

16



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO QUIMICO DE SEDIMENTOS DE LA ZONA COSTERA INMEDIATA AL RIO COATZACOALCOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A:

ESTELA ESCARCEGA ARREOLA



MEXICO, D. F.

283037

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE Prof. ALICIA GUTIERREZ MURILLO

VOCAL Prof. HUMBERTO ARRIOLA SANTAMARIA

SECRETARIO Prof. MARIA TOMASA LETICIA ROSALES HOZ

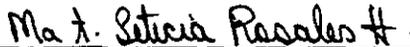
1er. SUPLENTE Prof. GEORGINA ARTEMISA DUARTE LISCI

2º. SUPLENTE Prof. MARÍA DEL PILAR CAÑISARES MACIAS

Sitio donde se desarrolló la tesis:

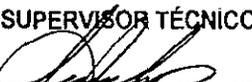
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Laboratorio de Química Marina y Contaminación

ASESOR



María Tomasa Leticia Rosales Hoz

SUPERVISOR TÉCNICO



Susana Santiago Pérez

SUSTENTANTE/



Estela Escárcega Areola

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme formado.

Mi más profunda gratitud a la Dra. Leticia Rosales Hoz, por su dirección y asesoría en el desarrollo de este trabajo.

A todas las personas que ayudaron al desarrollo de este trabajo, en particular al Dr. Arturo Carranza Edwards y al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por realizar y asesorar los análisis sedimentológicos de esta tesis.

Deseo agradecer a la Q.F.B. Susana Santiago Pérez por el apoyo técnico la paciencia y todo el tiempo que dedicó en enseñarme y ayudarme.

DEDICATORIAS

A Dios téhjua mo chichahua

A mis padres Ma. Del Socorro y José que con amor me han enseñado a buscar la libertad. Néhjua mitz tlazotla miyac.

A Miguel, Silvia, Rocío, Alberto y Chio por ser parte de mí. Tinochte tinime tiyohue tinimitihue.

A Daniel téhjua yolli in mo yolotl.

A Baci y Ale. Tlasocamate aménjuan yolli in mo otli.

Tzinu ESCOLAPIOS, a todos ustedes miyac, miyac tlasocamate.

A los amigos del ICMYL, por compartir la gran aventura de la vida.

INDICE GENERAL

Resumen

Capítulo 1

1.1 *Introducción* 1

1.2 *Objetivos* 3

Capítulo 2

2.1 *Antecedentes* 4

Capítulo 3

3.1 *Área de estudio* 13

3.2 *Características naturales* 13

3.3 *Hidrología* 14

3.4 *Marco geológico y litología* 14

3.5 *Industrias locales en la cuenca del río Coatzacoalcos* 15

Capítulo 4

Metodología 18

4.1 *Trabajo de campo* 18

4.1.1 *Muestreo* 18

4.2 *Trabajo de laboratorio* 19

4.2.1 *Determinación de metales traza* 19

4.2.2 *Determinación de elementos mayores* 24

4.2.3 *Determinación de materia orgánica* 27

4.2.4 *Determinación de carbonatos* 30

4.2.5 *Determinación de pérdida por calcinación* 33

4.3 *Análisis estadísticos* 34

4.3.1 *Análisis Cluster* 34

4.3.2 *Análisis de discriminantes* 35

4.3.3 *Análisis de factores* 36

4.4 *Factor de contaminación* 36

4.5 *Índice de contaminación por metales (MPI)* 37

Capítulo 5

Resultados y discusión 39

5.1 Patrón de distribución de batimetría 39

5.2 Patrón de distribución de tamaño de partícula,(características texturales de los sedimentos) 39

5.3 Patrón de distribución de carbonatos 41

5.4 Patrón de distribución de materia orgánica 42

5.5 Patrón de distribución de metales 43

5.6 Análisis estadístico 49

5.6.1 Matriz de correlación y cluster 49

5.6.2 Análisis de factores 53

5.6.3 Análisis de discriminantes 54

5.6.4 Factor de contaminación 56

5.6.5 Índice de contaminación por metales (MPI) 57

Capítulo 6 Conclusiones 60

Capítulo 7 Recomendaciones 62

BIBLIOGRAFÍA 63

APÉNDICE 1 MAPAS DE DISTRIBUCIÓN 64

RESUMEN

La contaminación como resultado de las actividades humanas en las zonas costeras es cada día más evidente. En la presente investigación se analizaron sedimentos de la zona costera inmediata al río Coatzacoalcos con la finalidad de establecer si los aportes de dicho río se reflejan en la composición de los sedimentos superficiales de la zona y si éstos muestran concentraciones anómalas de metales pesados que puedan atribuirse a los aportes antrópicos.

Los sedimentos han sido estudiados sedimentológicamente determinando las características texturales y para conocer su composición química, se realizaron determinaciones analíticas del % carbonatos, % materia orgánica, % pérdida por calcinación, % de elementos mayores por Espectrometría de Fluorescencia en Rayos X y concentración de metales traza por Espectrometría de Absorción Atómica en Flama. Los resultados analíticos fueron sometidos a análisis estadísticos (matrices de correlación, cluster, análisis de factores y discriminantes) los cuales son una herramienta útil para la interpretación de resultados.

Tanto la profundidad como la distancia a la tierra ejercen un efecto sobre las propiedades texturales y químicas de los sedimentos. Los resultados demuestran que a mayores profundidades los sedimentos presentan menor tamaño de partícula y mayor % de materia orgánica, la cual adsorbe a metales traza como el Cu, y Zn. El factor de contaminación y el índice de contaminación por metales, indican como elementos críticos al Pb, V, Co, Cr y Ni, elementos asociados con la emisión de automóviles, fundidoras, descargas industriales, y actividades petroleras, es decir, actividades antropogénicas.

1. 1 INTRODUCCIÓN

El extenso litoral mexicano (2760km de costa en el golfo de México y 6608Km en el Pacífico) le confiere al país gran importancia desde al ámbito económico hasta el ámbito estrictamente científico, sin embargo como consecuencia del acelerado incremento demográfico y desarrollo industrial ribereño de las últimas décadas, el flujo hacia el medio ambiente marino de una gran variedad de materiales naturales y sintéticos, se ha elevado considerablemente, contribuyendo a modificar y deteriorar la zona costera (OSUNA 1989).

La composición química de los sedimentos marinos refleja los procesos que ocurren en la columna de agua, e aquí la importancia de su estudio. Los sedimentos son reconocidos como " acarreadores " y como posible fuente de contaminantes, ya que juegan un papel importante en el esquema de contaminación por metales pesados en los sistemas acuáticos debido a que los procesos de precipitación, adsorción y quelación constituyen el depósito principal de metales pesados en el ambiente acuático (CHAKRAPANI Y SUBRAMANIAN,1993 citados por BAHENA 1999).

La contaminación o polución marina se define como la introducción por el hombre en el medio marino, directa o indirectamente, de sustancias o

energías que puedan ocasionar efectos deletéreos, tales como daños en los recursos biológicos, y por consiguiente para la salud humana, la modificación de determinados parámetros físicos, como la temperatura, la introducción de vibraciones, radiaciones, virus, bacterias. De acuerdo a la definición anterior se distinguen tres tipos de polución según la naturaleza del alterígeno. polución química, polución física y polución biológica.

