positivo de la zona costera a la parte más profunda. Las variaciones observadas de este metal se deben a su interacción con los sedimentos de tipo limoso y arcilloso, así como a las corrientes de fondo y al pastoreo de los organismos del bentos. Cambios en el potencial redox, oxígeno disuelto y pH en sedimento y agua de fondo influirán en el proceso de adsorción de los metales (Merian, 1991).

La concentración de plomo total en sedimentos presenta una variación más homogénea respecto a la del plomo adsorbido (Fig. 4.17). En la zona Oeste, se percibe un aporte fluvial de los ríos que drenan a las costas de Veracruz y Tabasco. En la parte Este, el vórtice de mayor concentración entre los paralelos 20° y 21° se puede deber al cambio de la batimetría que se presenta en esa zona



(plano 1). En general el gradiente se hace positivo de la parte costera a la más profunda.

La variación del vanadio adsorbido presenta una variación más homogénea (Fig. 4.19) respecto a la del Ni y Pb. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0 a 0.048ppm, con un valor promedio de 0.033ppm. La zona Este, presenta un núcleo de 0.015ppm que se extiende en el 50% del área e incluye a la zona de plataformas y presenta un gradiente positivo de la zona costera a la parte más profunda (Fig. 4.19). Mientras que la parte Oeste, presenta un núcleo de baja concentración y se observan aportes fluviales de los ríos Coatzacoalcos y Grijalva. La concentración del vanadio total (Fig. 4.20), presenta una distribución homogénea en ambas zonas de estudio. Es notario el gradiente positivo de este metal en la parte de plataformas y que se encuentra perpendicular a la fractura de Xicalango, como se ha observado en otro estudio (PEMEX-UNAM; 1997).

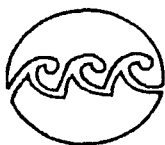
El zinc adsorbido presenta una variación más homogénea (Fig. 4.22) respecto a la del Ni y Pb. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0.027 a 0.187ppm, con un valor promedio de 0.120ppm. Dos sistemas de alta concentración se observan frente a las bocas de los Ríos Coatzacoalcos y Grijalva y San Pedro y San Pablo (Zona Oeste; Fig. 4.22). En la zona Este de la Sonda de Campeche se caracteriza un sistema de baja concentración al Norte de la zona de plataformas; otro aporte que se alcanza a apreciar es el proveniente de la Boca del Carmen (Fig. 4.22).

La zona Oeste de la Sonda de Campeche se caracteriza por tener un gradiente negativo de este metal de la zona costera a la parte profunda (Fig. 4.22); mientras que la zona Este, se caracteriza por tener un gradiente positivo que se extiende a la parte somera, posteriormente el gradiente se torna negativo en la zona profunda.

Los cambios de zinc total en sedimentos (Fig. 4.23) mostraron en la zona Este de la Sonda de Campeche un gradiente positivo que es perpendicular a la costa y tiende a inclinarse a medida que se aproxima a la zona de plataformas (principalmente al norte del Activo Ku-Maloob-Zaap). La zona Oeste del área de estudio presentó una variación más homogénea con un gran núcleo de 110 ppm que cubre el 80% de la zona (Fig. 4.23); dentro de este núcleo que se observa un sistema de alta concentración formado posiblemente por los aportes del Río Coatzacoalcos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## 4.2. ETAPA MICRO.

### 4.2.1. Metales Adsorbidos.

La concentración del bario adsorbido se encontró en el intervalo de 0.224 a 0.981ppm, con un valor promedio de 0.596ppm (Tabla 4.4). Al comparar la concentración del bario total (Fig. 4.26) con la del bario adsorbido (Fig. 4.25) se observan diferencias marcadas, en general ésta distribución fue más homogénea y con un gradiente positivo. La distribución del bario adsorbido presenta un sistema heterogéneo de vórtices de alta concentración en la zona de los Ku, Pool y Abkatun (Fig. 4.25); mientras que en la zona del PEMOC la distribución de este metal adsorbido es más homogénea y tiende a tener un gradiente positivo. La distribución del bario total (Fig. 4.26) presenta un gradiente positivo de la zona SE a la NO. La zona del PEMOC, presenta una zona de alta concentración ocasionada por las actividades en la misma; otros vórtices discretos se observan en la zona de los Ku, Abkatun y Pool.

La concentración del cadmio adsorbido se encontró en el intervalo de 0.093 a 0.294ppm, con un valor promedio de 0.201ppm (Tabla 4.4; Figs. 4.27, 4.29 y 4.30). La distribución es bastante heterogénea y es similar a la del bario; se observa en general un gradiente negativo de la zona SE a la NO. En los campos Abkatun, Pool, Ku y del Proyecto PEMOC se observan diversos vórtices de alta concentración, asociados a las actividades de las plataformas; el área del PEMOC, es la que presenta el mayor sistema de vórtices (Figs. 4.27 y 4.30). El uso de cadmio como parte de los agentes contra la corrosión es parte de las fuentes del metal analizado en esta zona (Stoepler, 1991).

La concentración del cobre adsorbido se encontró en el intervalo de 0.032 a 7.05ppm, con un valor promedio de 0.548ppm (Tabla 4.4). Al comparar la concentración del cobre total (Fig. 4.32) con la del cobre adsorbido (Fig. 4.31) se observan diferencias marcadas; en general esta distribución fue más homogénea para el cobre total. Para el cobre adsorbido, la distribución es homogénea comparada con las de bario y cadmio; un vórtice de mayor concentración se observa en la zona del PEMOC y se encuentra asociado a las actividades en expansión del dicho proyecto (PEMEX); esto concuerda con el vórtice de alta concentración que se observa en la zona costera de Atasta (Fig. 4.33). En general se observa un gradiente negativo de la zona SE a la NO.

El Fe adsorbido presenta una variación bastante heterogénea (Fig. 4.36) similar a la del Ni, Pb y Zn. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0.001 a 0.004ppm, con un valor promedio de 0.002ppm (Tabla 4.4). Al comparar, esta distribución con la del hierro total (como  $Fe_2O_3$ ) se puede señalar que existe



un gran contraste (Figs. 4.36 y 4.37), ya que éste último es bastante homogéneo en los sedimentos superficiales de la zona de plataformas y además presenta un gradiente positivo de SE a NO, siguiendo la Fractura de Xicalango. La concentración de hierro adsorbido en la etapa "Micro" presenta una variación más homogénea que la del níquel (Fig. 4.34); para este metal se alcanza a observar un gradiente positivo del SE al NO (0.0016 – 0.0036ppm). Los sistemas de alta concentración están asociados a la zona del campo Ku, éstas concentraciones están formadas por las corrientes de fondo y las actividades en las plataformas. En los campos Abkatum, Pool y del Proyecto PEMOC (Fig. 4.34), la distribución de hierro adsorbidos es más homogénea; los sistemas discretos de alta concentración que se observan en los campos antes señalados se deben a las actividades propias de las plataformas (mantenimiento, descarga de aguas, perforación, explotación, etc.). También se observa un gradiente positivo para el hierro adsorbido que concuerda con el del hierro total (Fig. 4.35; Tabla 4.5).

Las figuras 4.38 y 4.40 muestran la distribución del níquel adsorbido en los sedimentos superficiales de la Sonda de Campeche; la concentración se encontró en el intervalo de 0.108 a 0.272ppm con un valor promedio de 0.186ppm; esta distribución se encuentra moldeada por las actividades propias de las plataformas petroleras y sus diversos campos los cuales no presentan las mismas actividades de producción (PEMEX-UNAM; 1997). Los gradientes son negativos tomando en cuenta las zonas centrales de referencia Ku, Akal-S, Abkatum-G Y Pool-A (Fig. 4.38), esto indica que éste metal adsorbido se encuentra asociado a las actividades propias de las diversas plataformas y su intensidad de carga de trabajo. No existen datos previos de níquel adsorbido para hacer una mayor discusión al respecto. La concentración del níquel total en la parte "Micro", es homogénea con una tendencia positiva de la parte SE a la NO (Fig. 4.39). En la zona de los Ku y Pool se presentan discretas zonas de alta concentración; mientras que para la zonas del PEMOC y de Abkatum no presentan ésta tendencia. Como ya fue mencionado la tendencia del incremento de concentración tiende a seguir la Fractura de Xicalango (PEMEX-UNAM, 1999).

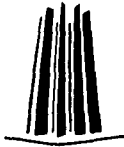
La concentración de plomo adsorbido se encontró en el intervalo de 0.620 a 1.395ppm con un valor promedio de 1.042ppm. La concentración del plomo adsorbido es compleja como la de la mayoría de los otros metales (Figs. 4.42 y 4.43). La concentración de este metal, presenta un gradiente negativo de la zona SE a la NO. Diversas zonas de alta concentración se presentan en las cuatro áreas tomadas como base central, teniendo relevancia la que se presenta en la zona de los Abkatun y los diversos núcleos que se presentan en el campo Ku y del PEMOC (Fig. 4.41). En general se observa un gradiente negativo de la zona SE a la NO. Como se ya se mencionó las actividades en su intensidad y cantidad de cada una de las zonas estudiadas, tienen gran significado sobre la concentración del plomo adsorbido; además hay que tomar en cuenta las condiciones químicas



(potencial redox, cantidad de azufre, pH, etc.) y biológicas (pastoreo del bentos, especies del bentos, etc.) de la zona que contribuyen a los procesos de adsorción y desorción de los metales en los sedimentos marinos (Stumm y Morgan, 1996; Merian, 1991; Langston, 1980).

La variación del vanadio adsorbido presenta una variación más homogénea (Fig 4.45 y 4.46) respecto a la del Fe, Ni y Pb. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0.036 a 0.737ppm, con un valor promedio de 0.099ppm. Los vórtices de mayor concentración se encontraron solamente presentes en la zona SE y NO del complejo de producción Abkatun, lo cual no concuerda con el tipo de aceite crudo que se maneja en esta zona y el cual está clasificado como ligero y presenta en promedio 59ppm de vanadio (PEMEX-IMP; 1995); las demás zonas estudiadas presentaron una distribución homogénea que recuerda a la del vanadio total (Fig. 4.44 y 4.47). La concentración del vanadio total muestra un gradiente positivo de SE al NO y recuerda a la distribución reportada con anterioridad en la misma zona (PEMEX-UNAM, 1999).

El zinc adsorbido presenta una variación más homogénea (Fig. 4.48 y 4.50) respecto a la del Fe, Ni y Pb. La concentración de este metal se encontró en el intervalo de 0.093 a 0.29ppm, con un valor promedio de 0.155ppm. La concentración de este metal, presenta un gradiente negativo de la zona SE a la NO, similar a la de otros metales (ej. plomo adsorbido; Fig. 4.28). Diversas zonas de alta concentración se presentan en las cuatro áreas tomadas como base central, teniendo relevancia la que se presenta en la zona de los Abkatun y los diversos núcleos que se presentan en la zona del PEMOC (Fig. 4.48). Como ya se mencionó las actividades en su intensidad y cantidad de cada una de las zonas estudiadas, tienen gran significado sobre la distribución de este metal adsorbido. La concentración del zinc total (Tabla 4.5) es bastante homogénea y presenta un gradiente positivo de la parte SE a la NO (Fig. 4.49 y 4.51); solamente se observa un discreto vórtice de mayor concentración en la zona Oeste del campo Ku. Como en el caso del plomo, níquel y hierro la distribución de zinc total sigue la Fractura de Xicalango.



### 4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO Y CLUSTERS.

#### 4.3.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO.

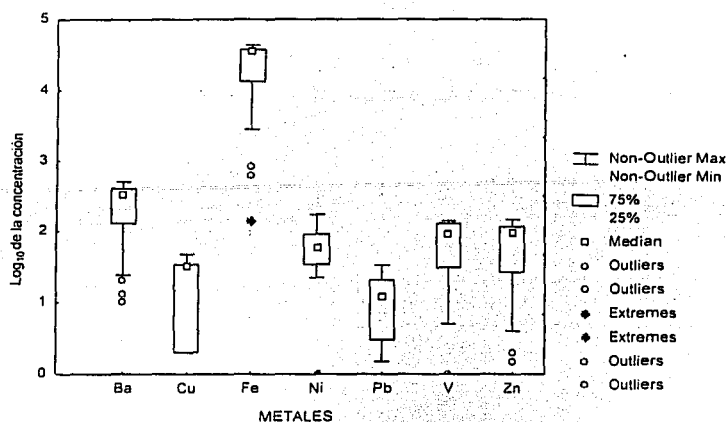
##### 4.3.1.1. Metales totales en sedimento.

**4.3.1.1.1. ETAPA MACRO.** El diagrama de cajas para los metales totales (Gráfica 4.33) muestra que el cobre presenta el mayor sesgo negativo y la media se encuentra en el cuartil de 75%, el máximo de la cola se encuentra cercana a éste cuartil. El plomo, muestra un sesgo negativo ya que nuevamente la media se encuentra hacia el cuartil de 75%, el extremo máximo de la cola se encuentra más cerca del cuartil de 75%, mientras que el mínimo de la cola se encuentra más alejado del cuartil de 25%. El zinc, presenta un extremo mínimo de cola alejado del cuartil de 25%, mientras que el máximo se aproxima al cuartil de 75%; la media tiene un sesgo negativo y se encuentra cercana al cuartil de 75% y presenta dos valores fuera de rango. El vanadio sigue una tendencia similar al zinc, pero con una longitud de cola menor (Gráfica 4.33) y también presenta dos valores fuera de rango. El bario presenta un sesgo negativo similar al hierro y una longitud de cola similar a la del plomo; el máximo de la cola se encuentra cercano al cuartil de 75%, mientras que el mínimo se encuentra alejado del cuartil de 25%, además presenta tres valores fuera de rango. El hierro, presenta una distribución similar al bario, con la media formando un sesgo negativo y dentro del cuartil de 75%; el máximo de la cola se encuentra muy cercano al cuartil de 75%, además presenta dos valores fuera de rango y un valor extremo (Gráfica 4.33). Finalmente se observa que el níquel presenta poca dispersión de los datos y la media no presenta sesgo apreciable, además presenta dos valores extremos. En general se puede señalar que los datos presentan una marcada diferencia en toda la zona "Macro" debido a que se realizó una transformación logarítmica para tener una mejor interpretación de los mismos.

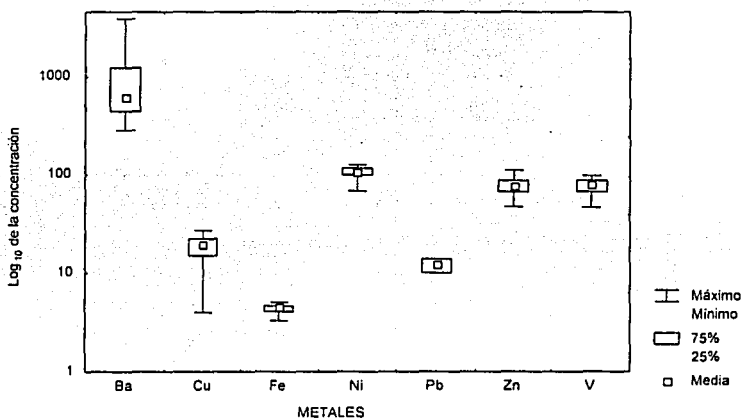
Las variaciones observadas en éstos metales para la zona "Macro", muestra la influencia de los diversos minerales que se presentan en el fondo marino y la influencia de diversos aportes fluviales y de la industria petrolera.

**4.3.1.1.2. ETAPA MICRO.** El diagrama de cajas de los metales totales en sedimentos se muestra en la Gráfica 4.34.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 4.33. Diagrama de cajas para los metales totales en sedimentos, etapa "Macro" (la concentración se encuentra como  $\log_{10}$ ).



Gráfica 4.34. Diagrama de cajas para los metales totales en sedimentos, etapa "Micro" (la concentración se encuentra como  $\log_{10}$ ).

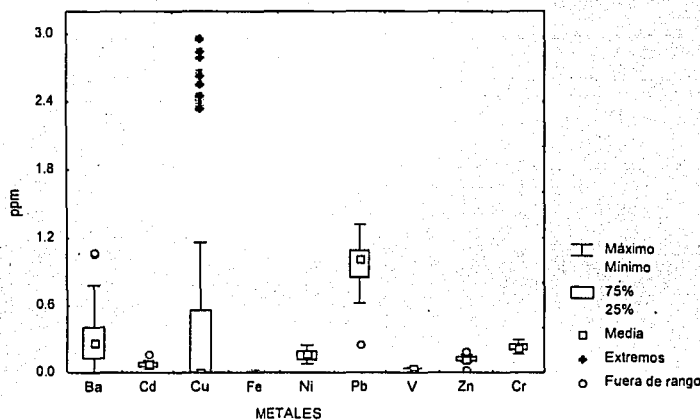
#### 4.3.1.2. Metales adsorbidos en sedimento.

**4.3.1.2.1. ETAPA MACRO.** El diagrama de cajas de los metales adsorbidos se presenta en la Gráfica 4.35. La concentración de cobre fue la que presentó la mayor variación, con una longitud de cola de  $\approx 1$ ppb y una media con sesgo positivo y un máximo de cola alejado del cuartil de 75%, mientras que el mínimo se encuentra en el cuartil de 25%; también se caracteriza porque presenta 11 valores extremos. El bario presenta una longitud de cola de 0.8ppb y una altura de caja de  $\approx 0.3$ ppb, con una media cercana a la simetría y un valor fuera de rango. El

TEGOS CON  
FALTA DE ORIGEN



plomo, es el tercer metal adsorbido que presenta una longitud de cola de 0.7ppb y una altura de diagrama de 0.25ppb; la media con sesgo negativo y un valor fuera de rango hacia la parte de menor concentración. Los metales níquel, cromo, cadmio y zinc, presentan poca dispersión y solamente el cadmio y zinc, presentan valores fuera de rango (Gráfica 4.35). Para el vanadio y hierro, se puede señalar que no existe dispersión de las concentraciones analizadas. Finalmente se puede señalar, que la variación del cobre se debe a la facilidad que tiene el cobre para ser removido de los sedimentos por su capacidad de formar complejos y porque

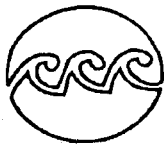


es un micro nutriente; la del bario se debe a su abundancia que presenta en la zona.

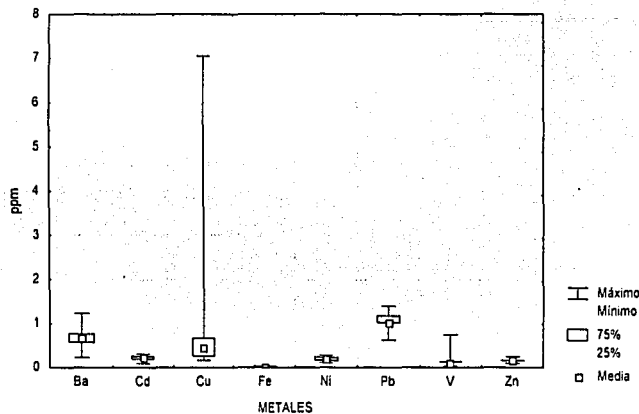
Gráfica 4.35. Diagrama de cajas para los metales adsorbidos en sedimentos, etapa "Macro".

**4.3.1.2.2. ETAPA MICRO.** El diagrama de cajas de los metales adsorbidos, se presenta en la Gráfica 4.36; ésta gráfica no difiere mucho de la obtenida en la parte "Macro". Nuevamente el cobre presenta el mayor rango de concentración motivado por las actividades petroleras de la zona de plataformas y su movilidad química de éste metal en los sedimentos; el cobre presenta una longitud de cola de 7.0ppb, con un máximo alejado del cuartil de 75%, una media que no presenta sesgo y una altura de caja  $\approx 0.7$ ppb. El bario, presenta una longitud de cola de  $\approx 1.4$ ppb, con el máximo y mínimo casi a la misma distancia del cuartil de 25% y 75%, respectivamente; la media no muestra sesgo y se encuentra limitada por los cuartiles de 25% y 75%. El plomo presenta una longitud de cola de  $\approx 1$ ppb con el mínimo de cola más alejado del cuartil de 25% y el máximo más cercano al cuartil de 75%; la media presenta un sesgo positivo y la altura de la caja es de  $\approx 0.2$ ppb. El vanadio, presenta una longitud de cola de  $\approx 0.8$ ppb, con el máximo alejado del cuartil de 75% y el mínimo cercano al cuartil de 25%; la media no presenta sesgo aparente. El cadmio, níquel y zinc presentan los extremos de la cola cercanos a los cuartiles y a la media (Gráfica 4.29), mostrando poca dispersión de las

TRATAMIENTO  
FALLA DE ORIGEN



concentraciones en la zona de plataformas. La concentración del hierro fue bastante homogénea y no se presenta dispersión de los datos en la zona de plataformas, lo cual es similar a lo reportado para la zona "Macro" (Gráfica 4.35).



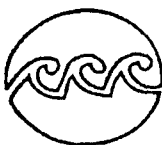
Gráfica 4.36. Diagrama de cajas para los metales adsorbidos en sedimentos, etapa "Micro".

#### 4.4. CLUSTERS, DIAGRAMAS DE ICONOS E IDENTIFICACIÓN DE ZONAS.

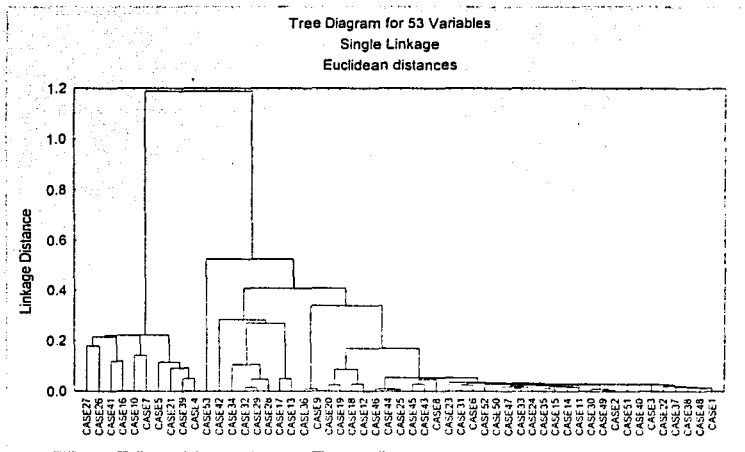
Uno de los principales alcances de los trabajos ambientales y ecológicos es la clasificación de los sitios de muestreo en etapas con características semejantes, patrones de contaminación o composición geoquímica semejante o simplemente agruparlos en forma natural. Las técnicas del análisis de clusters o agrupamiento son herramientas importantes de clasificación que permiten el agrupamiento de variables (parámetros o estaciones de muestreo) en grupos, donde en cada grupo las variables tienen afinidad o similitud y entre los grupos puede existir similitud o no y de esta manera formar entre los grupos agrupamientos de similitud para finalmente dar paso a un diagrama de "árbol jerarquizado" como resultado final; es importante señalar que las variables deberán de tener en cada grupo una variación que permita diferenciarlas (Hewitt, 1992; Chatfield y Collins, 1980). A continuación se presentan los resultados de éste tipo de análisis a los datos obtenidos en la presente campaña para los parámetros químicos y los de fitoplancton.