El alto desarrollo industrial existente en las márgenes del estuario del río Coatzacoalcos ha elevado las descargas directas, tanto urbanas como industriales hacia el río, esto ha incrementado también las concentraciones de sustancias antrópicas en el área. Sin embargo, la dinámica del sistema produce una autodepuración con descargas hacia la zona costera inmediata, por lo que es importante evaluar el grado de impacto en esta área. Ante esta problemática, la presente investigación pretende aportar datos químicos que permitan establecer si los elementos contaminantes se acumulan en los sedimentos de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos, de tal manera que este estudio sea el punto de partida para realizar un muestreo más extenso y detallado para poder establecer el grado de impacto que las descargas del río han producido en el área.

1 2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la contribución antropogénica de metales pesados en los sedimentos superficiales de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la composición química de los sedimentos de la zona costera inmediata al río Coatzacoalcos, (determinando: % de materia orgánica, % de carbonatos, % de pérdida por calcinación, % de elementos mayores (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , CaO) y concentración de elementos traza (Cr, Co, Cu, Ni, Zn, V y Pb).
- Determinar si los niveles de elementos traza presentes en los sedimentos indican contribución antropogénica.

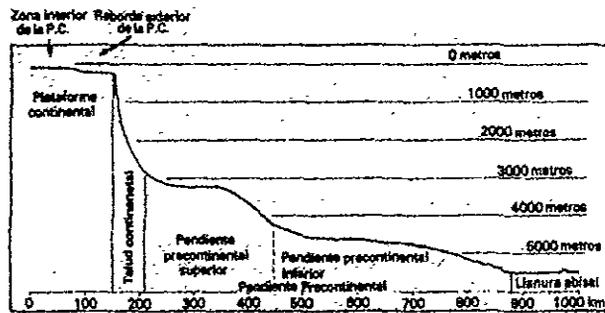
2.1 ANTECEDENTES

Junto con la energía solar, el agua es el elemento primordial en el mantenimiento de la vida sobre la tierra y del volúmen total de agua que hay en el planeta (alrededor de 1.5 billones de kilómetros cúbicos) un 97 % es de aguas oceánicas; el resto está como vapor de agua, hielo y agua dulce de lagos y ríos (NANCE, 1971 citado por BOTELLO 1996). Sin embargo tanto los ríos como los océanos se encuentran en situación crítica, ya que se ha venido incrementando su grado de contaminación como resultado de las actividades humanas, por accidente o como un resultado directo de su uso como depósito de productos de desecho. A menudo se argumenta que como el volúmen de los océanos es muy grande, la dilución y tal vez la degradación bacteriana restaurarán rápidamente cualquier contaminación inofensiva. Mientras que este razonamiento corresponde en parte a la verdad es falso pretender que el deterioro que puede ocurrir en presencia del contaminante, sea dispersado en los océanos o a través de la biota.(RILEY 1989). El deficiente control de desechos industriales y de los asentamientos humanos ocasiona el deterioro en los sistemas acuáticos, ante esta problemática la comunidad científica se ha interesado en estudiar, plantear soluciones y promover medidas de control.

El piso oceánico puede ser dividido en varias regiones. La zona litoral se considera hasta donde el oleaje afecta significativamente el fondo, la plataforma continental convencionalmente, se considera hasta los 200m de

profundidad y tiene como limite donde comienza un declive muy pronunciado que la conecta con la planicie abisal o piso del océano, llamándose a esta zona talud continental. Estas zonas típicas de la cuenca oceánica, presenta accidentes topográficos como: cañones en la plataforma y talud continental que llegan a alcanzar la llanura abisal, cordilleras, volcanes, cuencas hasta de 10500m de profundidad, domos salinos, islas, trincheras y fallas geológicas. FIGURA 2.1

FIGURA 2.1 Perfil típico del margen continental.



Los contaminantes pueden afectar a los procesos que se llevan a cabo naturalmente en la columna de agua, ya sea produciendo efectos tóxicos en los organismos presentes, afectando la capacidad fotosintética de las plantas o

introduciendo sustancias químicas que abaten la concentración de oxígeno o alteran las condiciones naturales del sistema.

Entre los diversos contaminantes que el hombre ha incorporado al ambiente natural, los metales (pesados y traza) son persistentes y bioacumulables y son quizá los de mayor interés desde el punto de vista de impacto antropogénico sobre el ambiente marino. El rasgo específico de estos contaminantes consiste en el hecho de que ellos usualmente son transportados y acumulados en la biósfera junto con sus análogos naturales y están involucrados en el mismo complejo de procesos (físicos, químicos biológicos y sedimentológicos). Por esa razón el destino de los metales pesados- contaminantes (y el nivel de sus efectos sobre los organismos) puede ser entendido solamente después de los estudios ecosistemáticos de la migración de los elementos traza y sus flujos en el sistema tierra-mar. (SHUMILIN E. 1996)

Las fuentes de metales pesados son numerosas (quema de combustibles fósiles, actividad industrial, emisiones de automóviles, aguas de desecho, etc.) y su forma de introducción en el ambiente (aire, agua, suelos y sedimentos) puede ser difusa o de fuentes puntuales. FIGURA 2.2

El material sólido suspendido en la columna de agua, atrapa por diversos procesos (adsorción, complejación, etc) a los metales disueltos en la columna de agua, para finalmente depositarse en el fondo, por lo que el estudio de

las características del sedimento: su composición, transporte o distribución, deposición o acumulación, carga de contaminantes, así como su relación sólido-solución permiten evaluar el posible grado de impacto por metales pesados en el medio estudiado.

El enriquecimiento de metales en los sedimentos puede tener diferentes orígenes según (FORSTNER), tales como.

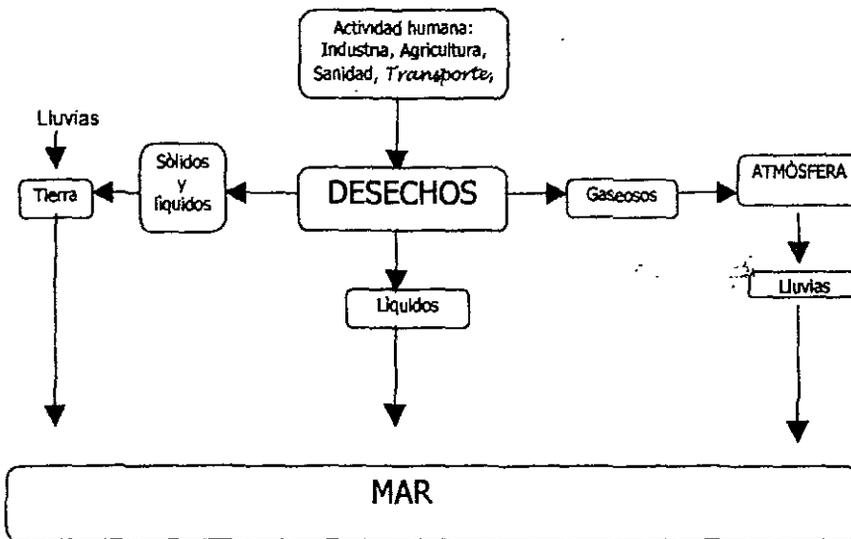
1. Formación litogénica. Componentes provenientes de la erosión de la tierra, vulcanismo submarino o por intemperismo submarino. La mayoría de los componentes litogénicos son inorgánicos y están incorporados en los sedimentos tanto como fragmentos de roca, como partículas discretas de minerales simples.
2. Formación Hidrogénica. Partículas producto de precipitación, sustancias adsorbidas, formadas por cambios fisicoquímicos en el agua.
3. Formación Biogénica. Remanentes biológicos, productos de descomposición de sustancias orgánicas o bien inorgánicas como sílice o conchas calcáreas.
4. Formación Atmogénica. Enriquecimiento de metales resultado de lluvia radioactiva atmosférica.
5. Formación Cosmogénica. Partículas extraterrestres.

Incluido en la formación litogénica se encuentra el enriquecimiento de metal civilizacional, porque son producto de erosión producida por el ser humano por

ejemplo actividades de explotación minera. También el enriquecimiento de metales por efecto hidrogénico se ve afectado por la disolución de contaminantes, cerca de efluentes de aguas de desecho, incorporadas a ríos lagos y mares.

Es evidente que la clave para entender el enriquecimiento de metales en sistemas acuáticos, radica en la identificación y diferenciación de los tipos de metal asociados a los sedimentos.

FIGURA 2.2 fuentes de contaminantes y su forma de introducción en el ambiente marino.



Por tal razón es indispensable definir en primer lugar ¿Qué es un sedimento?. La palabra sedimento se deriva del latín *sedimentum* que significa asentamiento y es usado para todas aquellas partículas de rocas suelta o de fuentes antrópicas que son llevadas a través de corrientes de agua o aire, depositándose y conformando la capa que cubre la mayor parte del piso de océanos, lechos de ríos y fondos de lagos, o playas.

Los sedimentos son originados cuando las rocas son alteradas o intemperizadas por procesos físicos o mecánicos intemperismo físico (involucra la fragmentación del material de la roca original en partículas más pequeñas) o por procesos químicos intemperismo químico (comprende el ataque químico sobre el material de la roca, el principal agente en este tipo de intemperismo es el agua, porque actúa como solvente y casi todos los minerales son solubles en ésta). Ambos operan simultáneamente, aunque uno u otro predominan dependiendo de la naturaleza de la roca y el clima en particular.

Procesos de transportación de los sedimentos.

- Corrientes: generadas por olas, temperaturas anómalas, cambios de presión, viento o diferencias de densidades.
- Transporte de agua: la principal fuente de sedimentos son los ríos.

Transporte por viento: el material transportado por el viento puede ser de tres clases: 1) material extraterrestre, 2) material biológico originario de los continentes: 3) sólidos inorgánicos, incluyendo desechos volcánicos, originados de los continentes, puede adicionarse otra categoría que involucra a ésta investigación: los contaminantes hechos por el hombre.

- Transporte por hielo: el 20% del material del mar es aportado por los *glaciares de altas latitudes*.

Transporte por organismos: por la fauna que pertenece a éste medio ambiente, sin embargo su contribución es mínima comparada con las otras fuentes.

Después de que los sedimentos se han formado por efecto de intemperismo, y son transportados hasta donde se depositan, sufren procesos de DIAGÉNESIS. Estos procesos contemplan la formación de nuevos minerales, la modificación de minerales preexistentes, la disolución completa o parcial de los minerales, la movilización posdeposicional y la migración de los elementos.

La presente investigación pretende realizar un estudio de sedimentos de la zona costera. En la topografía de los océanos dicha zona se encuentra comprendida en la región de la plataforma continental.

Los sedimentos marinos pueden clasificarse de acuerdo con la profundidad a que se encuentran, en:

- Sedimentos litorales, los que se encuentran de 0-20m de profundidad
- Sedimentos neríticos, los que se encuentran de 20-200m de profundidad

- Sedimentos abisales, los que se encuentran de 200-2000m de profundidad

Esta es una clasificación genérica puesto que las condiciones de sedimentación, tales como la tasa de deposición, la influencia del material derivado de tierra, las condiciones biogeológicas locales y el estado físico-químico del agua adyacente y la interfase agua-sedimento, difieren en éstos medios ambientes marinos, de tal manera que a su vez de cada categoría surgen otras clasificaciones.(RILEY & CHESTER 1989).

Químicamente es necesario determinar que las rocas de las cuales derivaron los sedimentos están constituidas por minerales agrupados.

Un mineral es un compuesto o elemento sólido que se presenta naturalmente, tienen una composición definida y un arreglo interno de los átomos, iones o moléculas, conocido como estructuras cristalinas, lo que conforma las propiedades físicas y químicas únicas, incluyendo la tendencia a adoptar ciertas formas geométricas llamadas cristales. Se sabe que en la naturaleza existen más de 2000 tipos de minerales, sin embargo los elementos más abundantes de la corteza terrestre se presentan en la TABLA 2.1, así como el promedio de concentración de algunos elementos traza expresados en ppm.

TABLA 2.1 Concentración promedio de elementos mayores expresados como % de sus óxidos (*) y elementos traza más abundantes de la corteza terrestre en ppm (**).

ÓXIDO	% *
SiO ₂	61.9
TiO ₂	0.8
Al ₂ O ₃	15.6
Fe ₂ O ₃	6.47
MnO	0.1
MgO	3.1
CaO	5.7
Na ₂ O	3.1
K ₂ O	2.9
P ₂ O ₅	0.3
ELEMENTO	ppm **
Bario (Ba)	425
Estroncio(Sr)	375
Cromo (Cr)	88
Cobre (Cu)	35
Cobalto (Co)	19
Plomo (Pb)	15
Niquel (Ni)	45
Zinc (Zn)	69
Vanadio (V)	109

Fuente: CORNELIUS 1985.

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

La desembocadura del río Coatzacoalcos se encuentra en el litoral del Golfo de México en el estado de Veracruz (FIGURA 3.1) a los 18° 11' de latitud Norte y 94° 20' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

3.2 CARACTERÍSTICAS NATURALES

Según la distribución de las hojas que integran la carta de climas, pertenece al cuadrante 15Q-V. (GARCÍA 1988). El promedio de la temperatura anual en esta zona es de 25.7° C encontrando la temperatura más baja en enero con 22.2 °C y la más alta a mediados de junio hasta 28 °C

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García, el clima de la región es tropical lluvioso (caliente húmedo con lluvias en verano) y con precipitación invernal de 8.5 % en promedio de la total anual. La temporada de mayor precipitación se encuentra en verano y parte de otoño que son las épocas en que los ciclones tropicales afectan a México. El promedio de la precipitación anual es de 2780 mm . El aporte fluvial del río Coatzacoalcos desplaza un volumen anual de 18,381 millones de m³ y manifiesta un gasto medio anual equivalente a 556.29 m³/seg. Que puede ir desde 410m³/seg. En temporada de secas hasta valores de 2000 a 3000 m³/seg en temporada de lluvias. (Datos de la estación Hidrométrica Las Perlas citado por BAHENA 1999).