También han sido incorporadas las representaciones gráficas mediante diagramas de iconos o símbolos multi - códigos con el fin de tener una herramienta adicional para diferenciar las estaciones de muestreo o las variables estudiadas (Hewitt, 1992); éste tipo de gráficas ayudan a clasificar las observaciones mediante símbolos multi - dimensiones o multi - códigos (Statística, 1995).

TRABAJO CON  
FALLA DE ORIGEN



**4.4.1. Parámetros de la ETAPA MACRO.** El diagrama jerarquizado de árbol para las 53 estaciones de muestreo del sedimento superficial se presenta en la Gráfica 4.61; la formación de dos zonas se observa a primera vista, sin embargo al tratar de establecer la relación de las estaciones para el primer agrupamiento se observan estaciones aisladas que no proporcionan un agrupamiento útil.



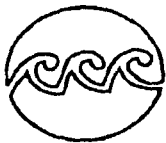
Gráfica 4.61. Diagrama de árbol jerarquizado para sedimento de la etapa "Macro".

La representación con *diagramas de iconos* para las 53 estaciones de muestreo de sedimentos con base a la relación de cuatro variables asociadas a la explotación de petróleo: Ni-A (color verde; níquel adsorbido), V-A (color amarillo) y adicionalmente Pb-A (color azul) (Gráfica 4.62) muestra que la presencia del plomo y el níquel caracterizan a las estaciones de muestreo. La zonación de estos resultados muestra una franja amplia de Este a Oeste cercana a la costa y que cubre la etapa de plataformas (Gráfica 4.63); otra franja en la zona profunda distribuye al níquel, vanadio y plomo adsorbidos, esta última distribución probablemente se debe a las corrientes de fondo que distribuyen los metales hacia la zona profunda.

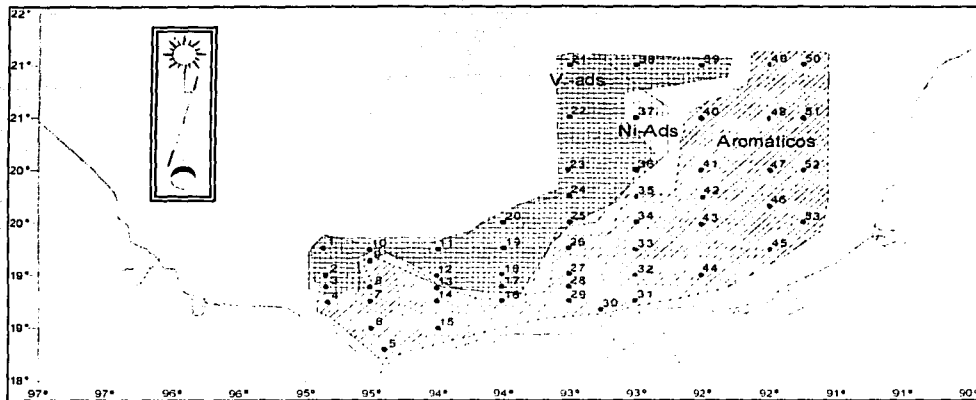
Otra representación de diagramas de iconos (Gráfica 4.64) tomando en cuenta las variables de mayor peso y correlación: BaT (color rojo), FeT (color verde claro), NiT (color azul claro), PbT (color amarillo), ZnT (color magenta), VT (color azul turquesa), Ba-A (color azul marino), % de materia orgánica total (color vino), % de arena (color verde fuerte), % de arcilla (color gris) y % de limo (color rosa) muestra una zonación que permite establecer una zona costera con contenido de limo (Gráfica 6.65) mezclada con arcilla (zona Norte de la parte Este) y arena (frente a la boca del Carmen); mientras que la arena se encuentra asociada con los frentes de los ríos; otra zona característica en la de la materia orgánica total en la parte

TRIPES  
NO  
FALTA DE ORIGEN

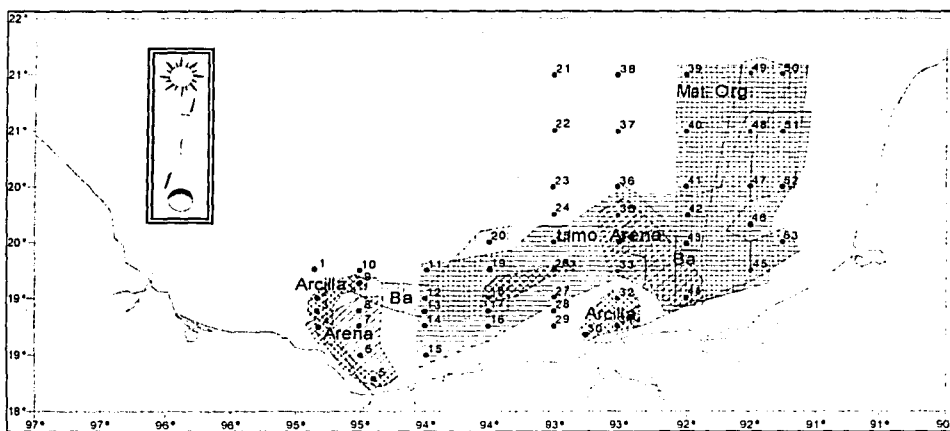




Este; finalmente dos zonas de barío se observan, una en la parte Oeste en las estaciones profundas y la otra en la Este y que incluye a la zona de plataformas.



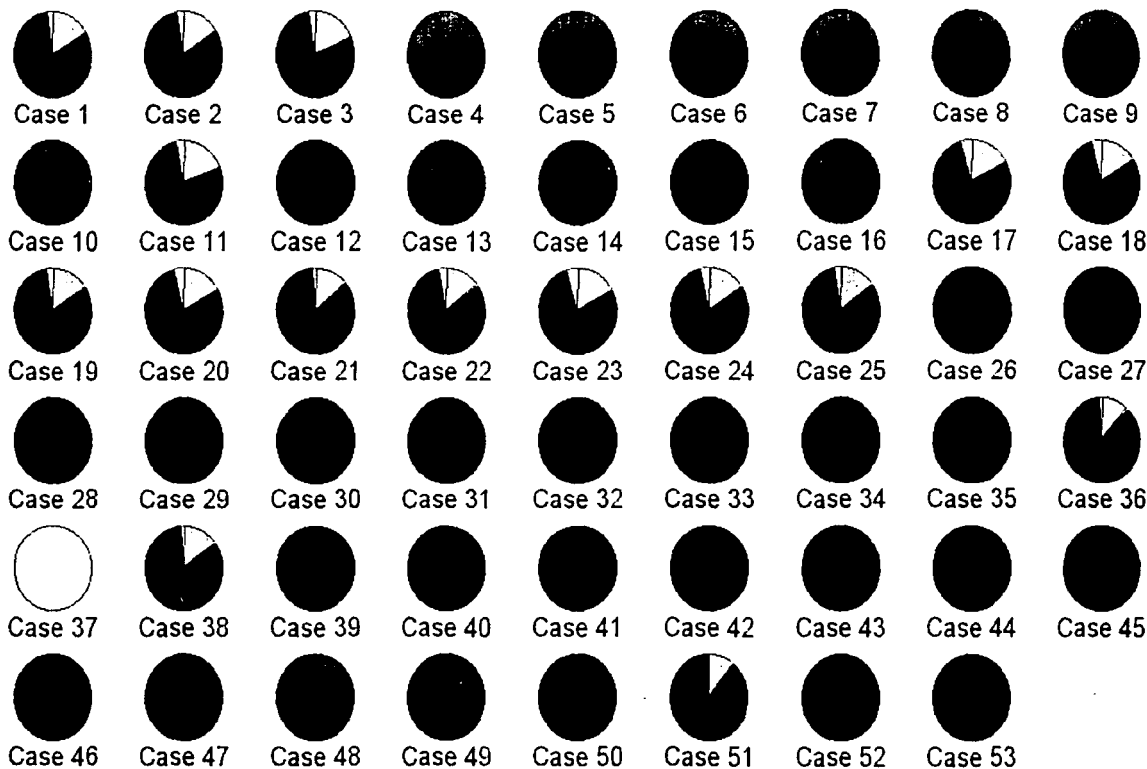
Gráfica 4.63. Distribución espacial de metales en de sedimentos en la etapa "Macro".



Gráfica 4.65. Distribución espacial de metales en sedimentos considerando las variables con mayor peso y correlación en la etapa "Macro".



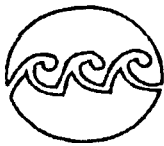
Icon Plot (MACROSED3.STA 28v'53c)



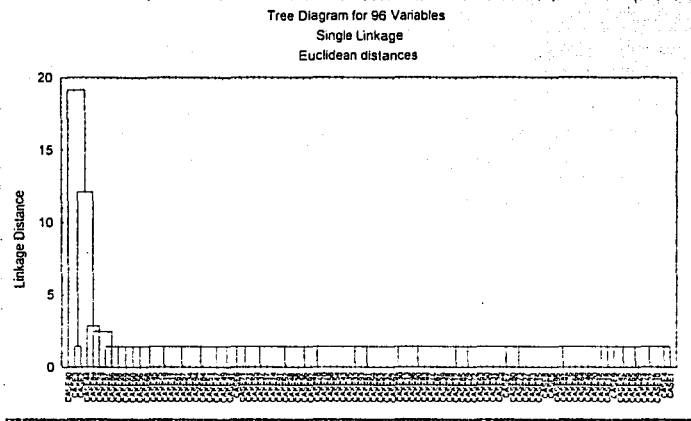
LEGEND (clockwise): HCB\_TOTA, NI, PB, V,

Gráfica 4.62. Diagrama de iconos de los parámetros estudiados en sedimento, etapa "Macro".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



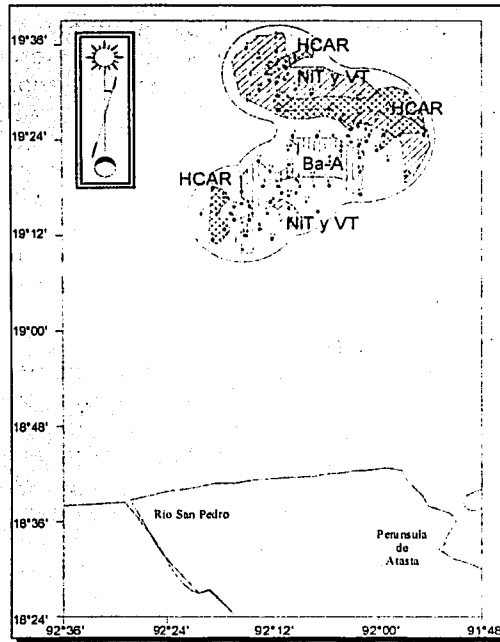
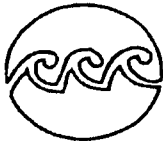
**4.4.2. Parámetros de la ETAPA MICRO.** El diagrama jerarquizado de árbol para las 96 estaciones de muestreo del sedimento superficial se presenta en la Gráfica 4.71; se observa una similitud del 94% de las estaciones lo cual no proporcionan un agrupamiento útil.



**Gráfica 4.71.** Diagrama jerarquizado de árbol para los parámetros de sedimento, etapa

El diagrama de iconos (Gráfica 4.72) tomando como el NiT (color verde), VT (color azul), y Ba-A (color amarillo), Ni-A (color magenta) y V-A (color azul claro), permiten presentar una zona que abarca la etapa de los Ku y la parte N y NE del PEMOC y otra pequeña en la parte S de los Abkatum y que corresponde a la presencia de NiT y VT (Gráfica 4.73). Otra zona se puede observar para el Ba-A y abarca la parte S y SO del proyecto PEMOC y se extiende a la zona N de la etapa de los Abkatum y a la parte NE y S de la etapa de Pool; asociados a esta distribución se encuentran el Ni-A y el V-A.

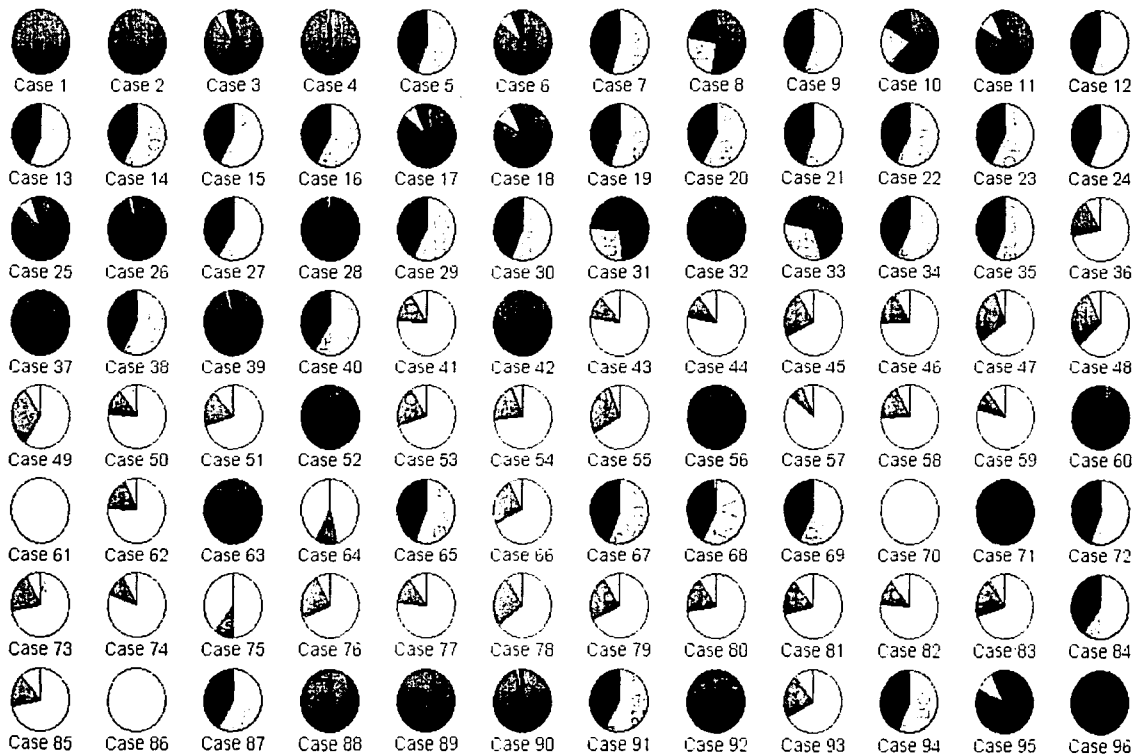
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 4.73. Agrupación de los parámetros de sedimento en la etapa "Micro".



Icon Plot (MICROsed3.STA 27v\*96c)



LEGEND (clockwise): POLIAROM, NIT, VT, BA\_A, NIA, V\_A,

Gráfica 4.63. Diagrama de iconos de los parámetros estudiados en sedimento, etapa "Micro".

TESIS CON  
ORIGEN



## 5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

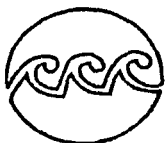
### 5.1. Metales adsorbidos.

La concentración de los metales adsorbidos en los sedimentos tiende a depender de diversas condiciones químicas (potencial redox, cantidad de azufre, presencia de ácidos húmicos, condiciones óxicas u anóxicas, etc.), sedimentológicas (tipo de sedimento) geoquímicas (presencia de minerales del tipo de oxihidróxidos), biológicos (especies de organismos, formas de alimentación, etc.) (Campbell y Tessier, 1989), por tal motivo es difícil predecir el impacto de los metales traza sobre los organismos acuáticos marinos, estuarinos o de agua dulce. La concentración de metales que se analizó ha sido desde el punto de vista químico ya que se realizó una extracción selectiva de los metales adsorbidos (Teisser, *et al.*, 1979; véase parte experimental) y no un tratamiento con constantes de equilibrio termodinámicas (Balistrieri y Murray, 1983):

$$K_a = \frac{\{ \equiv S(n) - M \}}{[M^{z+}] \{ \equiv S(n) \}}$$

donde  $\{ \equiv S(1) \}$ ,  $\{ \equiv S(2) \}$ , ...  $\{ \equiv S(n) \}$  son las concentraciones libres de los diversos sitios capaces de formar enlaces en el sedimento con el metal M (ej. Fe, Mn, Al, Si, ácidos húmicos, arcillas);  $\{ \equiv S(n) - M \}$  es la concentración del enlace M en los sitios sobre el sustrato n;  $[M^{z+}]$  es la concentración del ion libre presente en el agua adena;  $K_a(1)$ ,  $K_a(2)$ , ...  $K_a(n)$  son las constantes de equilibrio aparentes totales (o un promedio) para cada reacción respectiva; la problemática actual para resolver esta serie de ecuaciones es la falta de datos de  $K_a$  y determinar la capacidad  $\{ \equiv S(n) \}$  de cada tipo de sedimento, lo cual implica realizar una serie de suposiciones que no reflejan la realidad del efecto de los metales adsorbidos sobre el medio ambiente marino (Campbell y Tessier, 1989) de la Sonda de Campeche. Por tal motivo, se realizó la extracción selectiva de los metales adsorbidos (o intercambiables) en los metales superficiales de las zonas "Macro" y "Micro" (Tessier, *et al.*, 1979).

Los resultados de los metales adsorbidos para la etapa "Macro" Y "Micro" se comparan en la figura 5.1; Se observa que los valores promedio y su desviación estándar para los metales cobre, hierro, níquel, plomo, vanadio y zinc fueron semejantes para ambas campañas; mientras que para el bario y cadmio existe una diferencia entre ambas campañas, motivado por las actividades petroleras en ambos casos, ya que los valores de la etapa "Micro" fueron mayores. La desviación estándar del cobre es motivada por su uso como micronutriente por diversos organismos del bentos (Merian, 1991). Como los presentes resultados son los primeros en obtenerse para la zona de estudio es difícil establecer una



comparación y como se encuentra la zona de estudio respecto a éstos metales adsorbidos.

Por otro lado se puede señalar que la concentración promedio del hierro y zinc para la zona de estudio fue menores a las reportadas para sedimentos de la zona fluvial de Rouyn-Norandam, Quebec, Canadá (Tessier *et al*; 1984; Cuadro 7.21). Y fueron mayores para el cobre y plomo al ser comparados con los datos reportados en la zona antes mencionada.

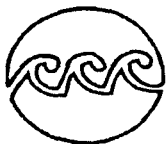
**Cuadro 5.21. Concentración de metales adsorbidos en sedimentos fluviales (en ppm; Tessier, *et al*; 1984).**

SITIO	Cu	Pb	Zn	Fe
Mo-01	0.1	<0.9	1.5	0.9
Mo-02	0.1	<0.9	1.1	2.6
Mo-03	<0.1	<0.9	0.4	4.3
Be-03	<0.1	<0.9	19.1	7.0
Be-16	<0.1	<0.9	16.0	2.7
Br-01	0.2	<0.9	7.8	0.9
Br-06	0.3	0.9	13.8	2.6
Br-11	0.1	<0.9	13.4	2.7

La concentración de metales adsorbidos reportada en este estudio, tendrá influencia en los organismos del bentos dependiendo de diversos factores biológicos, geoquímicos y químicos, los cuales se relacionan entre sí y permiten que los metales se bioacumulen en los organismos y se transporten hacia eslabones superiores o se mantenga en el mismo nivel (Tessier *et al.*, 1984; Bryan y Hummerstone, 1978; Luoma y Bryan, 1978).

Estudios del contenido estomacal en cuanto al sedimento para diversos organismos del bentos se deberá de realizar para entender mejor el efecto de los metales adsorbidos sobre éstos organismos del fondo marino (la edad, sexo y tamaño, también se deberá de tener presente, como ya se señalo anteriormente).

La concentración de los metales totales también fue determinada en orden de establecer una comparación con los metales adsorbidos y no desde otro punto de vista (termodinámico, geoquímico, etc.). La concentración promedio del cobre, hierro (como %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), plomo, vanadio y zinc fueron similares en ambas áreas estudiadas etapas "Macro" y "Micro" (Tablas 4.20, 4.21, 4.30 y 4.31; Figs. 4.9, 4.12, 4.18, 4.21 y 4.24); mientras que el bario y níquel tuvieron gran diferencia (Figs. 4.4 y 4.15). Para la etapa "Micro" la concentración total de bario es 3.23 veces más alta respecto a la etapa "Macro", mientras que el níquel fue solamente



1.71 veces más alto. Lo cual es motivado por las actividades de exploración, perforación y explotación de los hidrocarburos (En el capítulo 6 se realiza una descripción más profunda de éstos resultados). En este punto es importante señalar que las concentraciones de Cu, Fe, Pb y V no presentan un incremento significativo si se compara la etapa "Micro" con la "Macro".

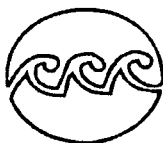
En el Cuadro 5.22, se comparan los resultados obtenidos con las anteriores campañas y otros datos del Golfo de México y a nivel mundial.

**Cuadro 5.22 Concentración promedio de metales totales (peso seco; en ppm) en sedimentos superficiales de zonas costeras y profundas del Golfo de México y otras áreas contaminadas (Virender *et al.*, enviado a publicación; el hierro se encuentra como %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).**

AREA	Ba	Cd	Cu	Fe	Ni	Pb	V	Zn	Referencia
SGM-1	33.3	2.4	8.8	5.4	77.3	154.7	38.5	49.6	PEMEX-UNAM; 1997
SGM-2	36.6	3.9	8.6	5.9	72.8	84.3	30.3	70.6	PEMEX-UNAM; 1997
SGM-4-Macro	278	109	21.8	3.71	60.7	12.0	78.2	74.6	ESTE ESTUDIO
SGM-4-Micro	901	---	18.8	4.36	104	11.1	75.9	75.2	ESTE ESTUDIO
NO-Golfo de México	---	0.30	24.8	---	38.8	---	---	132	Trefry y Presley, 1976
Ensenada del Mississippi	---	---	24.7	---	42.8	---	---	154	Presley <i>et al.</i> , 1992
Golfo de México	---	0.17	12.0	---	---	---	---	75	Presley, 1994
Golfo de Arabia	---	---	21	---	101	---	---	58.0	Basaham y El-Sayed, 1998
Golfo de Cadiz	---	---	158	---	25.8	---	---	---	Palanques <i>et al.</i> , 1995
Estuarios y Bahías									
Bahía de Galveston	---	---	15.0	---	45.0	---	---	116	Morse <i>et al.</i> , 1993
Estuarios Europeos	---	---	1100	---	364	---	---	2900	Zwoisman <i>et al.</i> , 1996
Laguna Madre Superior	---	---	18.5	---	24.5	---	---	69.8	Virender <i>et al.</i> , Enviado a Pub.
Bahía de Casco, Maine	---	---	48.4	---	39.8	---	---	140	Kennicutt <i>et al.</i> , 1994
Plataforma Petrolera									
Buccaneer	403	1.1	4.3	---	14.7	10.4	---	29.6	Anderson <i>et al.</i> , 1981

La concentración del bario fue mayor en 7.5 y 24.6 veces respecto a la campaña SGM-2 (Fig. 5.2), lo cual se puede deber a que la técnica utilizada en las anteriores campañas no fue aplicada en forma correcta y al incremento de las actividades de exploración y explotación en la zona "Micro". La concentración total de cobre fue en promedio 2.4 veces respecto a las campañas SGM-1 y 2 (Fig. 5.3); es importante señalar que la concentración total promedio del cobre fue menor en la zona "Micro", lo cual se debe a que la zona "Macro" se encuentra influenciada por diversas descargas que aportan grandes cantidades de este metal al medio marino (Merian, 1991). La concentración del hierro total fue menor a la reportada para las campañas SGM-1 y 2 en 1.4 veces (Fig. 5.4), en este punto es necesario señalar que las características geoquímicas de este metal en los sedimentos permiten una gran movilidad del metal en el sedimento, en las aguas intersticiales y en la interface agua-sedimento (Stumm y Morgan, 1996) por lo cual su concentración en los sedimentos superficiales tendrá este tipo de variaciones; la concentración de este metal fue mayor en la zona de plataformas debido a las actividades que ya fueron señaladas.





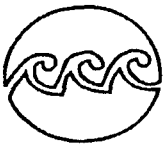
La concentración del níquel, como era de esperarse fue mayor en promedio en la zona "Micro" en 1.7 veces respecto a la zona "Macro" y esta última presentó un valor promedio menor a las campañas SGM-1 y 2 (Fig. 5.5). La concentración de plomo fue menor en un orden de magnitud respecto a la campaña SGM-1 y 7.3 veces menor a la de la campaña SGM-2 (Fig. 5.6); aunque se han reportado concentraciones para el Cañón de Santa Mónica, Cal. (Schafer y Bascom, 1976) de 7ppm para la zona control y de 136ppm para los sedimentos del cañón, es necesario señalar que puede haber existido una contaminación de la muestra de sedimento durante la campaña SGM-1, principalmente ya que durante dicha campaña se presentó el huracán Opal (PEMEX-UNAM; 1997). La concentración del vanadio para la zona "Macro" y "Micro" fue dos veces mayor a la reportada para las campañas SGM-1 y 2 (Fig. 5.7); las actividades petroleras son la principal fuente de este elemento y en segunda instancia los aportes costeros; otros datos no se tienen para este metal en sedimentos debido a que no se considera como contaminante crítico (Mason, 1988). La concentración del zinc total fue similar a la reportada para la campaña SGM-2 y mayor respecto a la campaña SGM-1 (Fig. 5.10; Cuadro 5.22), no obstante esta última concentración se puede encontrar dentro de los intervalos analizados en el presente estudio (Tablas 4.21 y 4.31).

La concentración promedio total de los metales estudiados se compara con las reportadas para otros sedimentos de tipo marino costero o profundo (Cuadro 5.22; Figs. 5.8 a 5.9). El bario para la zona "Macro" se encontró menor al reportado para la zona del Mediterráneo, en Turquía; mientras que el cobre se encontró dentro de los valores reportados para el Golfo de Arabia, Mediterráneo en la parte de Turquía y Laguna Madre Superior, entre otros (Cuadro 5.22) y fue menor al reportado para la Bahía de Casco en Maine, USA, los Estuarios Europeos, Golfo de Cádiz, entre otros. La concentración del hierro total como  $\%Fe_2O_3$  fue mayor a la reportada para el Mediterráneo en 1.8 veces (Cuadro 5.22). Mientras que la concentración del níquel se encontró por arriba de la reportada para otras zonas tanto para la etapa "Macro" y "Micro", excepto para la zona del Mediterráneo. Respecto al plomo, la concentración fue mayor respecto a la reportada para la zona del Mediterráneo y la plataforma petrolera. No se tiene reporte de vanadio total para otras zonas. Finalmente, el zinc se encontró dentro de los valores reportados para el Golfo de México y la laguna Madre Superior y son mayores a los reportados para una plataforma petrolera y el Mediterráneo; y son menores respecto a los valores reportados para el NO del Golfo de México, Bahía de Galveston, entre otros.



## 6. CONCLUSIONES

- A) El área, dividida en dos zonas (Macro y Micro) fue caracterizada por un estudio oceanográfico ambiental interdisciplinario que permitió la regionalización de zonas influenciadas por las actividades petroleras y los aportes fluviales, así como por una búsqueda bibliográfica de los metales adsorbidos en sedimento, obtenidos en estudios interdisciplinarios llevados a cabo con anterioridad y publicaciones de instituciones que investigan al respecto, internacionalmente.
- B) Los parámetros de caracterización de metales adsorbidos y totales de los sedimentos marinos para el área "Macro", se encontraron por encima de los obtenidos en estudios anteriores, habiendo una diferencia aproximadamente de diez veces más, en lo que respecta al Ba, Cd, V y Zn. Estos parámetros son derivados del petróleo, por lo que se concluye que la concentración de éstos es causada por las corrientes que rigen la zona, que realizan un movimiento de va y ven, arrastrando de la zona de plataformas los metales. En la etapa "Micro", se tiene algo similar; las concentraciones del Ba obtenidas están por encima aproximadamente 15 veces y el Ni por el doble aproximadamente, lo cual se concluye que en esta zona son consecuencia de las actividades de la plataformas petroleras localizadas dentro del área.
- C) El tratamiento estadístico de los resultados obtenidos en las dos áreas estudiadas, permitió una identificación minuciosa de los sedimentos, ubicando dos áreas, tomando como base su composición química.
- D) La zona de estudio en sus áreas Macro y Micro, presenta una fuerte influencia de los aportes fluviales principalmente de los ríos San Pedro y San Pablo, Grijalba Usumacinta, en las costas de Tabasco y de la Laguna de Términos en Campeche que, para los sedimentos son signos de alerta que indican un mayor seguimiento.
- E) Los parámetros ambientales para sedimentos analizados en el presente estudio para la zona marina del Proyecto de Modernización Cantarell, enmarcada en el área Micro, no presentan grandes diferencias respecto a las otras zonas de plataformas.

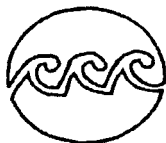


## 7. RECOMENDACIONES.

El desarrollo de la cuarta campaña oceanográfica en el Sur del Golfo de México por parte de la UNAM ha permitido dar continuidad a los estudios iniciados en octubre de 1995. Como era de esperarse a medida que las diversas campañas se han desarrollado, los estudios se han complementado o estudios nuevos han sido incluidos, como por ejemplo los metales adsorbidos para la campaña SGM-4.

Teniendo como base que la industria petrolera es de riesgo y que los cambios ambientales marinos del Sur del Golfo de México no solamente dependen de ésta industria, se proponen las siguientes recomendaciones:

- i) Dar continuidad a las campañas oceanográficas para abarcar todas las estaciones climáticas de la zona de estudio.
- ii) Realizar un seguimiento a la determinación de los metales adsorbidos y totales en la "Etapa Micro", con el fin de ver si la actividad petrolera, sigue influyendo en las altas concentraciones de los metales adsorbidos en los sedimentos de la zona.
- iii) Dar seguimiento por medio de estudios oceanográficos ambientales interdisciplinarios, al aporte fluvial en el Sur del Golfo de México, principalmente en los aportes que se encuentran en las costas de Veracruz, tabasco y Campeche, para evitar consecuencias mayores, como consecuencia de las aportaciones de sedimentos de los ríos y estuarios.
- iv) Poder delimitar las dos zonas de sedimentos en la Sonda de Campeche, en todas las épocas climáticas, para ver sus características en época de sequía y lluvia.
- v) Ver si al llevar a cabo el proyecto Cantarell, no hubo un fuerte impacto en la zona, así como si no se produjeron grandes diferencias con respecto a los complejos vecinos.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

**Antonie, W. J., 1972.** Structure of the Gulf of México, p. 134. *In:* R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 3. Texax A and M University. Oceanographic Studies. 303 p.

**Ayala-Castañares, y Gutiérrez-Estrada; 1990.** Morfología y sedimentos superficiales de la Plataforma Continental frente a Tabasco y Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* **17(2):**163-190.

**Balistrieri, L. S. y Murray, J. W; 1983.** Metal-solid interactions in the marine environment: estimating apparent equilibrium binding constants. *Geochim. Cosmochim. Acta.* **48:**1091.

**Bryan G. W; Ummerstone, L. G; 1978.** Heavy metals in the burrowing bivalve *Scobucularia plana* from contaminated and uncontaminated estuaries. *J. Mar. Biol. Ass UK* **58:**401-419.

**Campbell, P. G. C; and A. Tessier; 1989.** Geochemistry and bioavilability of trace metals in sediments, *in:* Boudou, A. and Ribeyre, F;1989. *Aquatic ecotoxicology: fundamental concepts and methodologies;* Ed. Crc press inc. Boca rton florida. vol (1) chapter 7: pp. 125-150.

**Campbell, P. G. C; A. Tessier, and M. Bisson; 1985.** Accumulation Of Copper and Zinc In The Yellow Water Lily, *Nuphar Variegatum:* Relationships To Metal Partitioning In The Adjacent Lake Sediments, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42, 43.**

**Campañas oceanográficas SGM-1 y SGM-2 . PEMEX-UNAM;1995**

**Campaña oceanográfica SGM-3 PEMEX-UNAM; 1996.**

**Carranza-Edwards, A; Rosales-Hoz, L. y A. Monreal-Gómez; 1993.** Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Mar. Geol.* **112:** 257-269.

**Carson, R.L., 1980.** El Mar que nos Rodea. Ediciones Grijalbo, S.A. Barcelona, España. 278p.

**CNA; 1998.** *Tabla de criterios de calidad del agua para usos y aprovechamiento.* Comisión Nacional del Agua, México. Diario Oficial de la Federación. 31 de Diciembre de 1998



**Gutiérrez-Estrada, M. y A. Castro Del Rio; 1988.** Origen y desarrollo geológico de la Laguna de Términos, Cap. 5: 89-110. In: Yáñez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr. (Eds.); *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos*. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México D. F.; 518p.

**Hewitt, C. N; 1992.** *Methods of environmental data analysis*. Institute Of Environmental & Biological Sciences, Lancaster University, Lancaster LA1 4YQ, UK; Ed. Elsevier applied science; London & New York.

**Instituto Mexicano del Petróleo; 1980.** *Informe de los trabajos realizados para el control del pozo Ixtoc 1, el combate del derrame de petróleo y determinación de sus efectos sobre el ambiente marino*. Programa Coordinado de Estudios Ecológicos en la Sonda de Campeche, Secretaría de Marina-Departamento de Pesca-Petróleos Mexicanos. Ed. I. M. P. Subdirección de Desarrollo Profesional. División Editorial. 1-242p.

**Instituto Mexicano del Petróleo; 1995.** *Evaluación de las principales corrientes de aceite crudo de la región marina de PEMEX-Exploración y Producción, eob-8789.2*. Subdirección General de Investigación Y Desarrollo Tecnológico en Transformación Industrial. Gerencia de Tecnología de Procesos. División de Procesos de Petróleo. Septiembre de 1995.

**Kjerve, B; Magill, K.E. y Sneed, J. E; 1988.** Modeling of circulation and dispersion in Terminos Lagoon, Cap. 6: 11-130. In: Yáñez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr. (Eds.) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos*. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México D.F. 518 p.

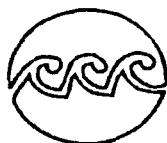
**Langston, W. J; 1980.** Arsenic in U. K. Estuarine Sediments and its Availability to Benthic Organisms. *J. Mar. Biol. Ast. U.K.* 60: 869-881.

**Lizárraga-Partida, M. L. y A. Bianchi; 1988.** Dinámica y caracterización de las bacterias heterótrofas en la Laguna de Términos. In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds.) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos*. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM; Coast. Ecol. Inst. LSU; Editorial Universitaria; México. D.F. , Cap. 15: 259-276.

**Louma, S. N; and Bryan G. W; 1981.** A stadistical assesoment of the form of trace metals in oxidazed estuarine sediments employing chemical extractants *Sci. Tot. Envir.* 17: 165-196.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



**Mason, A. Z. Jenkins, K. D; and Sullivan, P. A; 1988.** Mechanims of trace metal accumulation in the polychaete neanthes arenaceodontata. *J. Mar. Biol. Assoc. Uk* 68: 61-80.

**Merian, E. (Ed.); 1991.** Metals and their Compounds in the Environment, VCH. Federal Republic of GERMANY

**PEMEX; 1991.** Evaluación de la calidad del agua, sedimento y algunos aspectos biológicos en el litoral del golfo de México. *Petróleos mexicanos*; 139p.

**PEMEX-UNAM; 1997.** Diagnóstico Actual De La Calidad Ambiental De La Zona Costera Del Golfo De México (Sonda De Campeche, Zona Costera De Atasta, Dos Bocas Y Sistema Lagunar De Tabasco) Donde Se Localizan Las Plataformas Petroleras Y Chapopoteras Naturales. Informe final; exploracion y produccion; region marina noreste.

**PEMEX-UNAM; 1999.** Establecer la concentración de los hidrocarburos en sedimentos y agua del área de plataformas petroleras, chapopoteras naturales y de la fractura de Xicalango, contra los tipos de crudo que comercializa PEMEX-EXPLORACIÓN-PRODUCCIÓN de la Sonda de Campeche, Sur del Golfo de México.

**Sánchez-Gil, P; A. Yáñez-Arancibia y F. Amezcua Linares; 1981.** Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces demersales de la Sonda de Campeche (verano, 1978); *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 8(1): 209-240.

**Schaber, H. A; Bascom, W; 1976.** Sludge in Santa Monica bay. In: south California coastal water. Research project, el segundo, *annu. Rep.* Pp 77-82.

**Soberón-Chávez, G; A. Yáñez-Arancibia y J. W. Day, Jr; 1988.** Fundamentos para un modelo ecológico preliminar de la Laguna de Términos, In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds); *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU.* Editorial Universitaria, México D.F; Cap. 20: 381-414.

**Statistica; 1995.** *Manuales para el uso del paquete estadístico: Vol. 1 a Vol. IV;* StatSoft. USA.

**Stoeppler, M; 1991.** Cadmium. In: Merian E. (Ed.); *Metals and their Compounds in the Environment, VCH. Federal Republic of GERMANY.* 803-852pp.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Stumm, W; and J.J. Morgan 1996.** *Aquatic Chemistry* 2ª Ed; New York. Pp:295-299

**Subdirección de Planeación y Coordinación, Gerencia de Protección Ambiental (1985).** Marco de referencia Ambiental de la Vegetación y del suelo en zonas petroleras del Edo de Tabasco.

**Tessier, A. Campbell, P. G. C; and Brisson, M; 1979.** Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.* **51**: 844

**Tessier, A; Campbell, P. G. C; Aclair, J. C; and Bisson, M; 1984.** Relationships between the partitioning of trace metals in sediments and their accumulation in the tissues of the freshwater mollusc *elliptio complanata* in a mining area, *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **41**, 1463.

**Vazquez, G. F; Sánchez, Z.M; Alexander, V.H; and Delgado, H.D; 1991.** Distribution of Ni, V and Petroleum Hydrocarbons in recien sediments from Veracruz, Coast, Mexico. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* **46**: 774-781.

**Vázquez G. F; H. Dorantes Velazquez y H. Alexander Valdéz; 1988.** El sistema de dióxido de carbono en la Laguna de Términos. In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds); *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México DF. Cap. **7**: 131-158.

**Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil; 1983.** Environmemntal behavior of Campeche Sound ecological system, off Terminos Lagoon Mexico: Preliminary results. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, **10**(1): 117-136

**Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil; 1986.** Los peces demersales de la plataforma continental del sur del Golfo de México, Caracterización del ecosistema y ecología de las especies, poblaciones y comunidades. *Inst. Cienc. del Mar. y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, Publ. Esp.* Vol. **1**. **9**: 230 p.

**Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil; 1988a.** Caracterización ambiental de la Sonda de Campeche frente a la Laguna de Términos. In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds). *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México DF. Cap. **3**: 41-50



**Yáñez-Arancibia, A. y P. Sánchez-Gil; 1988b.** *Ecología de los recursos demersales marinos: Fundamentos en costas tropicales.* AGT Editor, S. A. México, 228p.

**Yáñez-Arancibia, A; A. L. Lara-Domínguez, P. Sánchez-Gil y H. Álvarez-Guillen; 1988a.** Evaluación ecológica de las comunidades de peces en la Laguna de Términos y Sonda de Campeche, In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México DF. Cap. 18: 323-356.

**Yáñez-Arancibia, A; A.L. Lara Domínguez, J.L. Rojas Galaviz, P. Sanchez-Gil, J.W. Day Jr. y C. Madden; 1988c.** Seasonal biomass and diversity of estuarine fishes coupled with tropical habitat heterogeneity (southern Gulf of Mexico). *J. Fish. Biol.* 33 (Suppl. A): 191-200

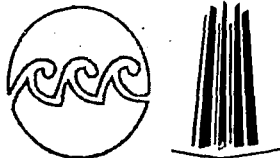
**Yáñez-Arancibia, A; A.L. Lara Domínguez, P. Sánchez-Gil, J.L. Rojas Galaviz, H. Álvarez-Guillen, G. Soberon-Chavez y J.W. Day, Jr; 1988b.** Dinámica de las comunidades nectónicas costeras en el sur del Golfo d México, In: Yáñez-Arancibia A. y J.W. Day, Jr. (Eds) *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos.* Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. LSU; Editorial Universitaria, México DF; Cap. 19: 357-380.

**Yáñez-Arancibia, A; 1986.** *Ecología de la Zona Costera.* AGT Editor, México D.F., 189 p.



# ANEXOS

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



325

### SGM-4 ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

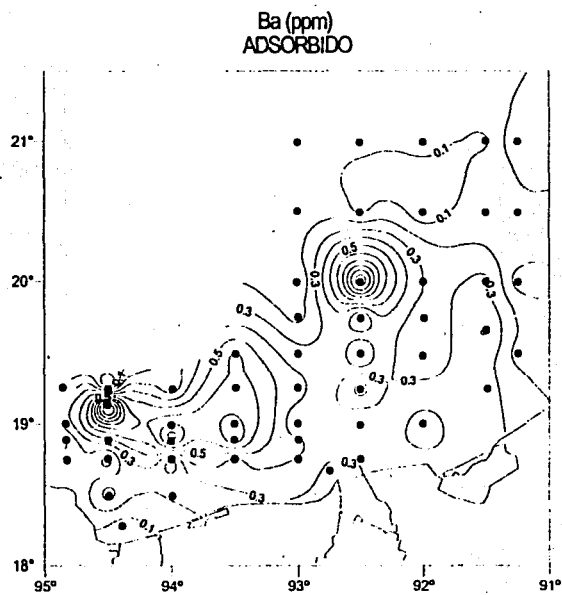


Figura 4.2. Concentración de Bario adsorbido

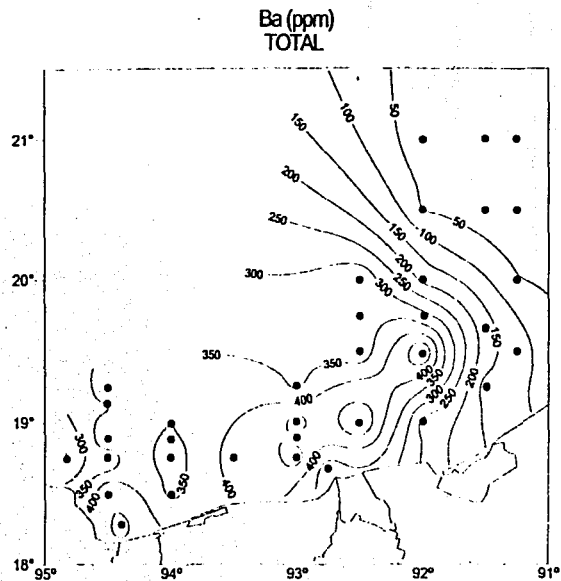
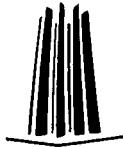
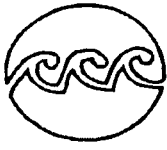


Figura 4.3. Concentración de Bario Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Ba (ppm)  
(ADSORBIDO)

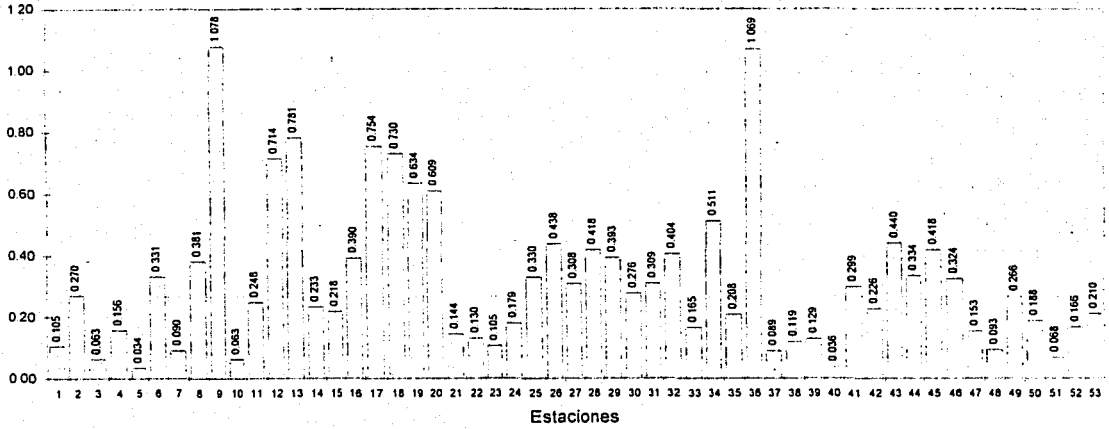


Figura 4.4a. Concentración por estación de Bario adsorbido (ppm).