3.3 HIDROLOGÍA

El río Coatzacoalcos es uno de los ríos más caudalosos de la República Mexicana, su cuenca ocupa casi toda la vertiente Norte del Istmo de Tehuantepec. Nace en la Sierra Atravesada en el estado mexicano de Oaxaca y después de correr hacia el Oeste, tuerce hacia el Norte y luego hacia el Noreste para desembocar en la parte sur del Golfo de México. Sus principales afluentes son el río Jaltepec, que baja de la Sierra de los Mijes y que se le une por la margen izquierda y el río Uxpanapa, que nace en la vertiente Norte de la Sierra Atravesada a que se le une por su margen derecha antes de que desemboque. Sus márgenes son bajas y fácilmente inundables, tiene profundidades hasta de 15 m y es navegable hasta Santa Lucrecia que está situada a 222 Km de la desembocadura.

El río Coatzacoalcos arrastra una gran cantidad de aluviones que a causa de la escasa intensidad de mareas en el Golfo de México, quedan depositados en la desembocadura y forman una barrera que ha sido dragada para permitir que barcos de gran calado puedan atracar en los muelles de Coatzacoalcos.

3.4 MARCO GEOLÓGICO Y LITOLÓGIA

La zona de estudio está emplazada en la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos y el origen de los sedimentos aportados al área corresponden a la cuenca deltáica de Veracruz del Cenozoico, constituida por depósitos sedimentarios continentales. Diferentes tipos de rocas afloran en la cuenca del río Coatzacoalcos; al sur, calizas cretácicas, granitos

paleozóicos, limolitas y areniscas de diversas edades (ORTEGA 1992 citado por BAHENA 1999).

TABLA 3.1 Cronoestratigrafía y litología de la cuenca del río Coatzacoalcos.

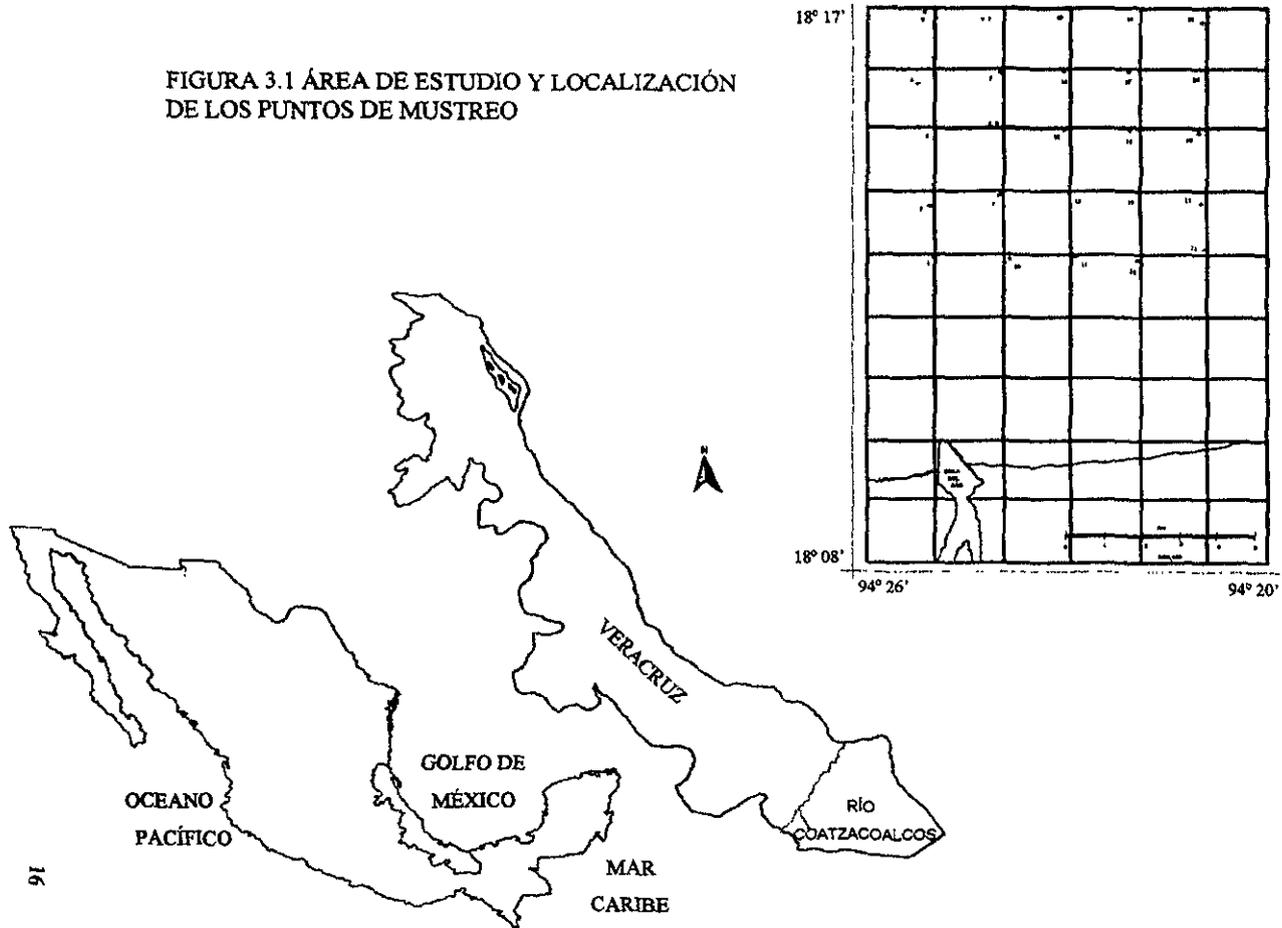
CUENCA	CRONOESTRATIGRAFÍA	TIPO DE ROCA	LITOLOGÍA
COATZACOALCOS	Cuatemario	Sedimentarias y volcanosedimentarias	Aluvial
	Mioceno	Sedimentarias y volcanosedimentarias	Arenisca
	Cuatemario	Sedimentarias y volcanosedimentarias	Palustre

3.5 INDUSTRIAS LOCALES EN LA CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS.

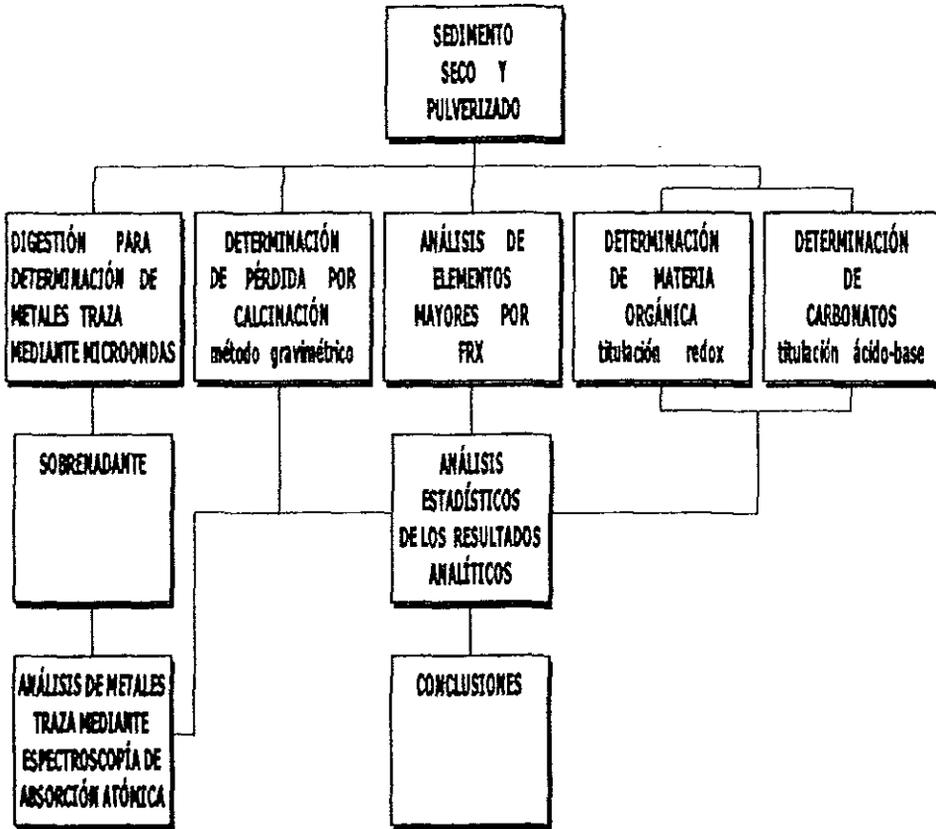
Los complejos petroquímicos se empezaron a establecer en el estado de Veracruz a principios de los años sesenta, aunado a ello se inició una etapa de crecimiento; integrado por un total de 65 plantas gigantes con capacidad de producción superior a los 15 millones de toneladas anuales de productos petroquímicos en la región.

La contaminación industrial ha hecho de Coatzacoalcos una de las zonas costeras más contaminadas del mundo, los municipios que lo rodean y afectan son: Minatitlán, Ixhuatlan del Sureste, y Huimanguillo. Los complejos industriales más importantes localizados en dicha zona son: el complejo industrial de PEMEX, el complejo Cangrejera, de Celanese, el complejo Morelos, las plantas de Fertimex y Azufrera Panamericana entre otras (TOLEDO 1988).

FIGURA 3.1 ÁREA DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUSTREO



METODOLOGÍA



4. METODOLOGÍA

4.1 TRABAJO DE CAMPO

La campaña oceanográfica IMPACTO I, se llevó a cabo del 11 al 16 de agosto de 1997, a bordo del buque "Justo Sierra".

El recorrido en el área de muestreo se realizó en cinco transectos, de cinco estaciones cada uno. (FIGURA 3.1)

Para la determinación de la batimetría (profundidad) de la zona, se utilizó la ecosonda del puente de mando. La ecosonda es un transmisor-receptor de ondas acoplado al barco en la parte más sumergida y de un aparato a bordo, que registra, por medio de una aguja los datos sobre un papel que gira en un tambor. Esta marcación como es continua, dibuja el relieve del fondo o los objetos que se encuentran entre la columna de agua y el mismo. Además lleva una escala por medio de la cual se obtiene la profundidad.

El posicionamiento de las estaciones se apoyó principalmente de navegación por satélite.

4.1.1 Muestreo

Las muestras de sedimento superficial se colectaron en 25 puntos de muestreo, en la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos utilizando una draga Smith Mc Intyre, teniendo cuidado de tomar sedimento del centro evitando tomar sedimento que estuviera en contacto con las paredes de la draga, evitando así extraer muestras alteradas. Las muestras de sedimento fueron

transferidas a bolsas de polietileno previamente etiquetada con el número de la estación y fecha, se almacenó a 4 °C hasta su análisis.

4.2 TRABAJO DE LABORATORIO

En el laboratorio, las muestras de sedimentos se secaron en cápsulas de porcelana a 55°C durante 48 horas, y fueron molidas en un vial de carburo de tungsteno con un equipo Spex 8000 Mixer/Mill, las muestras se guardan en bolsas de polietileno para los análisis posteriores (materia orgánica, carbonatos, elementos mayores y metales traza).

4.2.1 DETERMINACIÓN DE METALES TRAZA

EXTRACCIÓN

Para determinar la concentración de Cr, Ni, Zn, Cu, Ba, Pb, Co, V, y Sr por medio de espectrofotometría de absorción atómica, fue necesario extraer los metales de la fase sólida, para que dichas especies químicas se encuentren en solución, para ello se recurrió a la extracción por digestión con microondas, en ciclos establecidos por el sistema comercial CEM MDS 2000, ciclos que involucran condiciones de presión, temperatura y mezclas de ácidos. La metodología realizada se describe a continuación:

1. Se pesaron 5g de sedimento y se transfirió a vasos de teflón del Equipo de microondas (CEM 2000), se adicionaron 10 mL de ácido nítrico, se cerraron las bombas y se corrió el programa por 10min, a una presión de 120 PSI.
- 2 Se dejaron enfriar y se transfirieron a matraces de polietileno, para aforar a 25ml, se centrifugaron en tubos de Nalgene y transfirieron a frascos de polietileno, cerrados y etiquetados.

DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS TRAZA POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Las concentraciones de los metales se determinaron en un espectrofotómetro de Absorción Atómica por flama (SpectrAA-10 Plus Varian) de acuerdo con las condiciones de operación del equipo para análisis de cada elemento. TABLA 4.1

Los metales se leen en la primera longitud de onda que es la más sensible, determinándose la concentración característica y el rango de trabajo, si se requiere se adiciona supresor de ionización y si las muestras no entran en la curva de calibración se hacen diluciones.

Todas las muestras se hacen por duplicado, la curva de calibración generalmente se hace en 5 puntos, cada 5 o 10 muestras (dependiendo del metal) se revisó la sensibilidad del instrumento leyendo un estándar de recalibración.

TABLA 4.1 Condiciones de trabajo para Espectroscopía de Absorción Atómica en Flama.