Ba (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

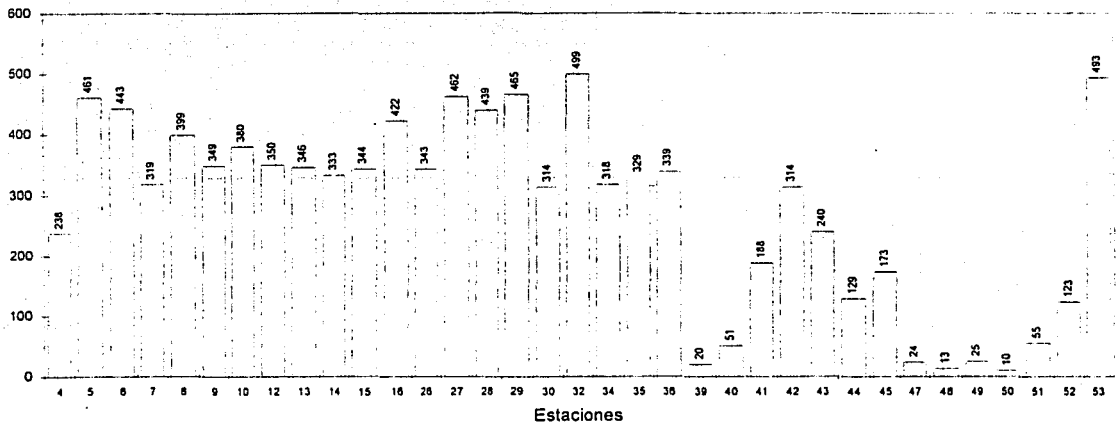
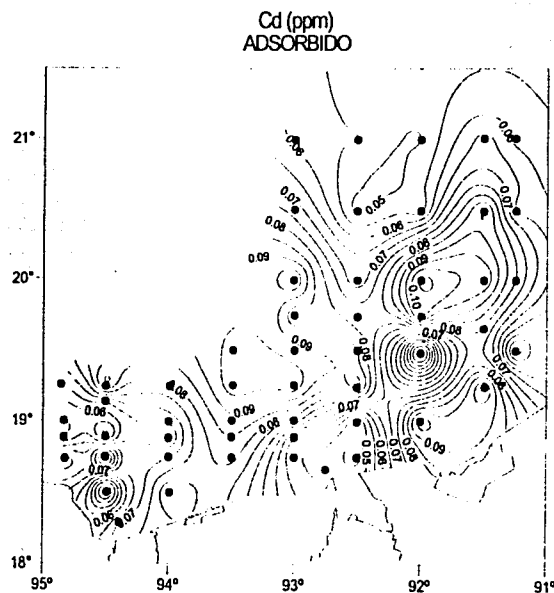


Figura 4.4b. Concentración por estación de Bario total (ppm).

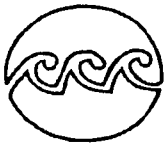


SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.5. Concentración de Cadmio adsorbido



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Cd (ppm)  
(ADSORBIDO)

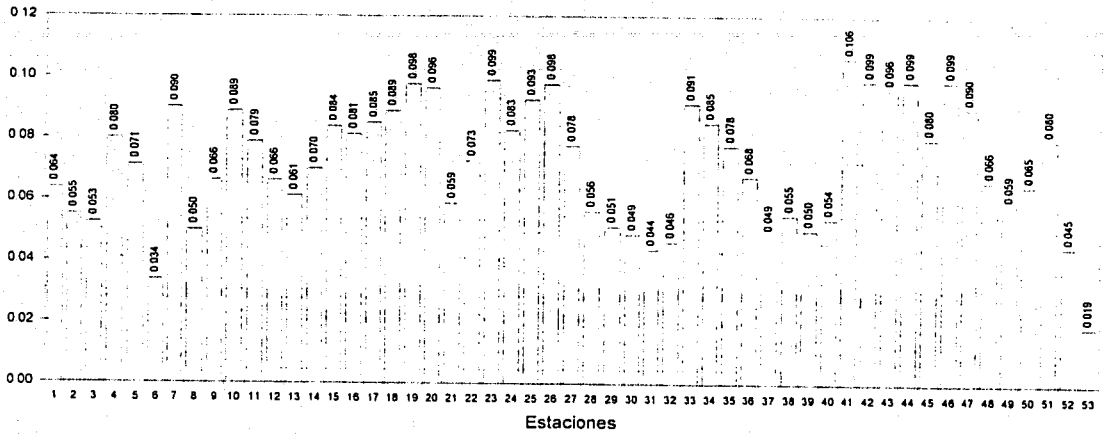


Figura 4.6. Concentración por estación de Cadmio adsorbido (ppm).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

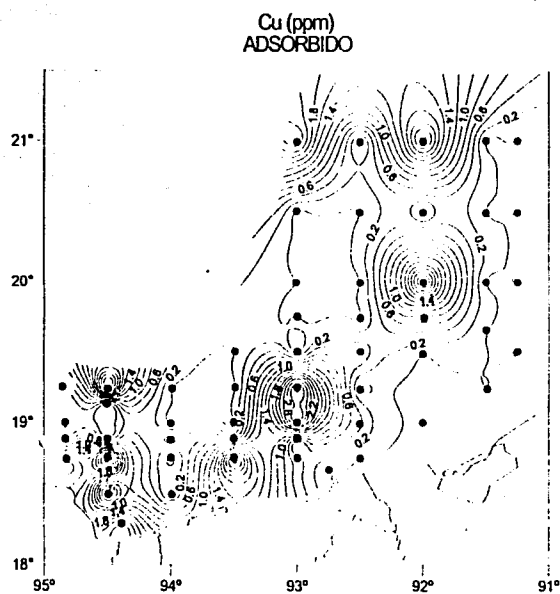


Figura 4.7. Concentración de Cobre adsorbido

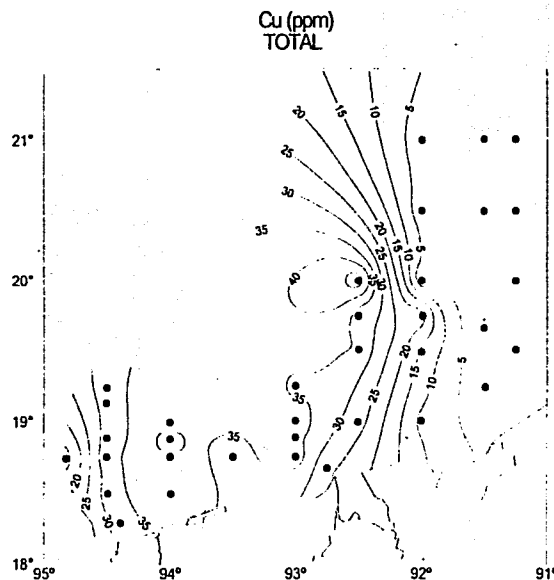
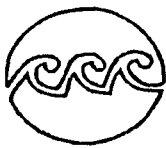


Figura 4.8. Concentración de Cobre Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Cu (ppm)  
(ADSORBIDO)

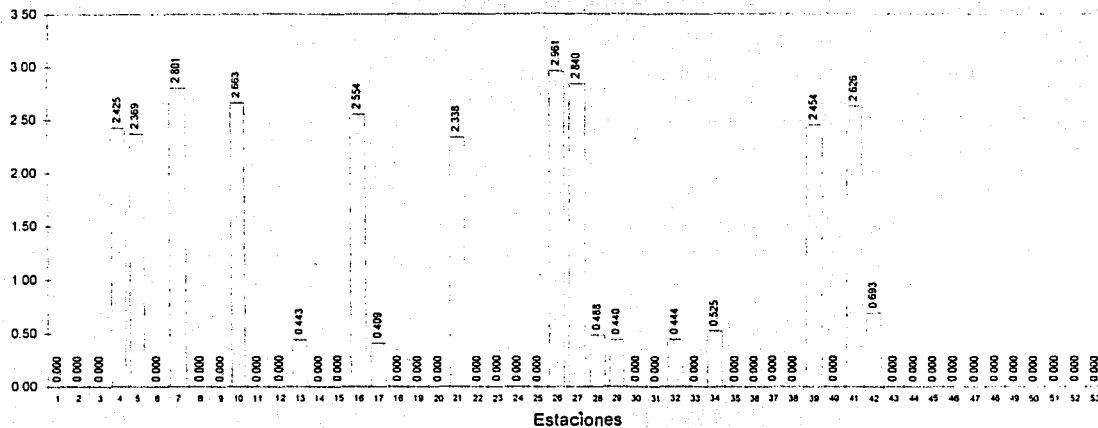


Figura 4.9a. Concentración por estación de Cobre adsorbido (ppm).

Cu (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

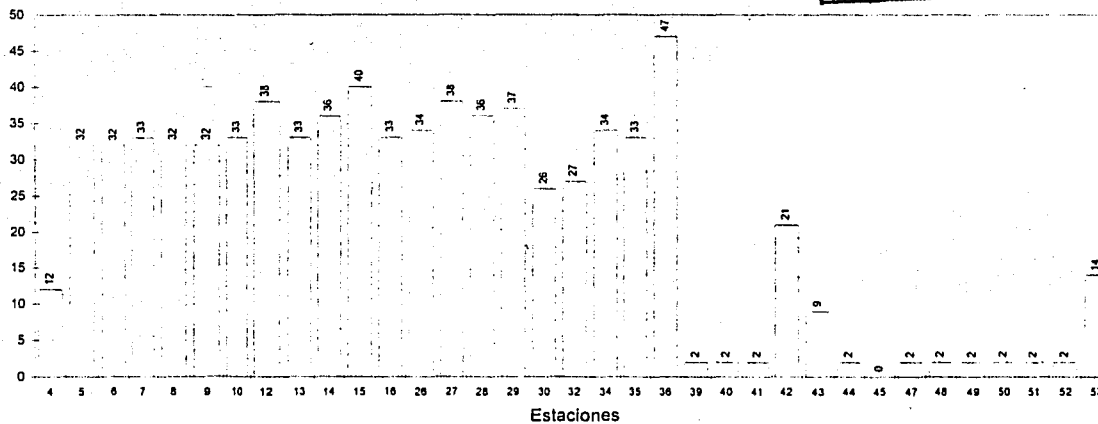
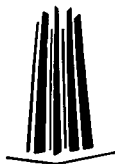


Figura 4.9b. Concentración por estación de Cobre total (ppm).



SGM 4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

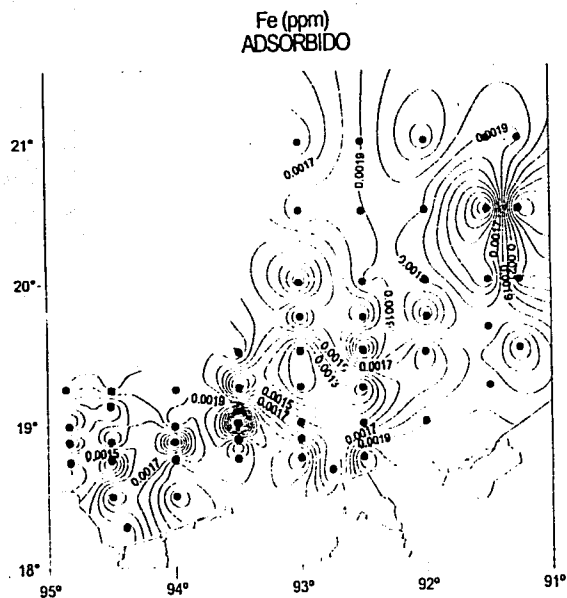


Figura 4.10. Concentración de Hierro adsorbido

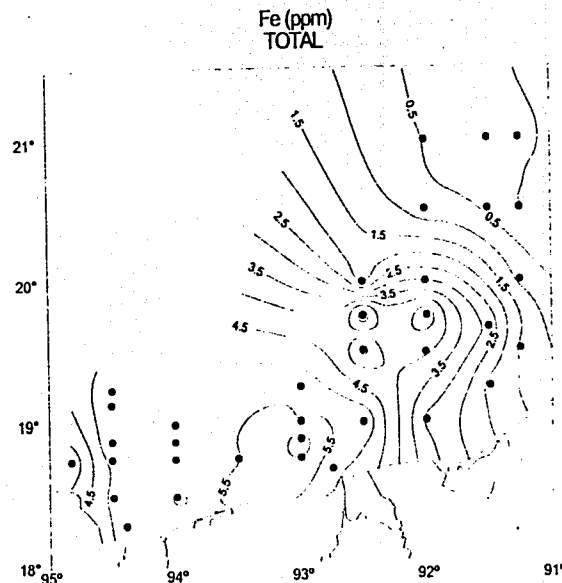


Figura 4.11. Concentración de Hierro Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





### ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Fe (ppm)  
(ADSORBIDO)

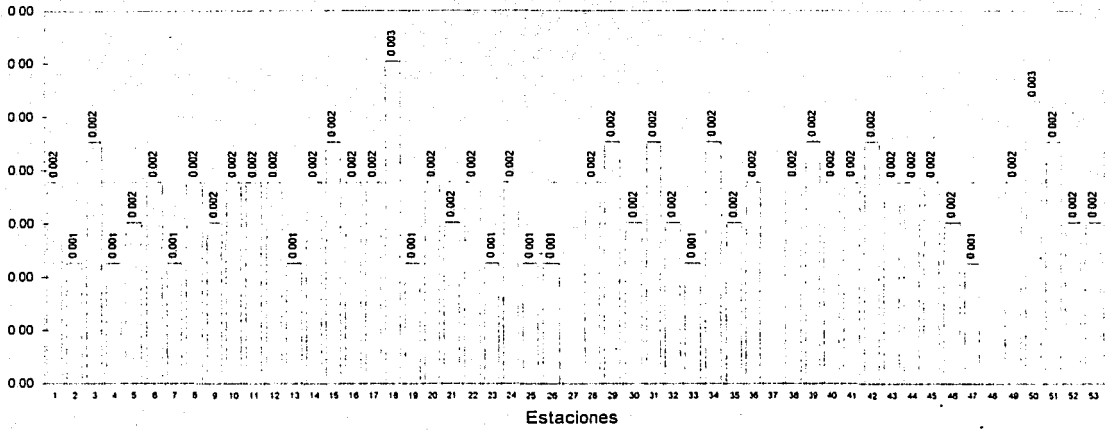


Figura 4.12a. Concentración por estación de Hierro adsorbido (ppm).

Fe (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

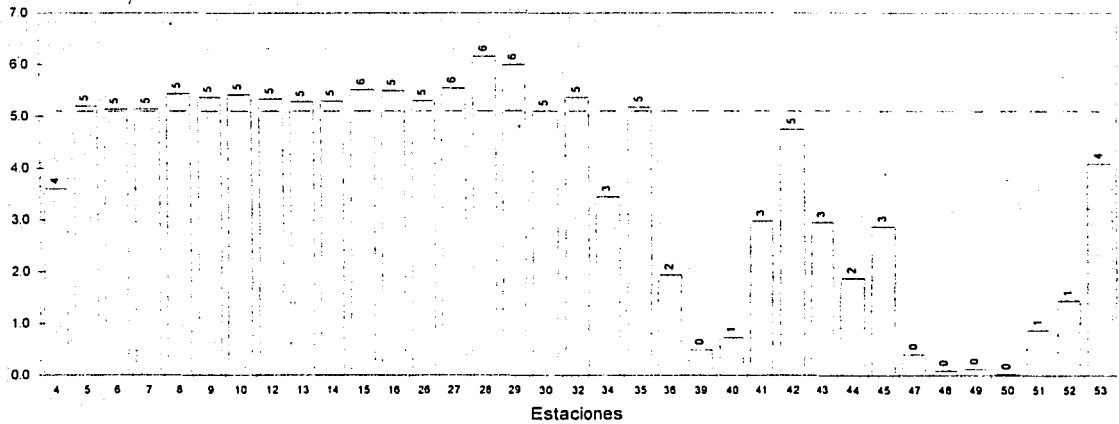


Figura 4.12b. Concentración por estación de Hierro total (ppm).



SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

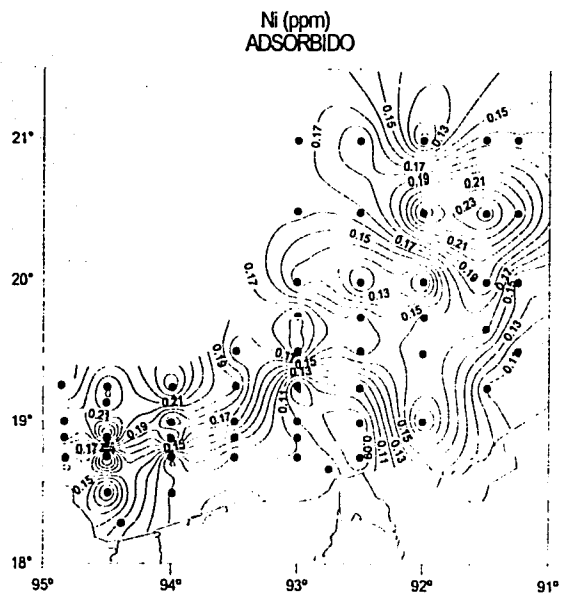


Figura 4.13. Concentración de Niquel adsorbido

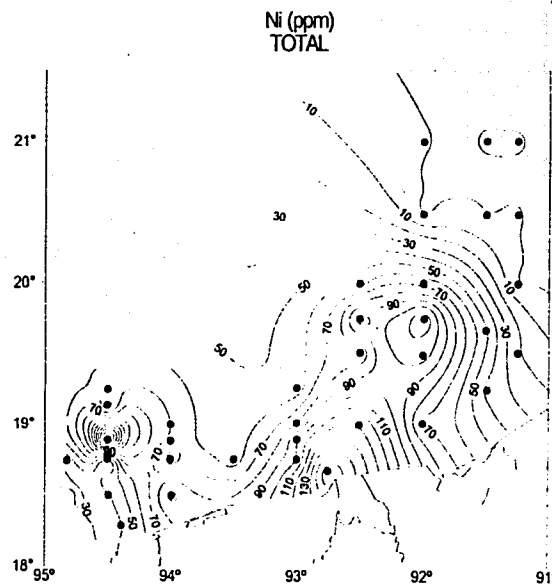
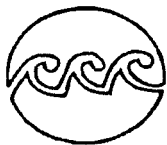


Figura 4.14. Concentración de Niquel Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Ni (ppm)  
(ADSORBIDO)

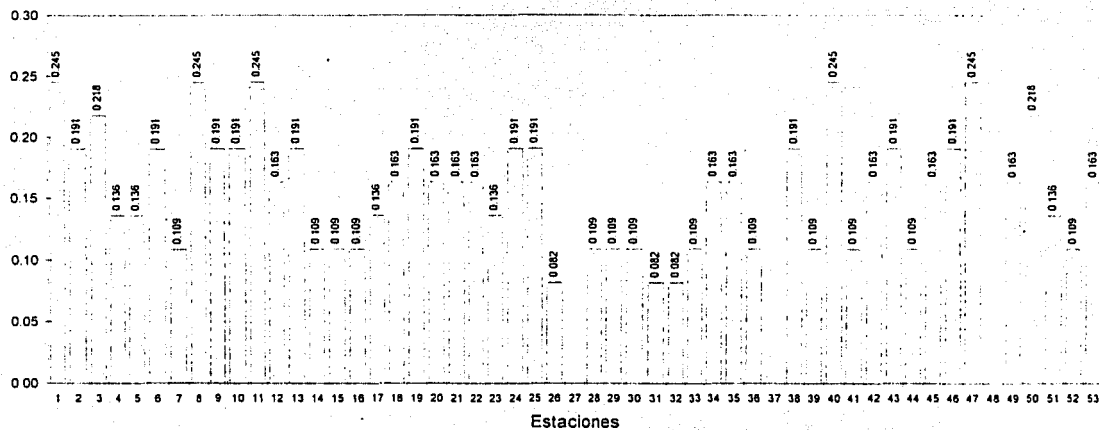


Figura 4.15a. Concentración por estación de Níquel adsorbido (ppm).

Ni (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

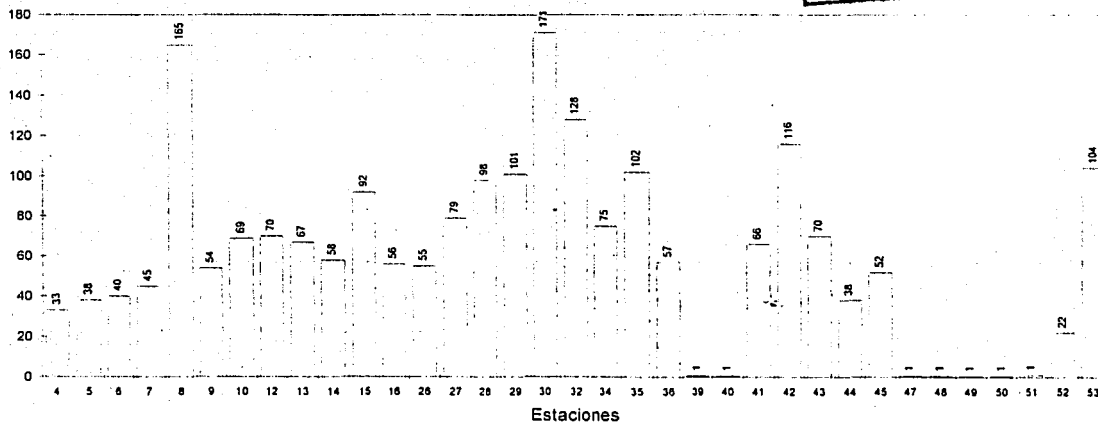
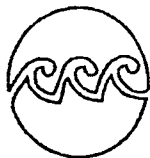


Figura 4.15b. Concentración por estación de Níquel total (ppm).



SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

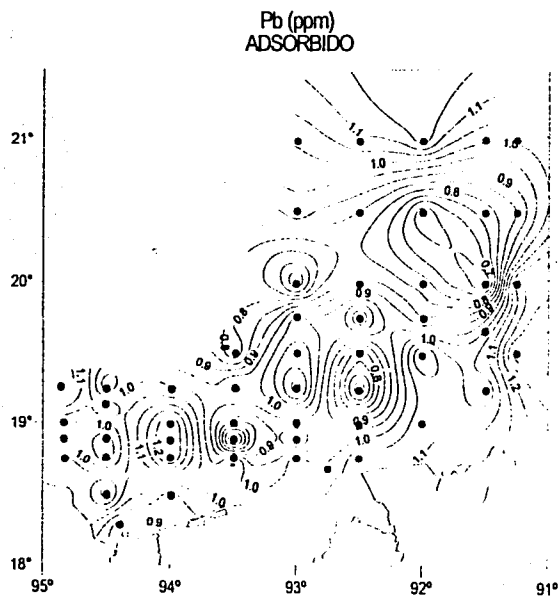


Figura 4.16. Concentración de Plomo adsorbido

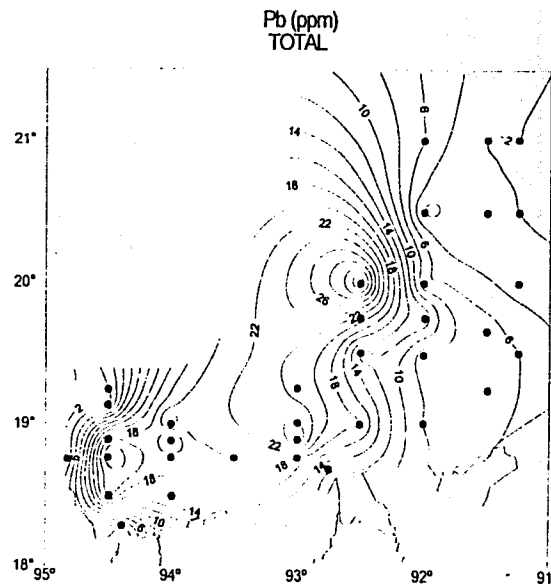
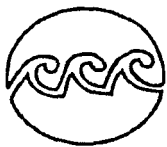


Figura 4.17. Concentración de Plomo Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Pb (ppm)  
(ADSORBIDO)

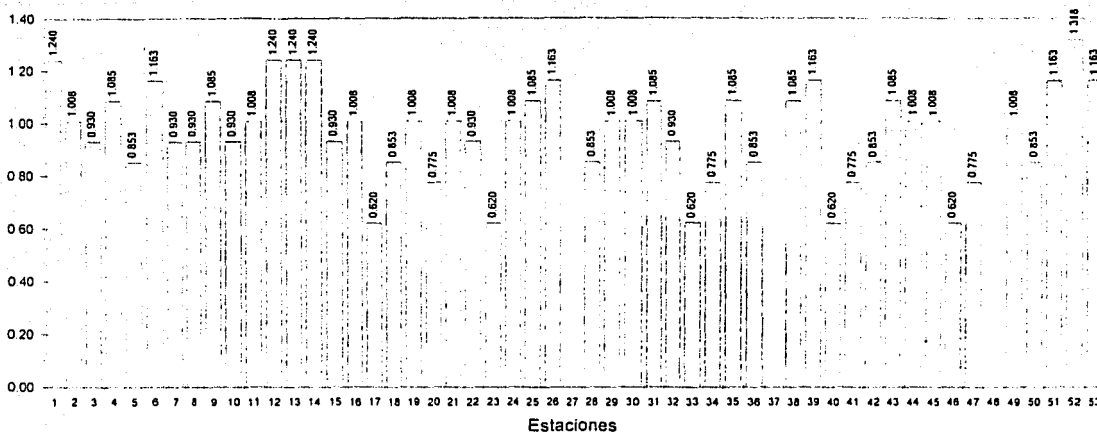


Figura 4.18a. Concentración por estación de Plomo adsorbido (ppm).

Pb (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

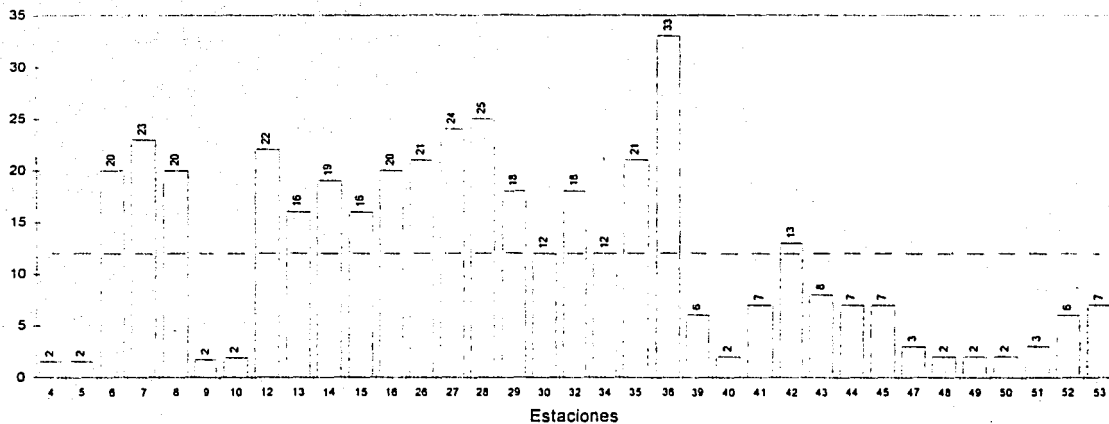
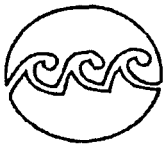


Figura 4.18b. Concentración por estación de Plomo total (ppm).



## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

V (ppm)  
(ADSORBIDO)

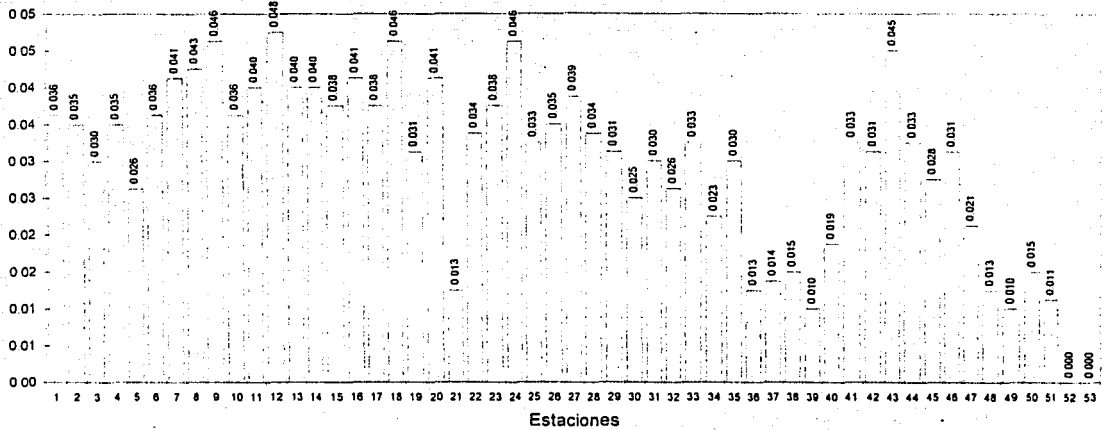


Figura 4.21a. Concentración por estación de Vanadio adsorbido (ppm).

V (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

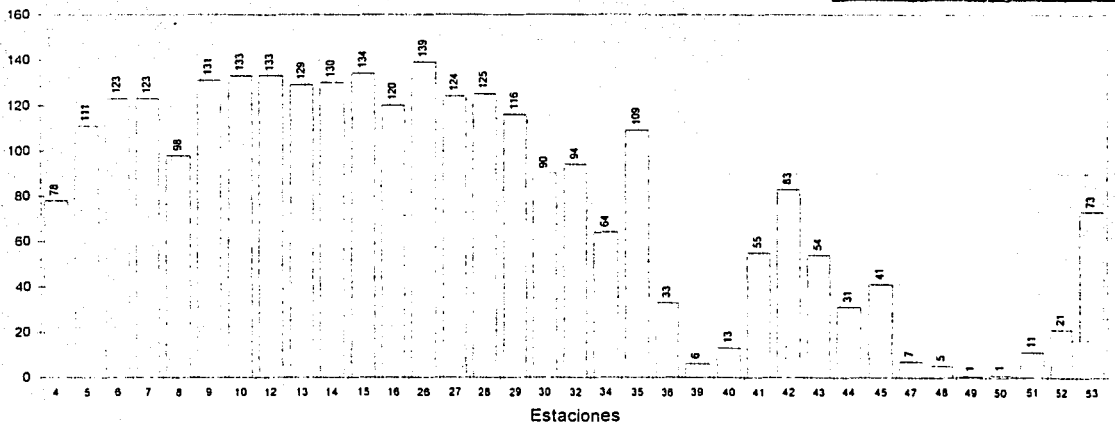
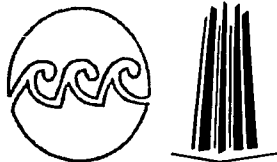


Figura 4.21b. Concentración por estación de Vanadio total (ppm).



SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

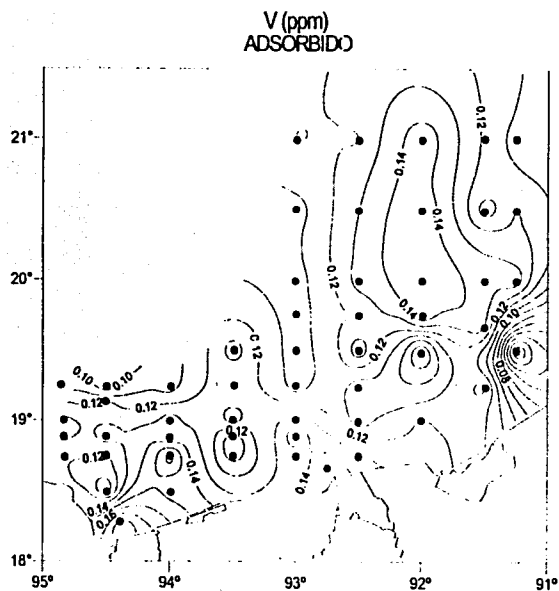


Figura 4.19. Concentración de Vanadio adsorbido

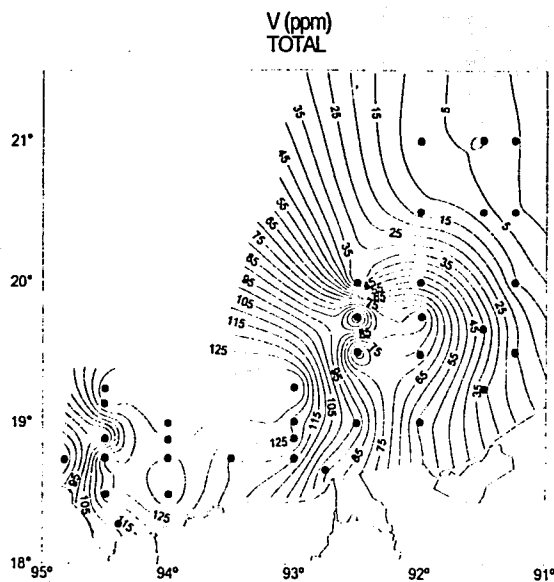


Figura 4.20. Concentración de Vanadio Total

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



SGM-4  
ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

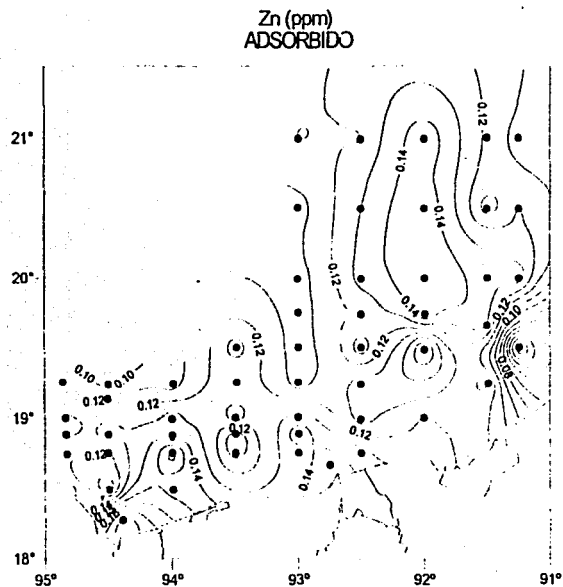


Figura 4.22. Concentración de Zinc adsorbido

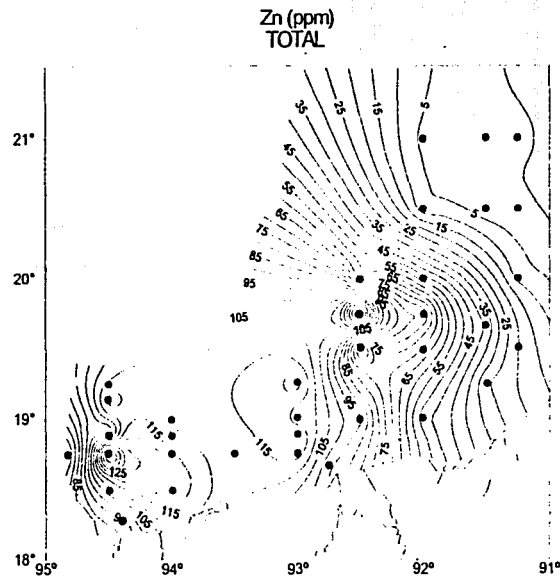


Figura 4.23. Concentración de Zinc Total





## ETAPA MACRO (SEDIMENTO)

Zn (ppm)  
(ADSORBIDO)

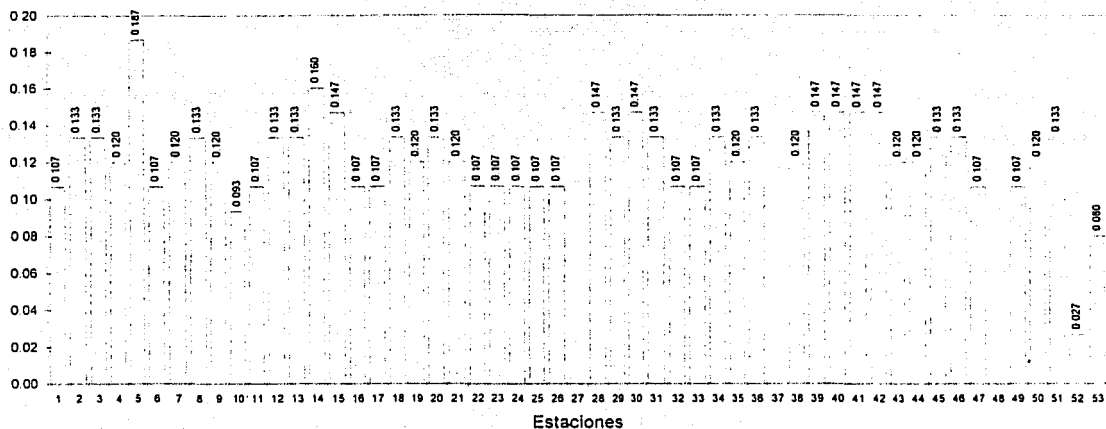


Figura 4.24a. Concentración por estación de Zinc adsorbido (ppm).

Zn (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

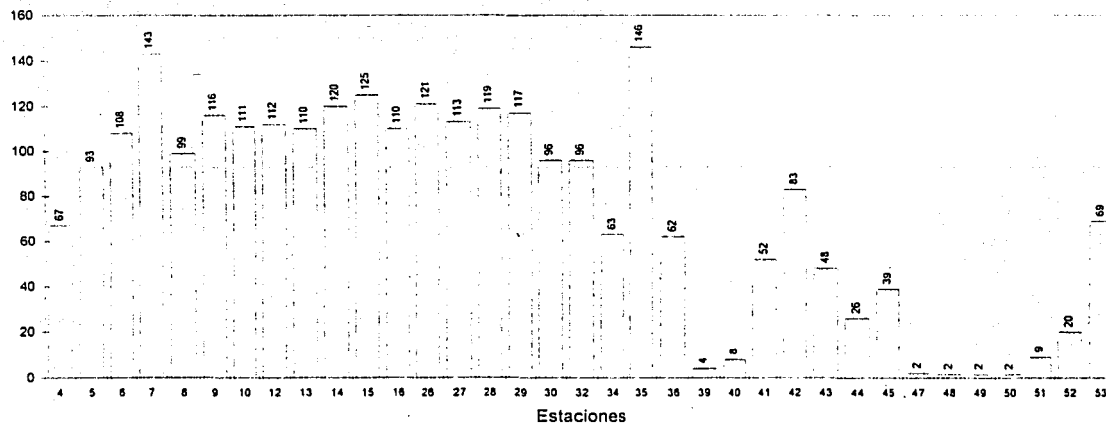
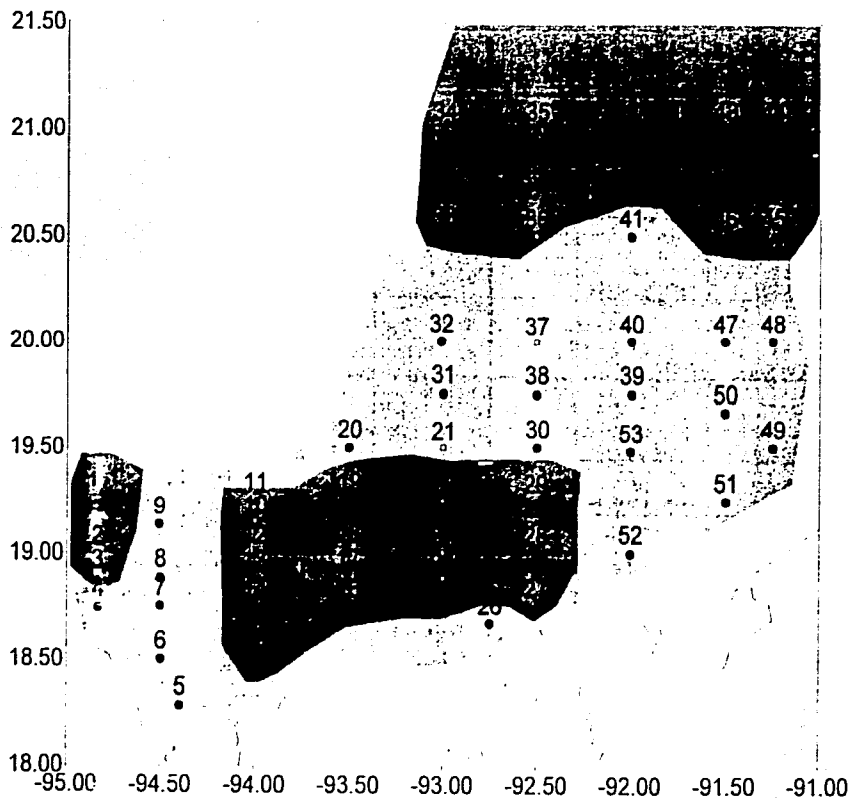


Figura 4.24b. Concentración por estación de Zinc total (ppm).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- ▲ Estaciones con mas del 60% de limo
- Estaciones con menos del 60% de limo
- Estaciones sin muestra

- ▨ Zona de limo-arcilla
- Zona de limo



SGM-4  
PARTE MICRO (SEDIMENTO)

Ba (ppm)  
ADSCRIBIDO

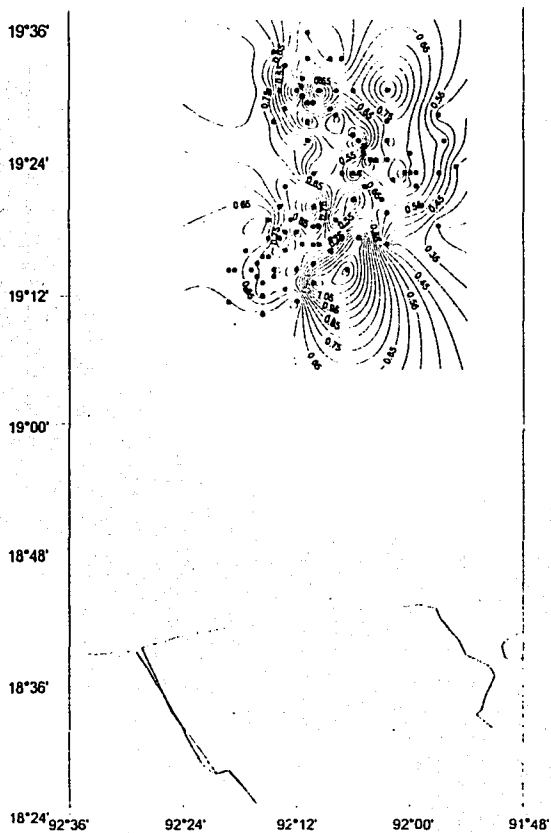


Figura 4.25. Concentración de Bario adsorbido

Ba (ppm)  
TOTAL

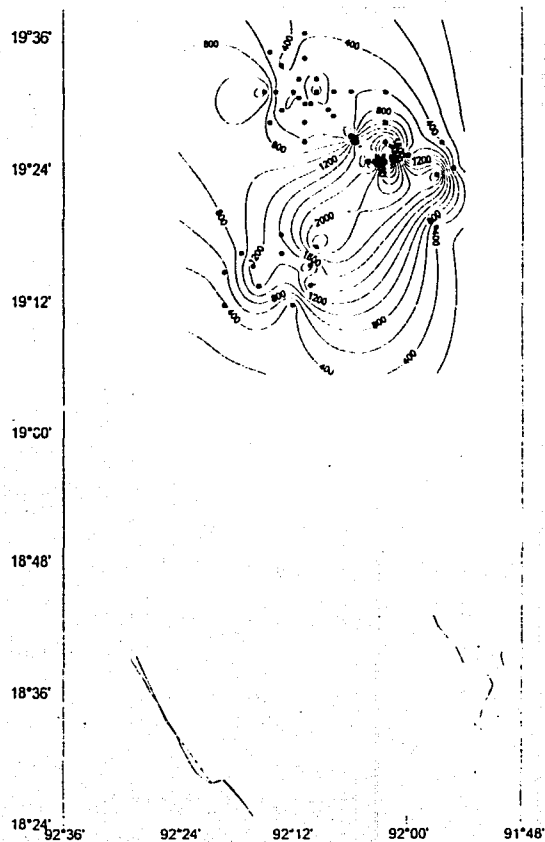
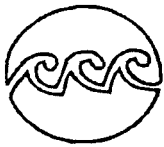


Figura 4.26. Concentración de Bario Total



### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Ba (ppm)  
(ADSORBIDO)

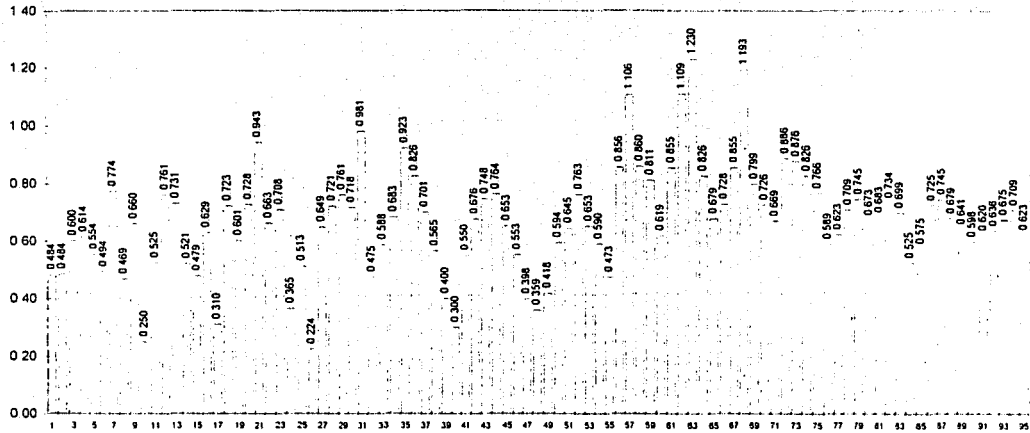


Figura 4.27a. Concentración por estación de Bario Adsorbido

Ba (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

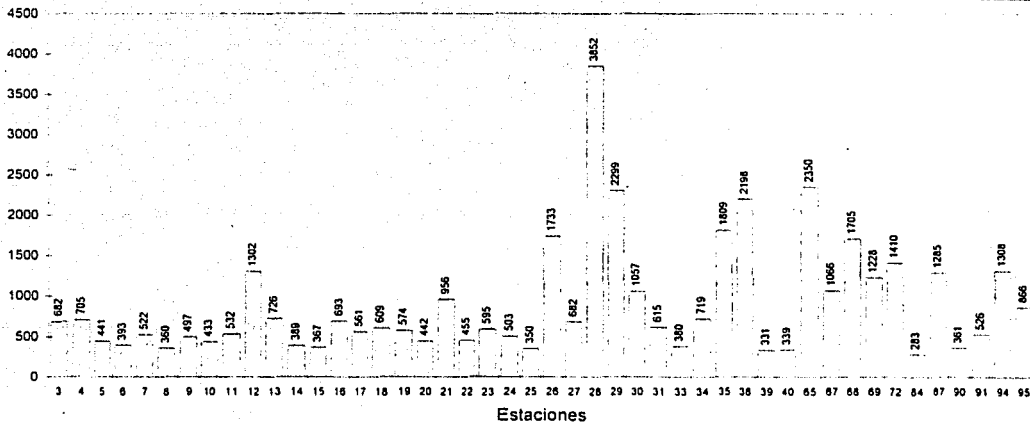
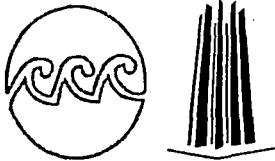
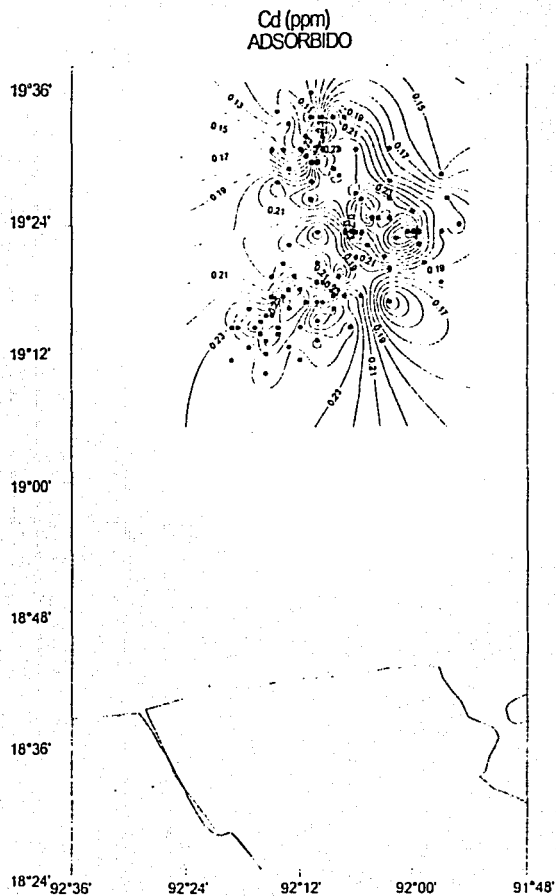