ELEMENTO	Corriente de lámpara (mA)	Mezcla de gases	Longitud de onda (nm)	Abertura (nm)	Rango óptimo de trabajo	Sensibilidad mg/L para 0.2 Abs.	Intensidad relativa de lámpara
Cu	4	A-A	324.8	0.5	0.66-6.6ppm	1.5	100
Cd	4	A-A	228.8	0.5	0.22-2.2ppm	0.5	40
Co	7	A-A	240.7	0.2	1.1-11ppm	2.5	20
Ba	20	N-A	553.6	0.5	4.4-44ppm	10	100
Cr	7	A-A	357.9	0.2	1.1-11ppm	2.5	40
Sr*	10	N-A	460.7	0.5	0.88-8.8ppm	2	-
V**	20	N-A	318.5	0.2	17.6-176ppm	40	40
Ni***	4	A-A	232	0.2	1.76-17.6ppm	4	5
Zn***	5	N-A	213.9	1	0.176-1.76ppm	0.4	100

A-A: Flama de aire-acetileno

N-A: Flama de óxido nítrico-acetileno

* Requiere de KCl en 2000 ppm como supresor para eliminar interferencias

** Para eliminar interferencias se adicionó Al a 2000 ppm

*** Requieren corrector de fondo

Los estándares para la calibración del instrumento se preparan el día que se lee la curva a partir de una solución de 1000 ppm ó 10,000 ppm, preparada a partir de ampollitas de Merck para absorción atómica.

ESTANDARIZACIÓN DEL MÉTODO.

Para evaluar el método de la determinación de elementos traza por espectroscopía de absorción atómica en flama, se determinó sólo la precisión, digiriendo 10 veces una misma muestra.

Los resultados de la validación para cada elemento se aprecian en la TABLA 4.2

TABLA 4.2 Estandarización de espectroscopía de absorción atómica de flama.

Precisión del método de Absorción atómica de flama (concentraciones totales en ppm)

ELEMENTO	N	TRAZAS				
		Promedio (ppm)	Desv. Std.	C.V.	L.D.	L.C.
Ba	6	59.75	0.14	0.24	0.071	0.106
Cd	9	4.97	0.01	0.31	0.006	0.006
Co	9	27.37	0.08	0.29	0.065	0.021
Cu	7	24.91	0.06	0.25	0.012	0.042
Ni	9	144.31	2.31	1.59	0.010	0.025
Pb	5	131	1.23	0.41	0.021	0.135
Sr	7	105.37	5.24	4.97	0.002	0.019
V	7	99.55	0.32	0.32	0.140	0.202
Zn	9	104.56	0.42	0.4	0.005	0.006

N = Tamaño de la muestra
Desv. Std = desviación estándar
C.V. = coeficiente de varianza
L.D. = Límite de detección
L.C. = Límite de cuantificación

LÍMITES DE DETECCIÓN

El límite de detección se define como la concentración del analito que da una señal, x , significativamente diferente de la señal del blanco o de fondo x_B , sin embargo esta definición deja al analista la libertad para definir la frase significativamente diferente, es así que en las publicaciones de química analítica han definido esta diferencia de manera que sea una concentración de analito que produce una señal dos veces mayor que la desviación estándar de la señal de blanco.

El límite de detección en contraste con la sensibilidad, depende de la estabilidad del instrumento, variando por el tipo de matriz, solvente y de un instrumento a otro.

Se determinó la mínima concentración que puede ser detectada por el espectrómetro preparando un estándar (cercano al nivel del blanco), tomando como base la concentración característica (sensibilidad del equipo). Se hicieron 20 lecturas del estándar, intercalando los blancos de reactivo entre cada lectura, si hay lectura de absorbancia en los blancos, ésta se resta a las absorbancias del estándar.

Límite de detección = { (concentración del estándar \times 2 desviación estándar) / promedio }

TABLA 4.3 Límites de detección para el método de absorción atómica.

METAL	LÍMITE DE DETECCIÓN (ppm)	METAL	LÍMITE DE DETECCIÓN (ppm)
Cu	0.012	Pb	0.021
Ni	0.010	Zn	0.005
Co	0.065	Cd	0.006
Cr	0.028	V	0.140

4.2.2 DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MAYORES

Para determinar la concentración de los elementos mayores (Fe, Al, Si, Ti, Mn, Mg, P, Na, K y Ca) presentes en los sedimentos, éstos fueron sometidos a un análisis por Fluorescencia en rayos X

Preparación de la muestra para el análisis de elementos mayores por FRX.

La forma y el tamaño de las partículas son factores importantes, ya que determinan el grado de absorción o de dispersión del haz incidente. Los estándares y las muestras deben pulverizarse hasta el mismo grado o tamaño de malla, preferiblemente más finos que la malla 200. Las muestras pulverizadas se convierten en pastillas con el uso de una prensa metalúrgica (muestra prensada) o por fusión alcalina con tetraborato de litio el cual permite minimizar las interferencias de matriz. En este estudio se efectuó para este análisis el método de muestras prensadas.

Las muestras de sedimento se pulverizaron en cápsulas de porcelana, se pesó 3.6g de cada muestra y se homogeneizó con 0.4g de agente aglutinante, empleado con la finalidad de conformar pastillas homogéneas delgadas y bien prensadas.

Determinación de las concentraciones de elementos mayores por FRX.

Para la determinación de los elementos mayores. Las muestras se analizaron en un equipo SIEMENS SRS 3000 con un generador de rayos X de tubo de ánodo de rodio, con detectores de flujo y centelleo en donde se compararon contra una curva de calibración

TABLA 4.4 Exactitud del método de fluorescencia de rayos X

Metal	Precisión	Valor Real	Error Absoluto	Error Relativo
SiO ₂	50.7	50.46	0.24	0.47
Al ₂ O ₃	16.8	16.37	0.43	1.47
Fe ₂ O ₃	6.9	6.8	0.1	2.62
MnO	0.1	0.0098	0.002	2.04
MgO	2.9	3	-0.1	-3.33
CaO	1.4	1.37	0.03	2.18
Na ₂ O	3.6	3.83	-0.23	-6
K ₂ O	3.4	3.5	-0.1	-2.85
TiO ₂	0.72	0.751	-0.031	-4.12
P ₂ O ₅	0.15	0.16	-1	-6.25

TABLA 4.5 Precisión del método de fluorescencia de rayos X.

Metal	Precisión	Desviación Estándar	Lím.de Confianza (95%)
SiO ₂	50.7	0.42	0.27
Al ₂ O ₃	6.9	0.03	0.02
MnO	0.1	0.005	0.003
MgO	2.9	0.04	0.02
CaO	1.4	0.01	0.01
Na ₂ O	3.6	0.4	0.26
K ₂ O	3.4	0.02	0.01
TiO ₂	0.72	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.15	0.01	0.01

TABLA 4.6 Límites de Detección en el método de fluorescencia de rayos X.

METAL	LÍMITE DE DETECCIÓN (ppm)
SiO ₂	7.1
Al ₂ O ₃	2.1
Fe ₂ O ₃	1.6
MnO	0.03
MgO	0.4
CaO	0.44
Na ₂ O	1.2
K ₂ O	0.5
TiO ₂	0.4
P ₂ O ₅	0.08

La precisión, exactitud y límites de detección fueron determinados en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación (USAI).

4 2 3 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

El material orgánico fue determinado en este estudio porque es un parámetro que nos permite dilucidar el papel que juega la fracción orgánica en el transporte, depositación y retención de elementos traza en los sedimentos.