Figura 4.27b. Concentración por estación de Bario total

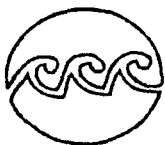


SGM-4  
ETAPA MICRO (SEDIMENTO)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.28. Concentración de Cadmio adsorbido



## ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Cd (ppm)  
(ADSORBIDO)

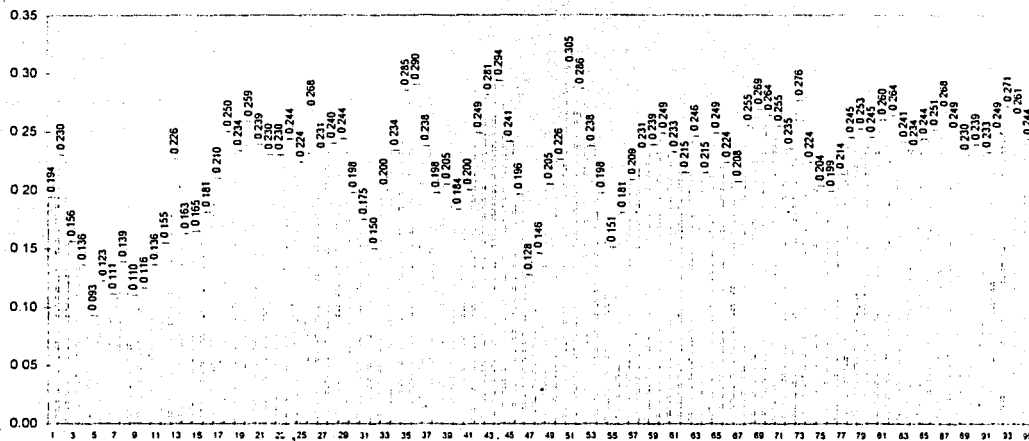


Figura 4.29. Concentración por estación de Cadmio adsorbido.



SGM-4  
ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

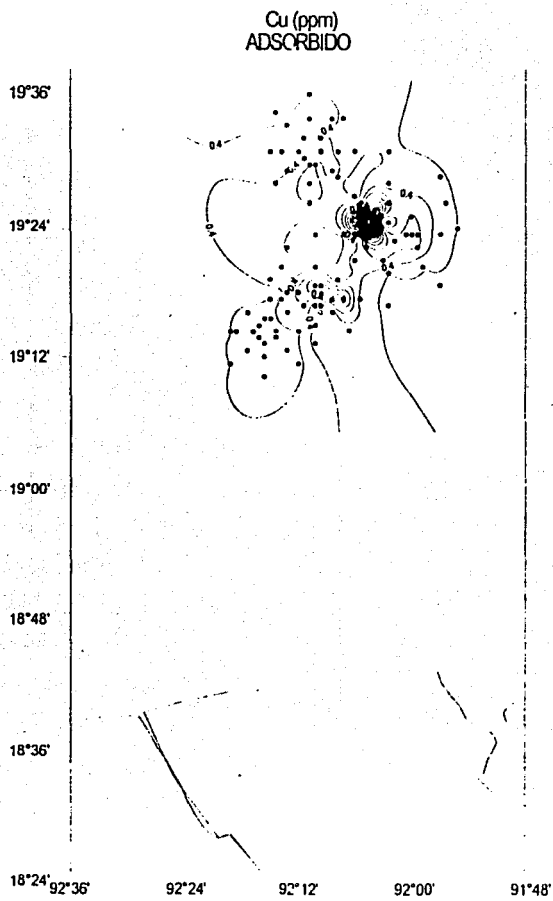


Figura 4.30. Concentración de Cobre adsorbido

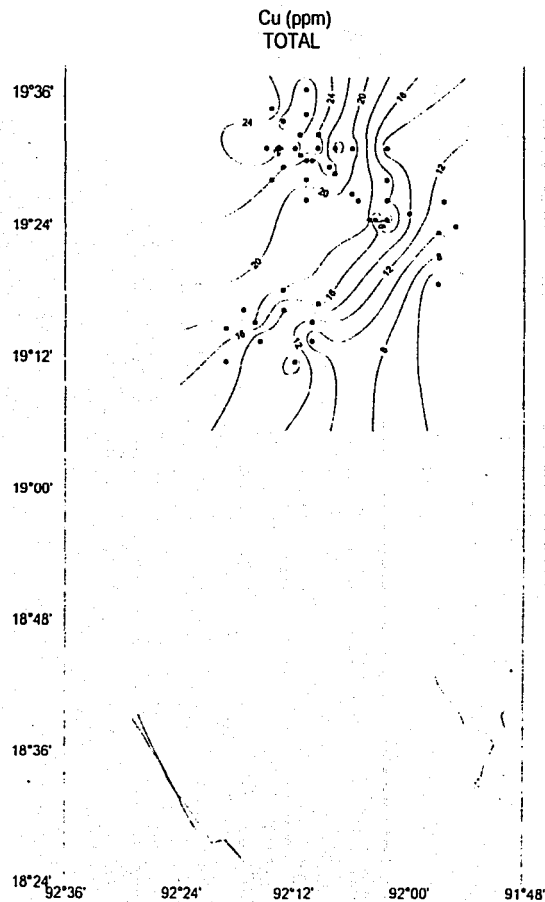


Figura 4.31. Concentración de Cobre Total



### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Cu (ppm)  
(ADSORBIDO)

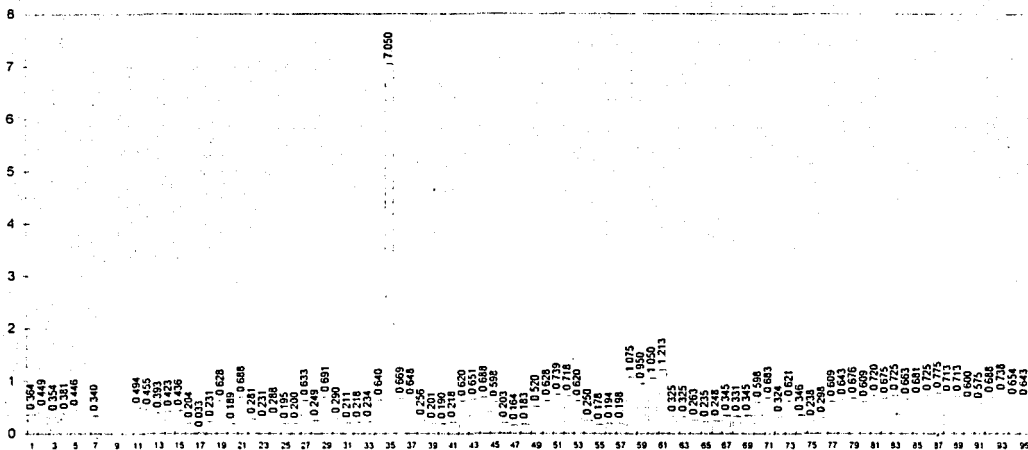


Figura 4.32a. Concentración por estación de Cobre adsorbido

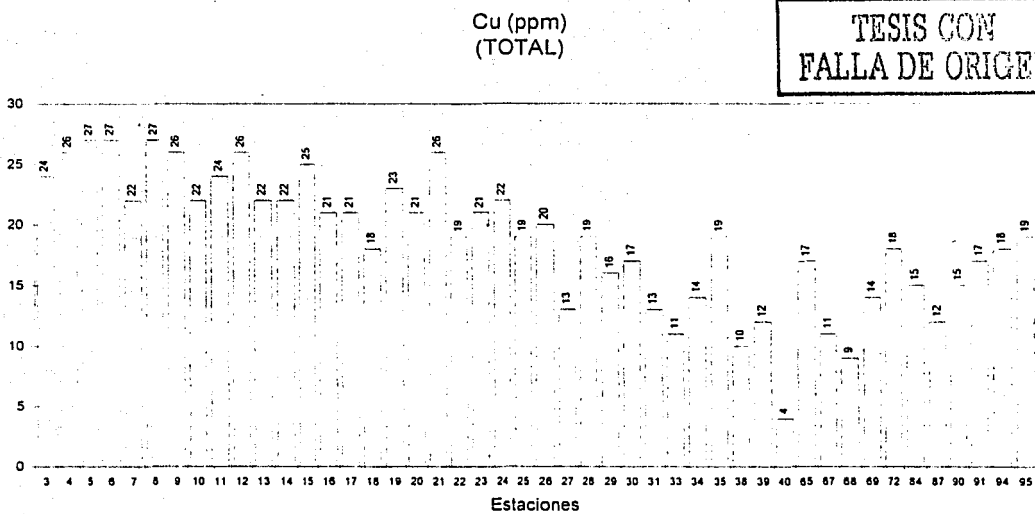
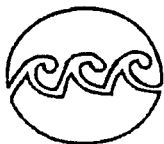


Figura 4.32b. Concentración por estación de Cobre total







### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Fe (ppm)  
(ADSORBIDO)

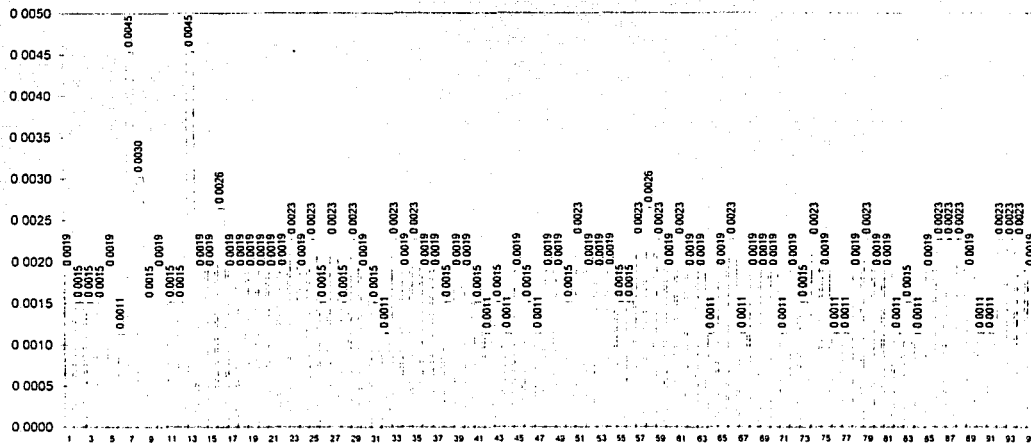


Figura 4.35a. Concentración por estación de Hierro adsorbido

Fe (ppm)  
(TOTAL)

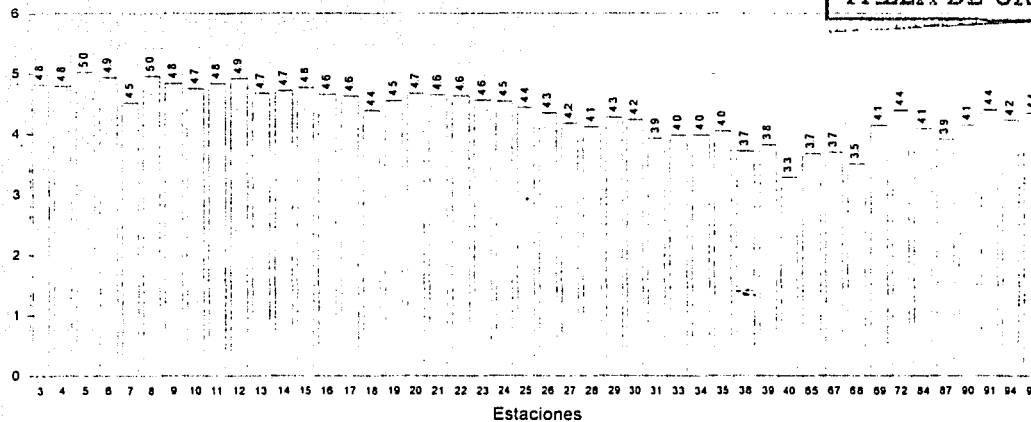


Figura 4.35+M16b. Concentración por estación de Hierro total



SGM-4  
ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

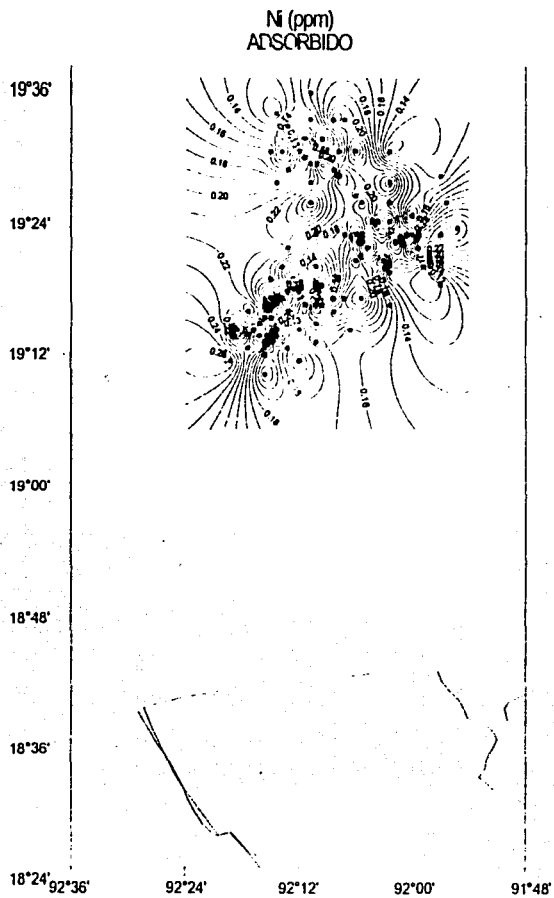


Figura 4.36. Concentración de Níquel adsorbido

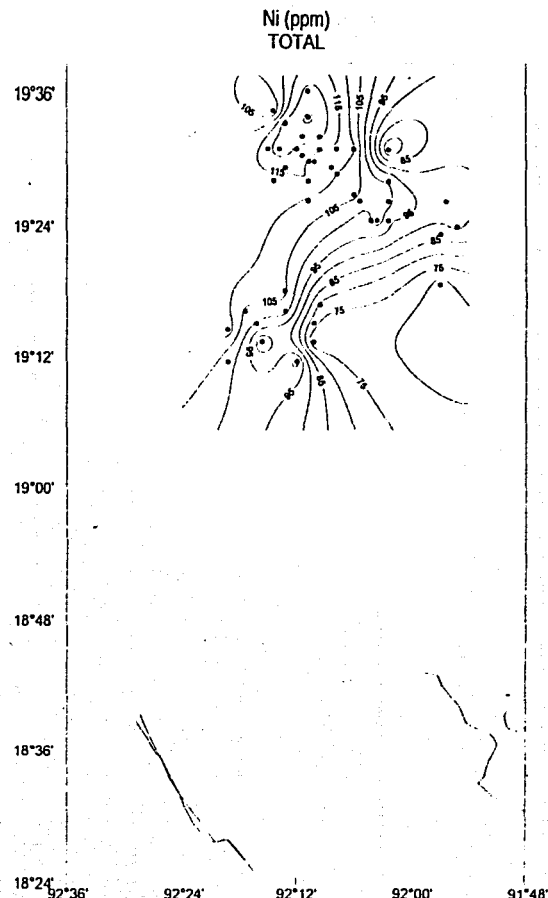
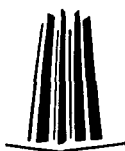


Figura 4.37. Concentración de Níquel Total



### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Ni (ppm)  
(ADSORBIDO)

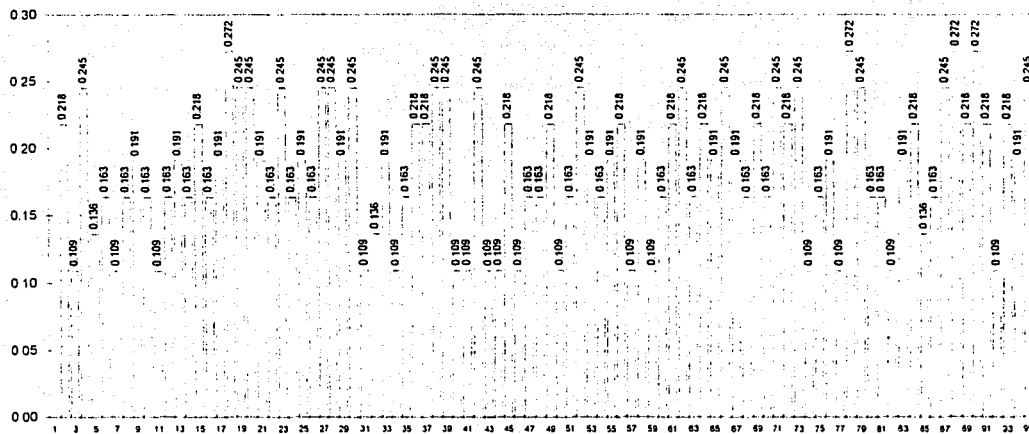


Figura 4.38a. Concentración por estaciones de Níquel adsorbido

Ni (ppm)  
(TOTAL)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

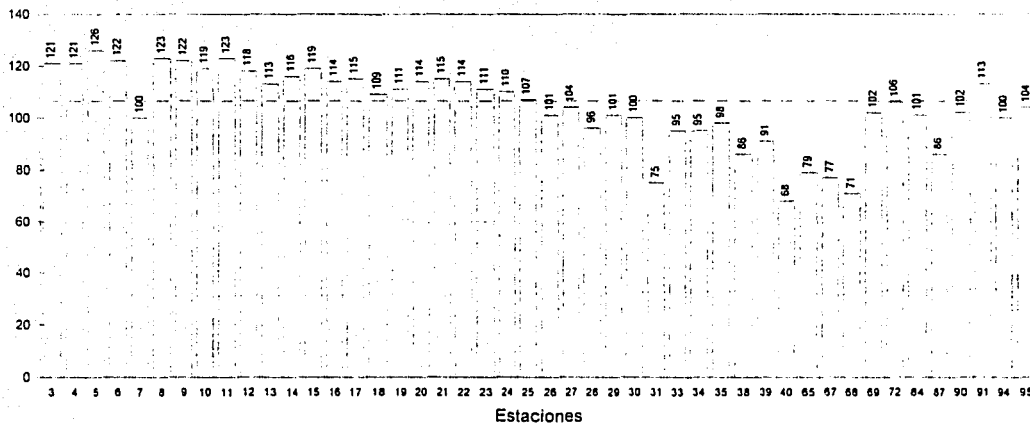
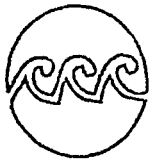


Figura 4.38b. Concentración por estaciones de Níquel total



SGM-4  
ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

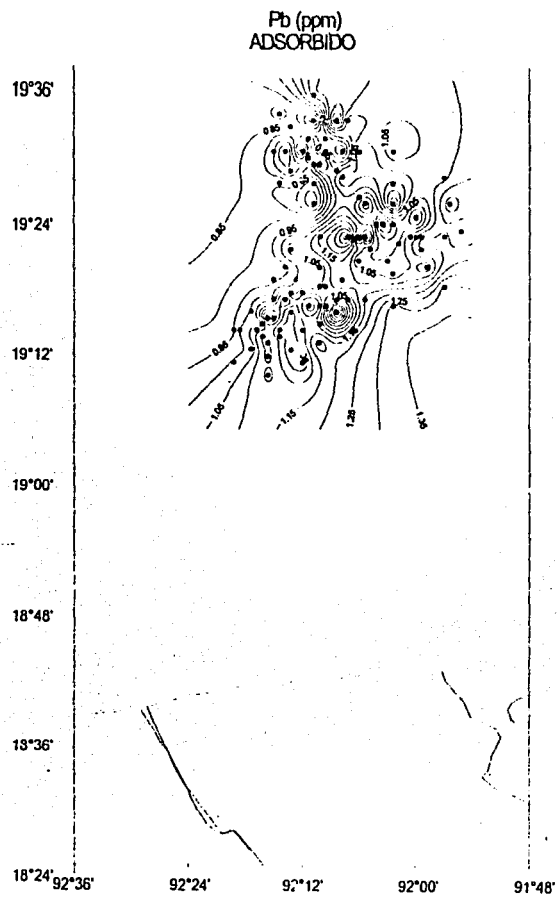


Figura 4.39. Concentración de Plomo adsorbido

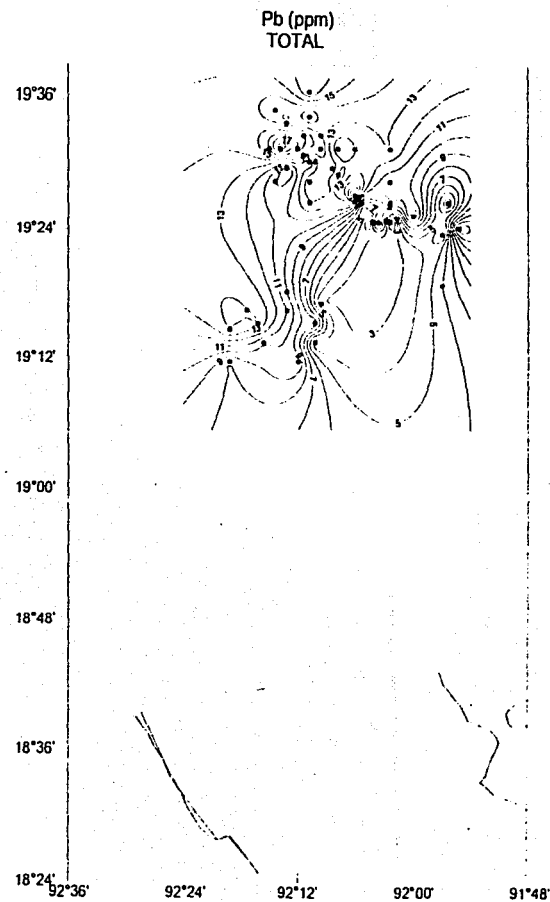
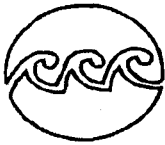