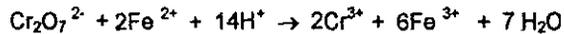
Según los fines de análisis y características de las muestras las determinaciones de materia orgánica se pueden hacer seleccionando alguna de las tres técnicas (PAEZ-OSUNA 1984)

- En sedimentos no arcillosos el contenido orgánico total se puede estimar mediante Pérdida por ignición.
- Para sedimentos con condiciones redox similares la técnica de titulación permite medir el C-orgánico sobre todo cuando los sedimentos pertenecen todos a una misma área y están compuestos del mismo tipo de materiales orgánicos.
- Para sedimentos arcillosos con variables características redox, el analizador de carbono resulta ser el método de referencia más confiable.

De acuerdo a los lineamientos anteriores se decidió realizar la determinación por el método de titulación redox.

Fundamento de la técnica: utiliza calentamiento exotérmico y oxidación con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 concentrado, el exceso de dicromato de potasio es titulado con $FeSO_4 \cdot NH_4$ 0.5 N. Este método diferencia materia húmica de fuentes externas de carbono orgánico tales como el grafito y el carbón.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Interferencias:

- El ión cloruro (Cl^-) soluble, interfiere en la oxidación de la materia orgánica con el dicromato y origina un error positivo, (Walkley 1947 y Okunda 1964) propusieron el uso de H_3PO_4 para volatilizar la mayoría de los iones cloruro y reducir los halógenos restantes.
- Las interferencias por ion férrico, se eliminan con la adición de NaF, también con Ag_2SO_4 en la mezcla de digestión (Loring y Rantana 1977).
- Los óxidos de manganeso se eliminan con ácido fosfórico.

Procedimiento experimental:

1. Pesar 0.5g de sedimento seco y molido (dependiendo de la concentración de materia orgánica presente).
2. Colocar en un matraz ERM de 500mL.
3. Adicionar 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N y mezclar.

4. Agregar 20 mL de H_2SO_4 conc. Y mezclar por un minuto (para que el sedimento entre en contacto con los reactivos).
5. Dejar en reposo 30 min.
6. Diluir con agua destilada a un volúmen de 200mL.
- 7 Adicionar 10 mL de H_3PO_4 conc, 0.2g de NaF y 15 gotas de difenilamina
- 8 Titular con sulfato ferroso (el color cambia de café verdoso al azul oscuro y en el punto final cambia a verde brillante).

Para evaluar la precisión del método de titulación óxido-reducción de la determinación de materia orgánica, se efectuó 10 veces el mismo procedimiento a la muestra de sedimento de la estación 24

TABLA 4.7 Concentración de materia orgánica (%) del sedimento de la estación 24 empleado para estimar la precisión del método analítico.

Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% M.O.	0.48	0.69	0.35	0.38	0.38	0.41	0.09	0.70	0.32	0.55

TABLA 4.8 Precisión del método de titulación para la determinación de materia orgánica.

PRECISIÓN % M.O.	
N	10
PROMEDIO	0.51%
Desv. Std.	0.062
Coefficiente de variación	0.050

Para determinar la exactitud de éste método analítico se hicieron 10 réplicas determinando carbón orgánico en la glucosa. Se pesó 0.01g de glucosa y se realizó la determinación, teniendo precaución de que la glucosa se haya secado en la estufa a 50°C durante mínimo 2 horas (con el propósito de eliminar la humedad retenida por la glucosa de la humedad del ambiente, garantizando así que la muestra pesada posteriormente corresponda sólo a glucosa), después se transfirió al ambiente de un desecador hasta que se atemperizó la glucosa y posteriormente se pesó para ejecutar la determinación.

TABLA 4.9 Exactitud del método de titulación para la determinación de materia orgánica.

EXACTITUD %M.O.	
n	10
PROMEDIO	30.90 %
Desv.Std.	15.708
Coefficiente de variación	12.795

4.2.4 DETERMINACIÓN DE CARBONATOS

Existen varios métodos para determinar carbonatos en sedimentos, los más utilizados son el gasométrico y el titulométrico, ambos se fundamentan en la

reacción que se lleva a cabo al hacer reaccionar los carbonatos presentes en la muestra de sedimento con un ácido.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



La cantidad de muestra que se usa para el análisis de CO_3 está en función del contenido de carbonatos estimado previamente según la zona de donde provengan los sedimentos, el criterio de selección se representa en la TABLA 4.10

Procedimiento experimental:

1. Pesar de 0.25 - 2 gramos de muestra molida a 100 mallas

TABLA 4.10 Criterio de elección de cantidad de muestra empleada para el análisis de carbonatos por el método de titulación ácido-base.

Si pérdida por calcinación es	Peso de la muestra
Menor a 10%	2g
10-20 %	1g
20-40%	0.5g
mayor a 40%	0.25g

2.- Pasar a un Erlenmeyer de 250mL y agregar con pipeta volumétrica 50mL de HCl.

3.- Agitar para mojar todas las partículas de la muestra

4.- Calentar a ebullición durante 2min y se deja enfriar a temperatura ambiente

5.- Titular con solución valorada de sosa 0.3N el exceso de ácido, usando para determinar el punto final (pH=7) un potenciómetro. Se estandariza el método usando CaCO_3 puro y seco a 110°C .

Para evaluar la precisión del método de titulación ácido-base por retroceso, para determinar carbonatos en forma de CaCO_3 se efectuó el mismo procedimiento a la muestra 25 10 veces.

TABLA 4.11 % de carbonatos en el sedimento de la estación 25, empleado para estimar la precisión del método analítico.

Réplica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% CaCO_3	2.75	3.09	3.02	3.03	2.96	3.10	2.82	3.16	2.82	2.86

TABLA 4.12 Precisión del método de titulación para la determinación de carbonatos.

N	10
PROMEDIO	2.793
DESV.EST.	0.0476
Intervalo de confianza (99%)	0.038835

4.2.5 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN.

Esta técnica comprende la medición de la pérdida de peso de la muestra después de realizar una combustión seca del material orgánico; el procedimiento analítico consiste en llevar a los sedimentos a 900° C durante una hora, con la finalidad de obtener una medida del contenido de material orgánico con una precisión comparable a otros métodos como el analizador de carbono, el cual mide el carbono total como CO₂ por cromatografía de gases.

1. Los sedimentos pulverizados, homogeneizados y secados a peso constante fueron introducidos a una mufla a 900°C durante una hora.
2. Se enfriaron en un desecador para impedir que la determinación se afectara por el efecto normal de que el material calcinado retubiera humedad del medio ambiente.
3. El material calcinado fue pesado hasta medición constante.
4. La diferencia de peso se empleó para calcular el porcentaje de material perdido por calcinación.

Para evaluar la precisión del método de pérdida por calcinación, se aplicó el mismo tratamiento a la muestra de sedimento de la estación 22, 10 veces. La exactitud no se evaluó ya que no hay una muestra certificada con cantidad de pérdida por calcinación reportada.