Figura 4.40. Concentración de Plomo Total



### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

Pb (ppm)  
(ADSORBIDO)

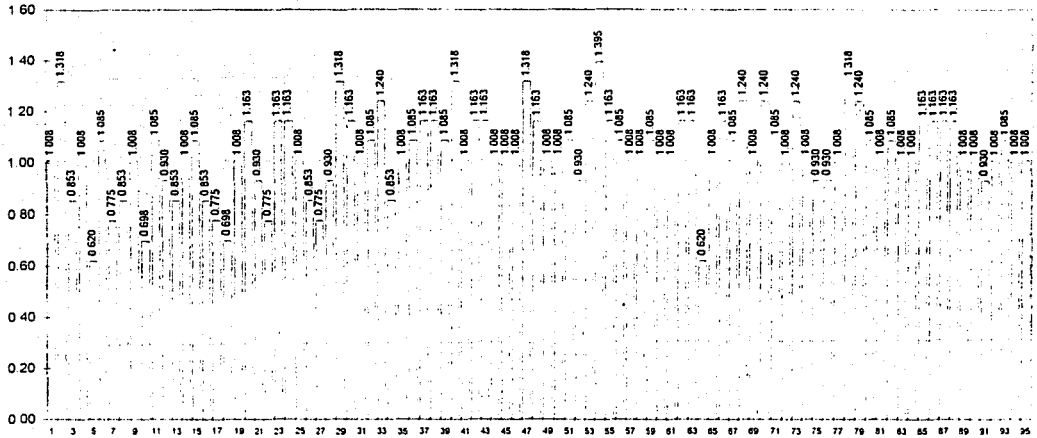


Figura 4.41a. Concentración por estaciones de Plomo adsorbido

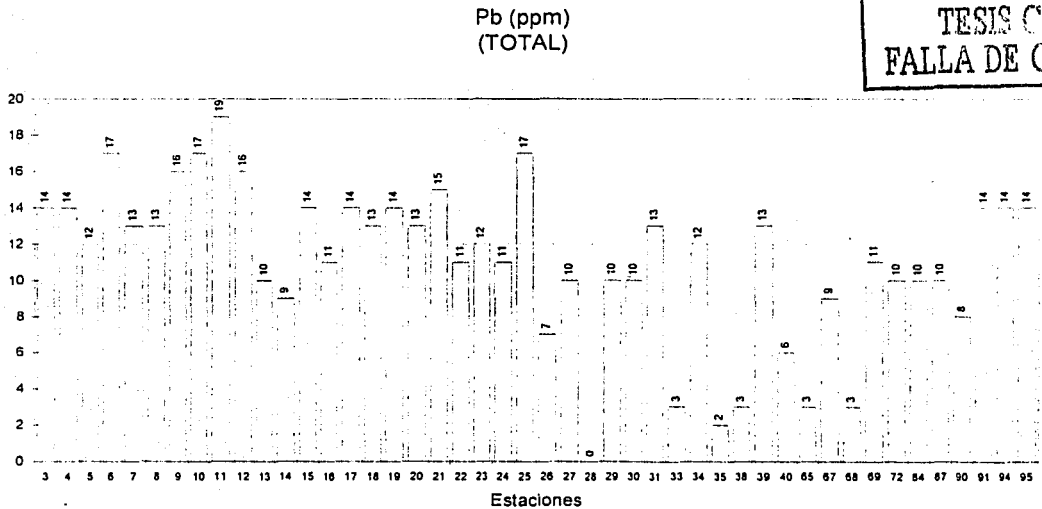
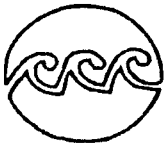


Figura 4.41b. Concentración por estaciones de Plomo total





### ETAPA MICRO (SEDIMENTO)

V (ppm)  
(ADSORBIDO)

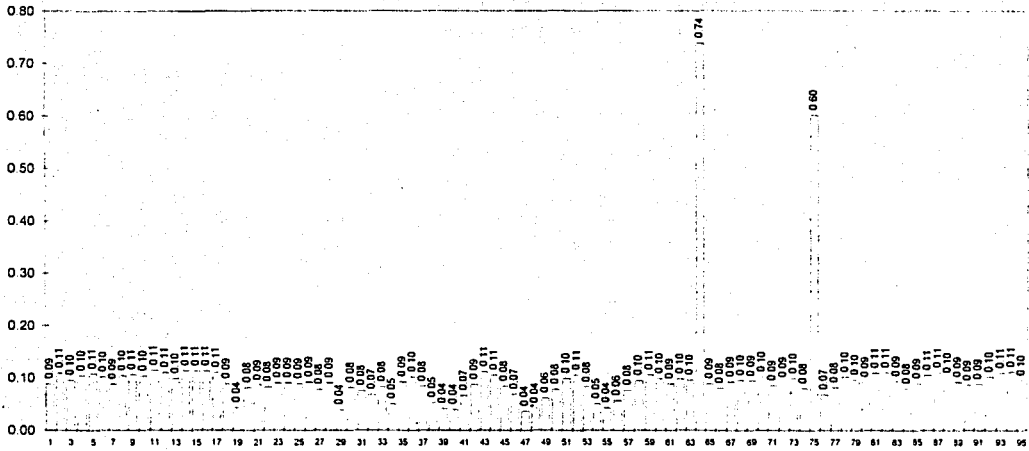


Figura 4.44a. Concentración por estación de Vanadio.

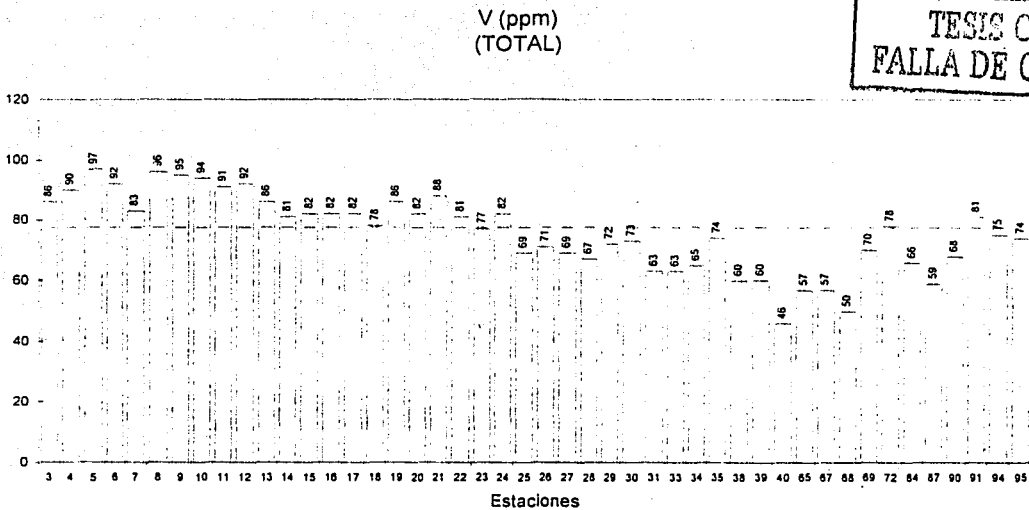
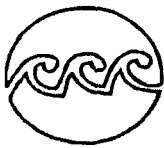


Figura 44.b. Concentración por estación de Vanadio.







ETAPA MICRO  
(SEDIMENTO)

Zn (ppm)  
(ADSORBIDO)

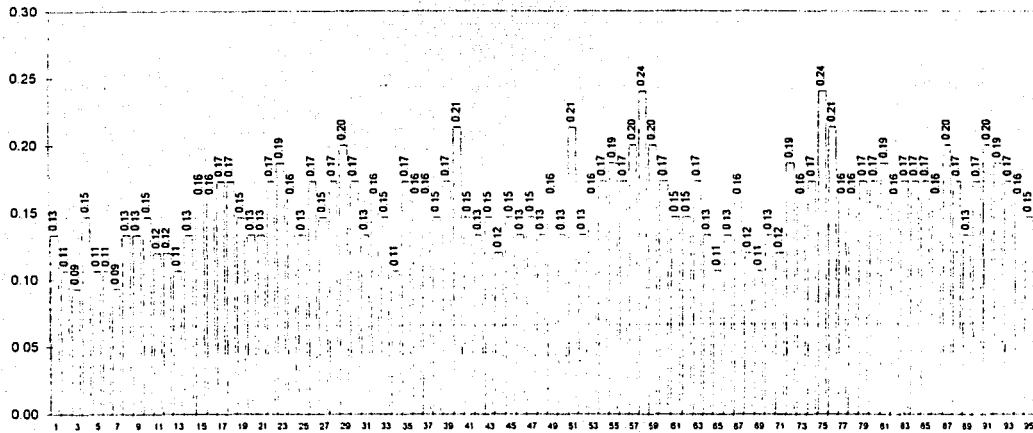


Figura 4.47a. Concentración por estación de Zinc.

Zn (ppm)  
(TOTAL)

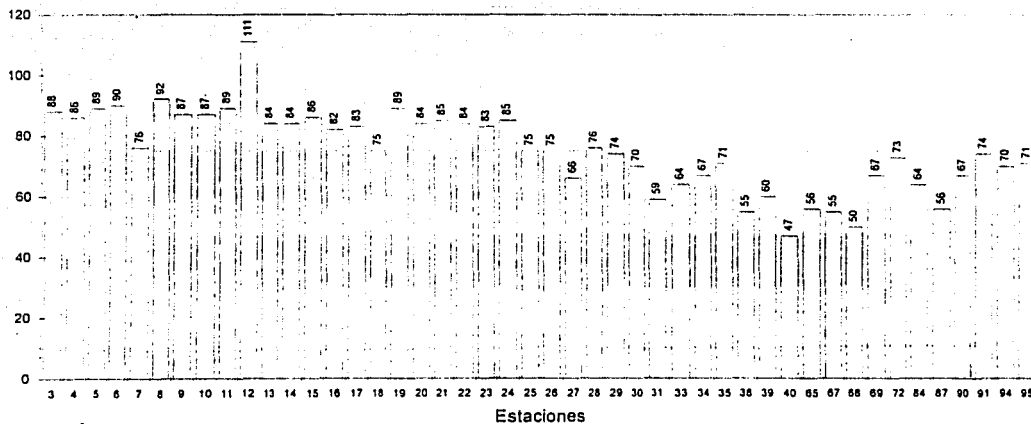
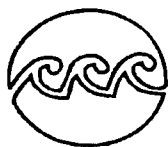
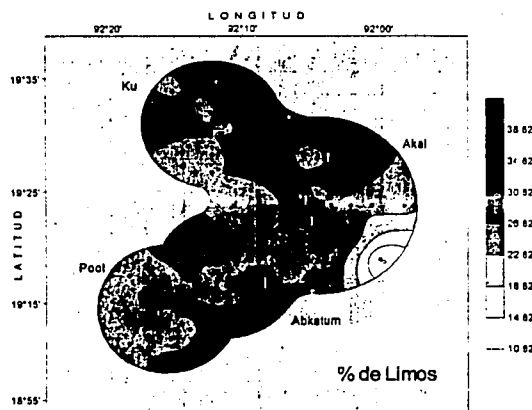
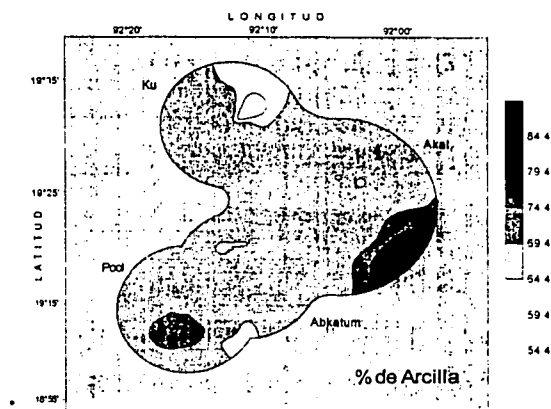
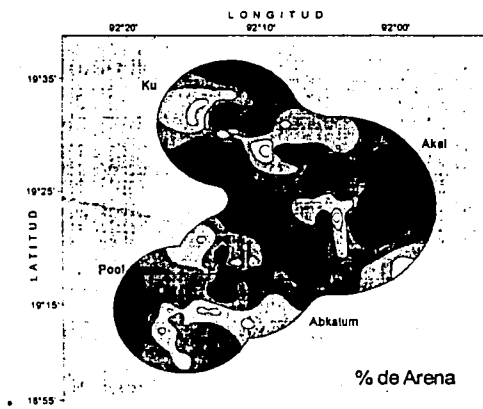
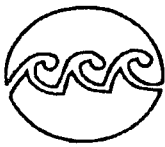


Figura 4.47b. Concentración por estación de Zinc.

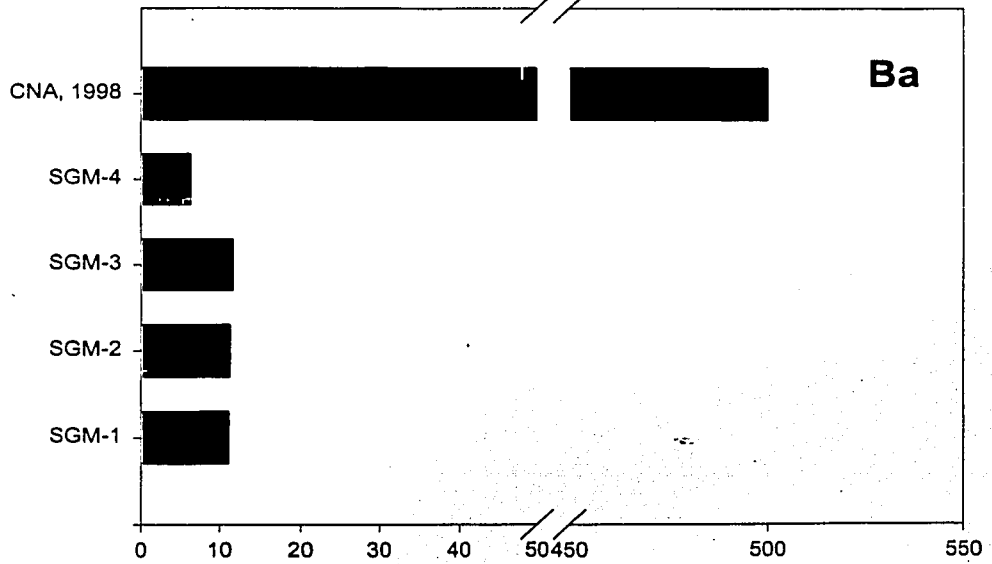
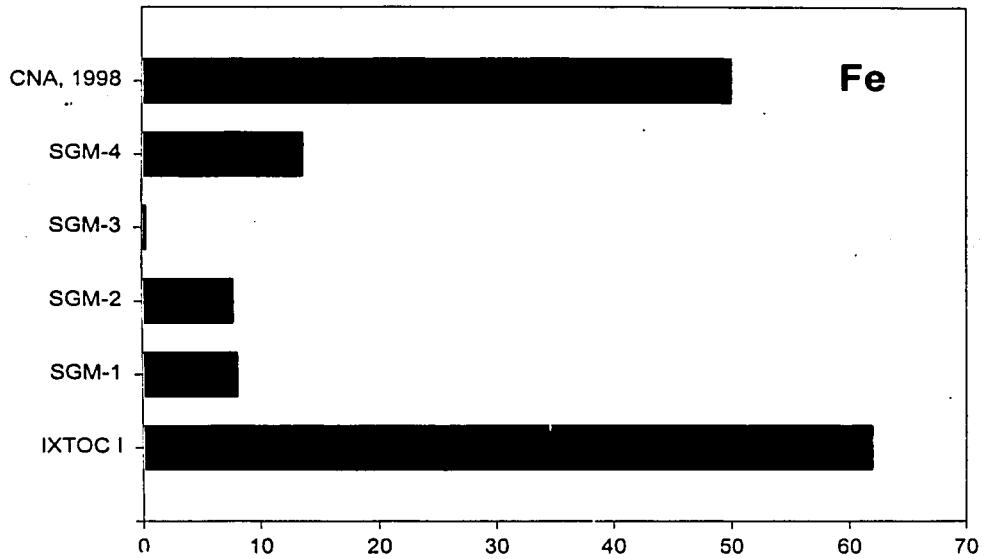


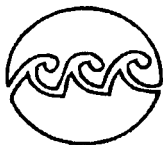
# SGM-4 ETAPA MICRO (SEDIMENTO)



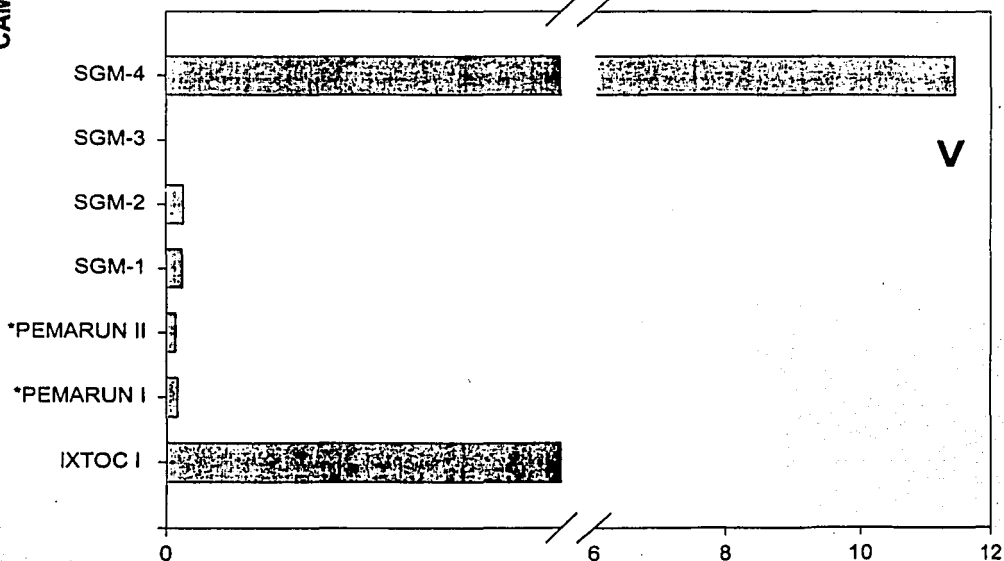
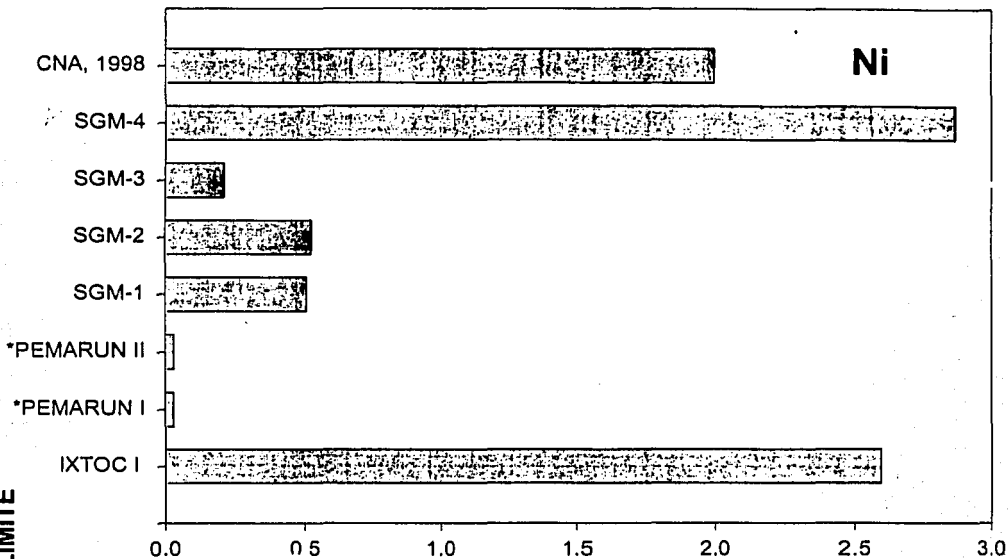


CAMPAÑA / LÍMITE





CAMPAÑA / LÍMITE

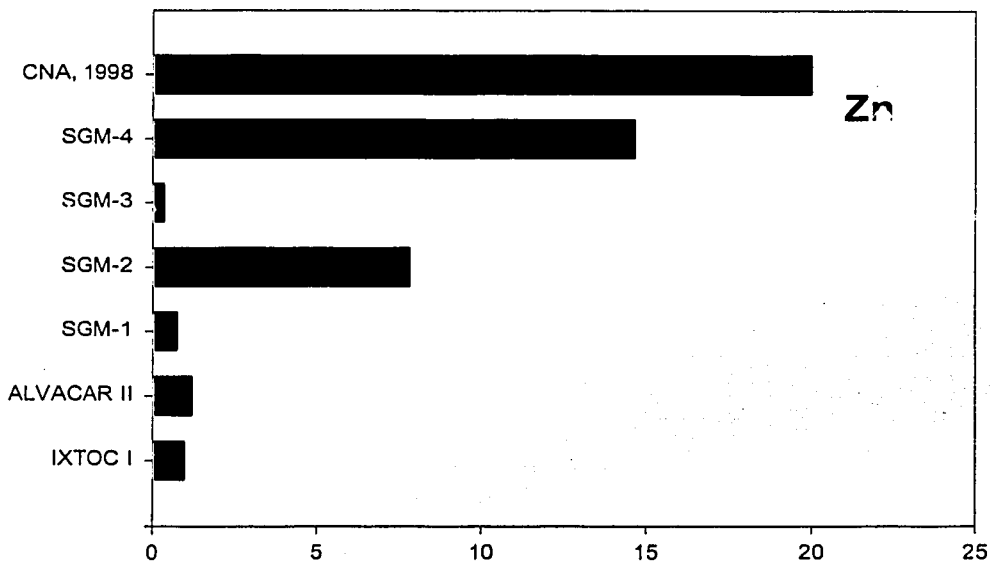
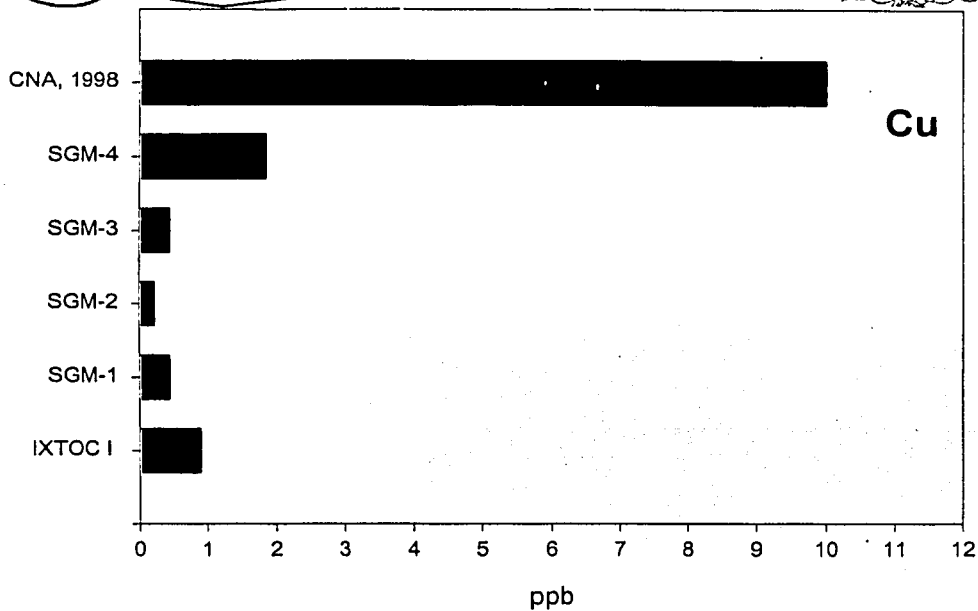


79

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

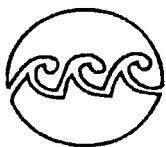


CAMPAÑA / LÍMITE

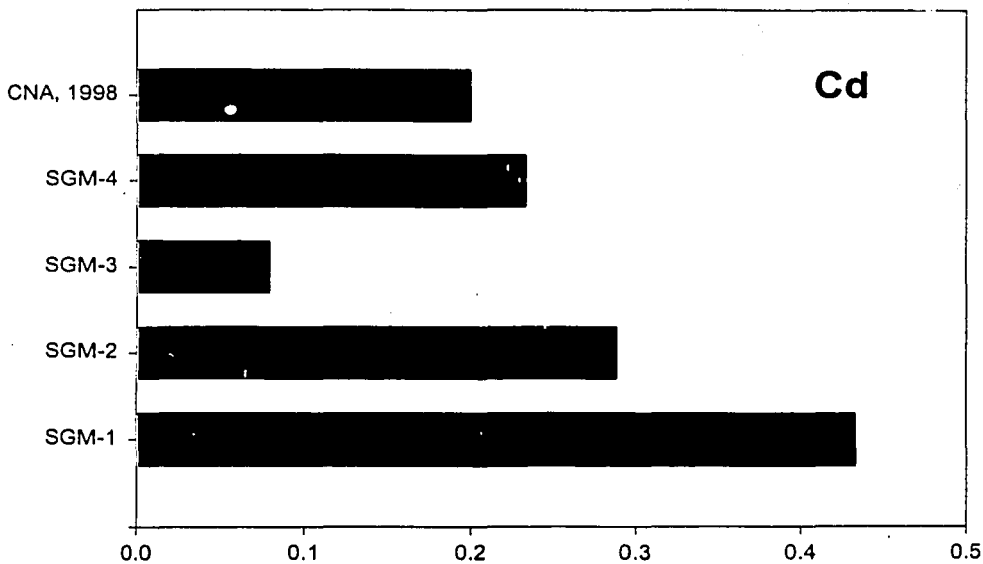
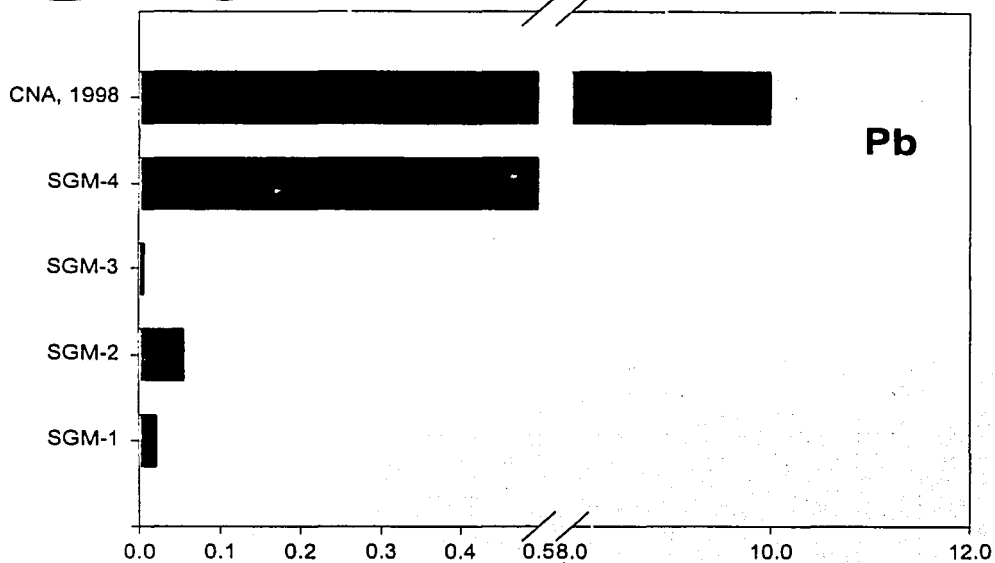


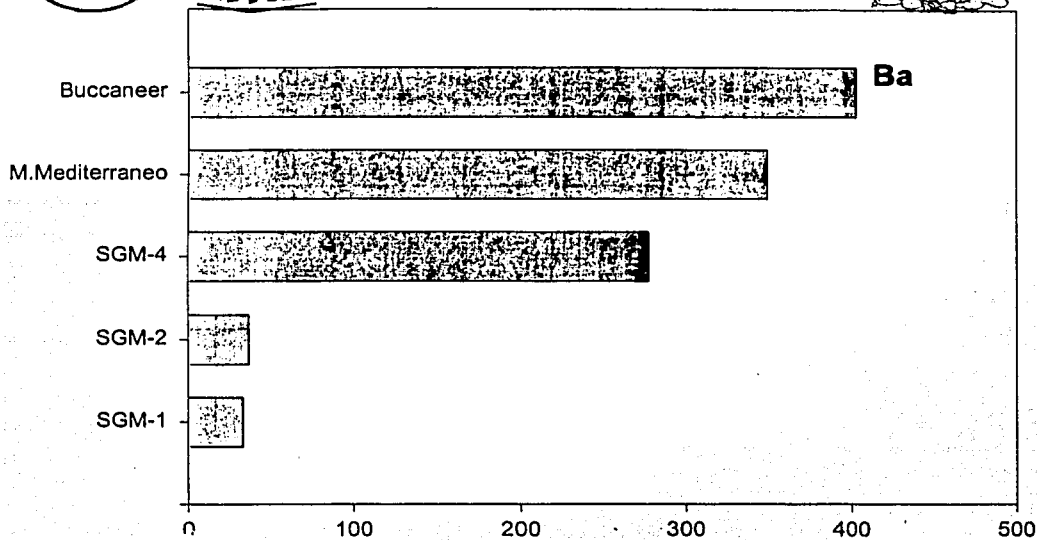
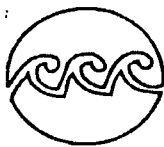
ppb  
80

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

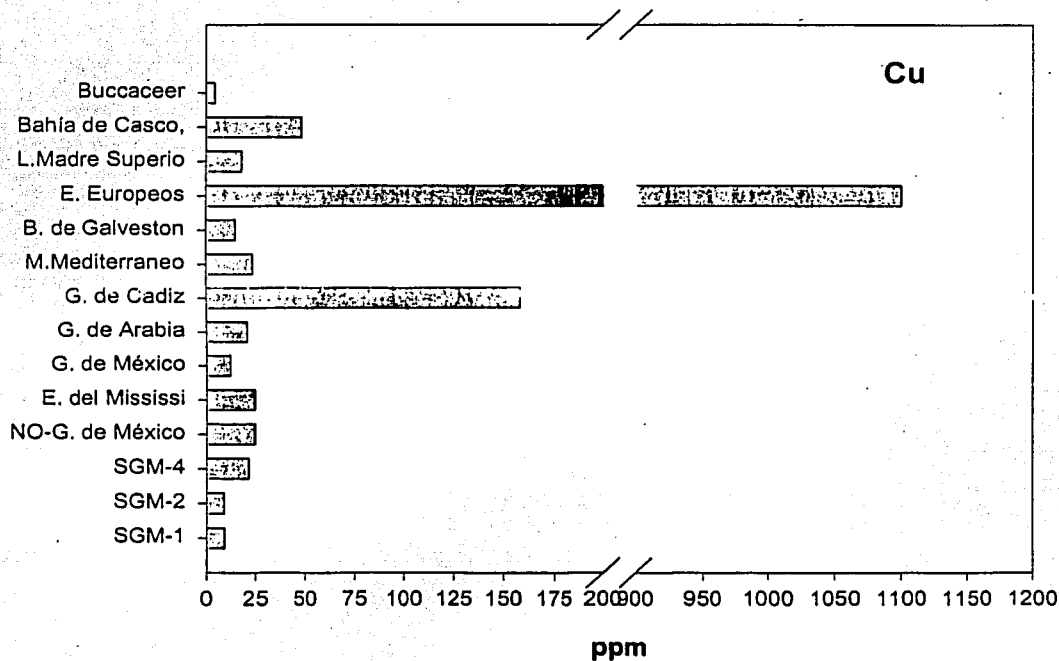


CAMPAÑA / LÍMITE





CAMPAÑA / ÁREAS MARINAS

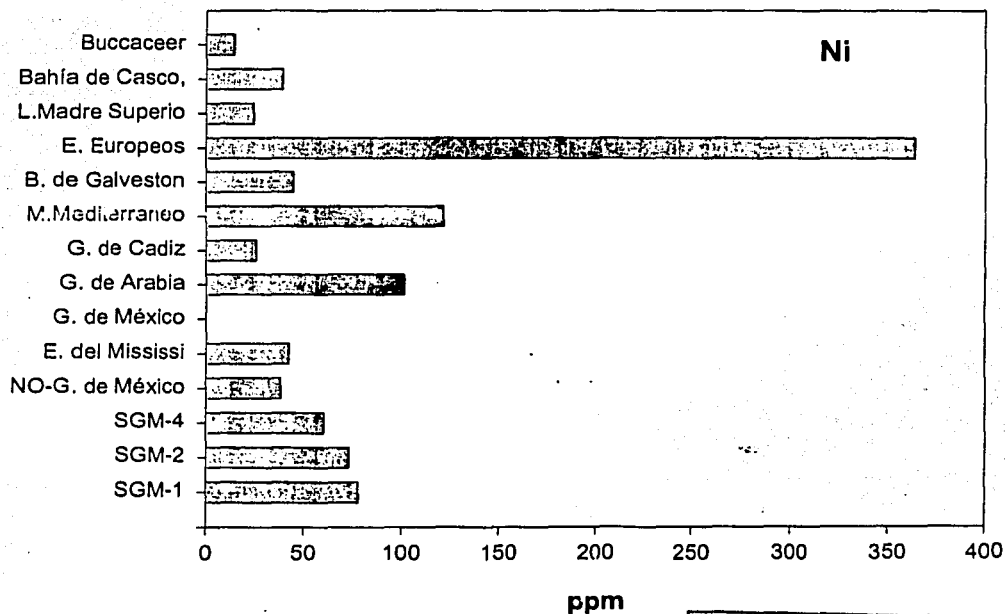
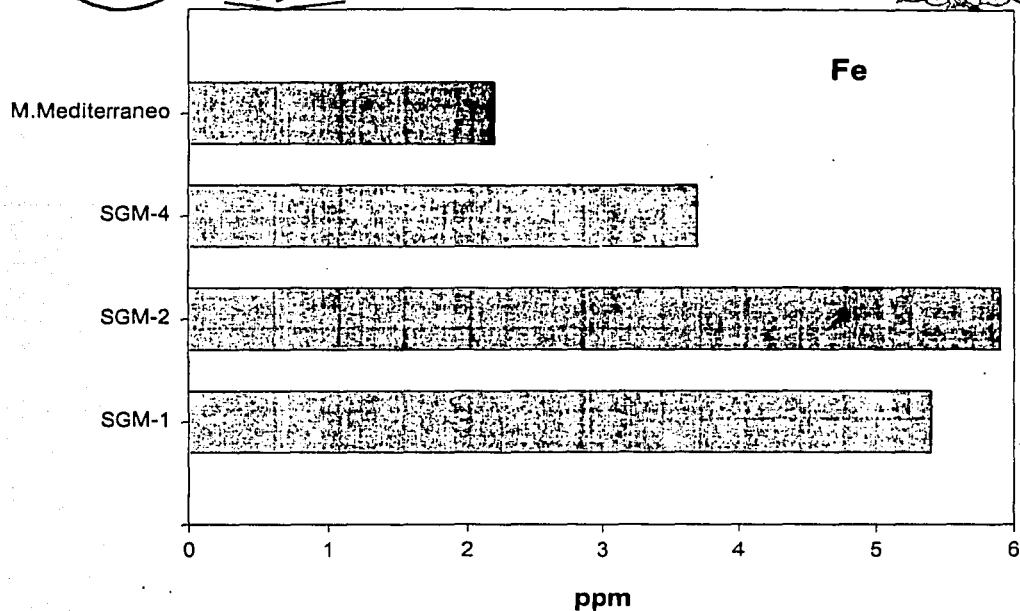
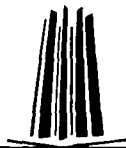


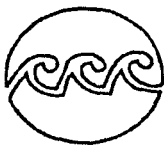
ppm

82

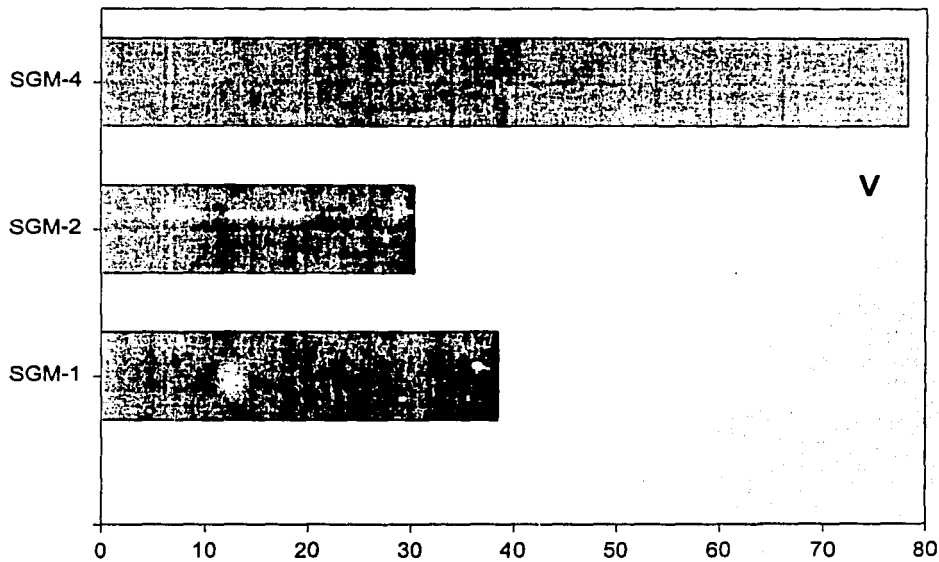
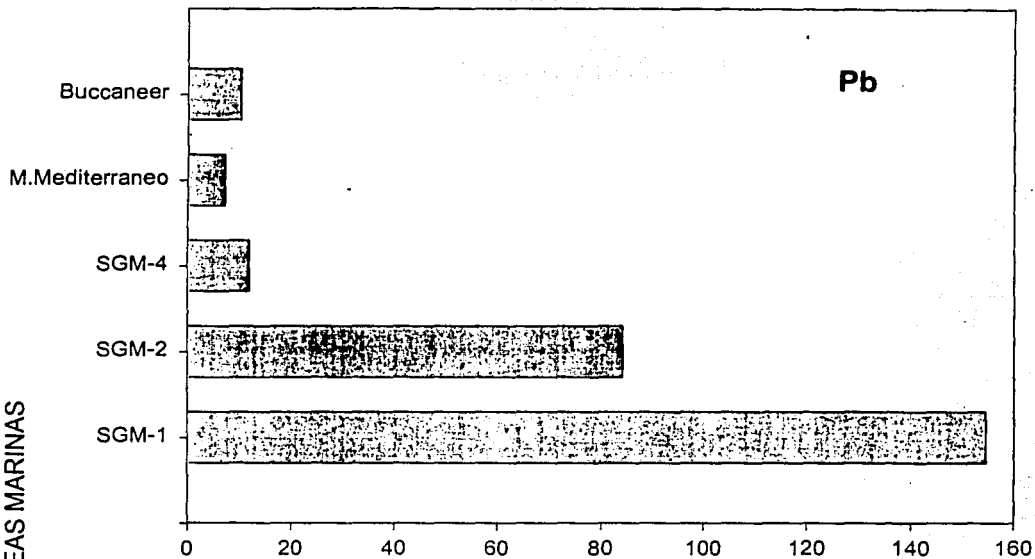
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN







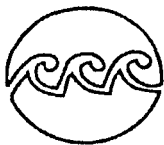
CAMPAÑA / ÁREAS MARINAS



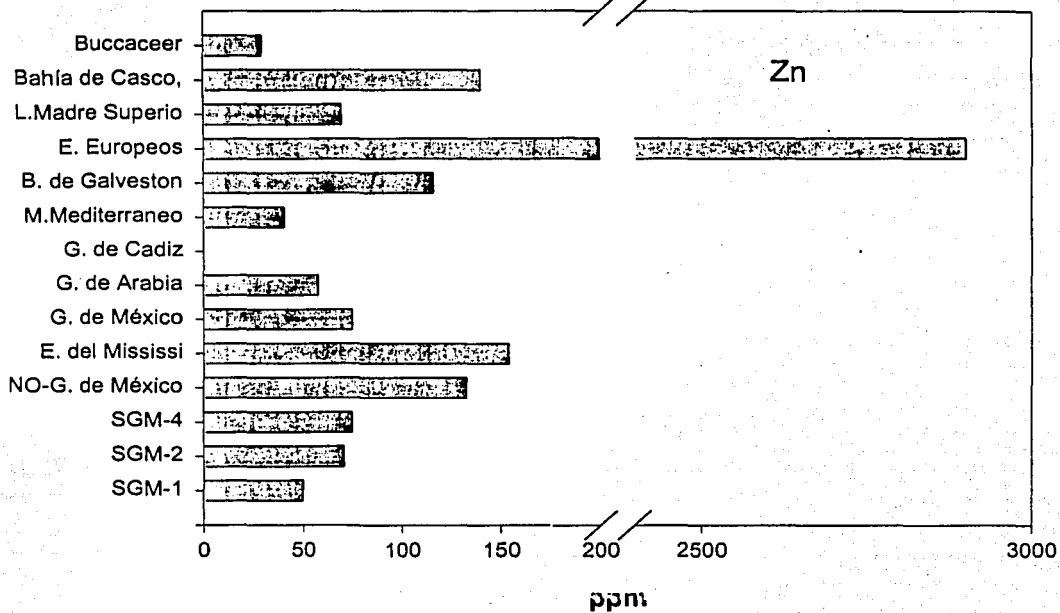
ppm

84

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



CAMPAÑA / ÁREAS MARINAS



85

TESIS CON --  
FALLA DE ORIGEN



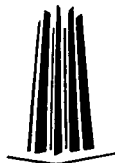
A

A) Llegada del cuerpo técnico al B/O "Justo Sierra"; b) Buque en muelle en el Puerto de Tuxpan, Ver.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

B

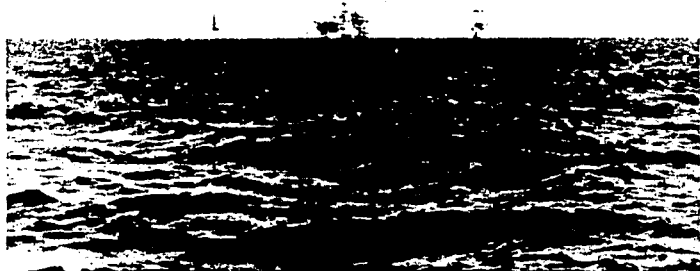




**Z**ona de plataformas en donde se llevó a cabo el muestreo micro.

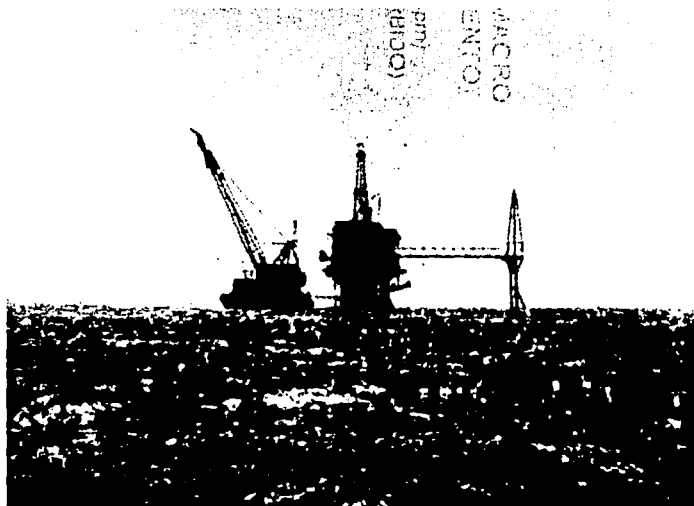
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





Plataformas localizadas dentro del área de muestreo denominada micro.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





**C**olecta de muestras  
a) nocturna, b) diurna en  
la zona de plataformas.

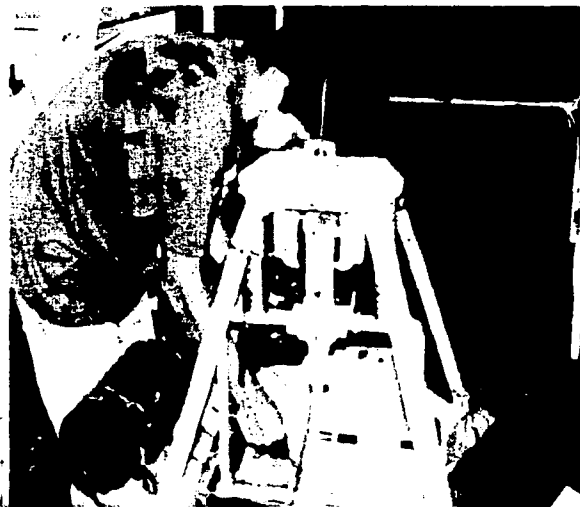
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





TESTE CON  
FALLA DE ORIGEN

**A**) Recolecta de sedimento marino con la draga Smith Mckintyre, b) toma de muestra para análisis de metales adsorbidos.







A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T**oma de muestras de  
sedimento para análisis  
de metales.



B