TABLA 4.13 Precisión de la determinación de pérdida por calcinación

N	10
Promedio	2.580
Desv. Std	0.312
Intervalo de confianza al 99%	0.254

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

De las determinaciones analíticas a las que fueron sometidos los sedimentos del presente estudio, se han generado grandes cantidades de datos, por tal razón fue necesario aplicar diversas técnicas estadísticas para obtener una aproximación sistemática y objetiva del problema, y por consiguiente faciliten la interpretación de los resultados analíticos. En los siguientes apartados se plasmó el fundamento de cada técnica.

4.3.1 ANÁLISIS CLUSTER.

Análisis Cluster es el nombre de la técnica multivariada de grupos, cuyo objetivo principal es desarrollar subgrupos de objetos (individuos, respuestas, productos u otras entidades) basándose en las características que poseen. Específicamente el objetivo es clasificar una muestra de entidades dentro de un pequeño número de grupos mutuamente excluyentes basándose en las similitudes entre las entidades.

Los objetos analizados fueron los 25 puntos de muestreo de sedimento superficial de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos, cada estación descrita por 27 atributos (parámetros estudiados).

El dendograma resumirá $25 \times 27 = 675$ valores en la matriz de datos que ponen de manifiesto las similitudes y disimilitudes entre los objetos (estaciones de muestreo).

4.3.2 ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES.

El análisis de discriminantes es una técnica estadística apropiada donde la variable dependiente es categórica (nominal o no métrica) y las variables independientes son métricas. El análisis de discriminantes es apto para manejar dos grupos o grupos múltiples (tres o más), cuando se trata de éste último caso, la técnica se conoce como análisis múltiple de discriminantes. La función discriminante representa el peso total real de dos o más variables independientes. La combinación lineal del análisis discriminante puede expresarse de la siguiente forma:

$$Z = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + \dots + W_nX_n$$

Donde:

Z = Discriminante resultante

W_i = Peso discriminante de la variable i

X_i = Variable independiente i

El análisis discriminante es la técnica estadística apropiada para probar la hipótesis de grupo, de tal manera que es posible establecer las similitudes de las variables independientes.

4.3.3 ANÁLISIS DE FACTORES.

Análisis de factores es el nombre genérico que se le da al método estadístico multivariado que tiene como objetivo principal definir, subrayar y estructurar los datos de la matriz de correlaciones, ya que el análisis de correlaciones de un gran número de variables por definir presenta gran complejidad, con el análisis de factores, el analista puede identificar primero en dimensiones separadas la estructura y determinar una explicación más amplia de cada variable en cada dimensión. El análisis de factores es una técnica que tiene la facultad de servir como una técnica exploratoria o bien de servir como una perspectiva confirmatoria.

Los análisis de correlaciones, Cluster, análisis de factores y análisis de discriminantes se desarrollaron en el software estadístico STATISTICA. Los detalles de éstos métodos se pueden estudiar en HAIR et al 1995.

4.4 FACTOR DE CONTAMINACIÓN

El enriquecimiento antropogénico de metales en sedimentos puede ser descrito por el factor de contaminación CF definido según GONCALVES (1992) como:

$$CF = CM / CB$$

Donde CM es la concentración de metal en la zona de estudio y CB es la concentración del metal en niveles naturales (es decir en zonas consideradas como no contaminadas). El factor de contaminación refleja el grado de

contaminación de cada metal. Si $CF < 1$, el contenido del metal refleja el origen natural y la carencia de contaminación; de lo contrario si $CF > 1$, indica enriquecimiento por origen humano.

4.5 INDICE DE CONTAMINACIÓN POR METALES (MPI)

Además del factor de contaminación, puede calcularse el Índice de Contaminación por Metales. MPI (por sus siglas en inglés: Metal Pollution Index). Este índice define la suma lineal del peso de los factores de contaminación, tomando en consideración las diferencias de toxicidad de los metales determinados (GONGALVES et al. 1992).

El peso está basado en la toxicidad relativa de los diferentes metales, así el peso de 1 se asigna al Zn, elemento de menor toxicidad y los otros pesos son ajustados proporcionalmente a la toxicidad de cada metal. Si el $MPI < 1$, la zona debe clasificarse como no contaminada, según los cinco metales pesados considerados.

El *MPI* está definido según GONCALVES (1992) como:

$$MPI = \sum i (W_i / W_t) CFi$$

Donde: *MPI* es el índice de contaminación por metales,

CFi es el factor de contaminación del metal *i*,

W_i es el peso del metal *i* y

$W_t = \sum i W_i = W_{Cd} + W_{Cr} + W_{Pb} + W_{Cu} + W_{Zn}$.

TABLA 4 14 Pesos calculados para el *MPI*

METAL	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE (EPA, 1976)	PESO (<i>W_i</i>)
Cd	10	500
Cr	50	100
Pb	50	100
Cu	1000	5
Zn	5000	1

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE BATIMETRÍA

La batimetría indica que la profundidad de la zona sigue la tendencia natural de aumentar en función directa con el aumento de la distancia hacia la Tierra, (el mínimo de profundidad registrada en la zona de muestreo fue 27m, el máximo fue 40m), sin embargo, se distingue que en la región ubicada entre las estaciones 9, 8 y 13 el aumento de profundidad es más inmediato que en el resto del área de muestreo, esto probablemente se debe a que estas estaciones se encuentran en la zona donde inciden las corrientes de descarga de la desembocadura del río Coatzacoalcos. A ésta región le llamaremos depresión marina.

5.2 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA,

(CARACTERÍSTICAS TEXTURALES DE LOS SEDIMENTOS).

De acuerdo al patrón de distribución del tamaño de grano: % de arenas, % de limos y % de arcillas de los sedimentos de la zona de estudio, se observa una alta heterogeneidad del material sedimentario. De tal manera es posible establecer que la región donde los sedimentos presentan menor proporción de fracción arenosa y mayor proporción de la fracción arcillosa y limosa corresponde a la zona definida como depresión marina y viceversa, en la región más

próxima a la desembocadura predomina el sedimento con mayor fracción arenosa y menor fracción limosa y arcillosa. Todo parece indicar que la presencia de la depresión marina, y las consecuentes diferencias de condiciones de menor energía, son las causantes principales de las variantes de distribución del tamaño de partícula de los sedimentos en la zona de muestreo.

Uno de los factores más importantes que controlan la distribución de los metales traza naturales en los sedimentos es el tamaño de grano. Como resultado no es conveniente hacer comparaciones directas de concentraciones de metales traza en sedimentos sin la compensación por los efectos del tamaño de grano (LORING, 1991), por esta razón, en la TABLA 5.1 se presentan los valores promedio de textura de los sedimentos superficiales de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos, así como la clasificación propuesta de los mismos realizada con la finalidad de efectuar un análisis más adecuado.

La clasificación utilizada consiste en agrupar las muestras como: sedimentos de grano FINO o sedimentos de grano GRUESO, no se tomaron las clasificaciones texturales predeterminadas en la tabla debido a que para fines de análisis estadísticos se requiere de mayor número de muestras.

TABLA 5.1 Valores de textura de los sedimentos y clasificación física de éstos.

MUESTRA	GRAVA %	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	SEDIMENTO DE GRANO
1	1.03	95.57	1.3	2.1	Grueso
2	0.06	46.28	38.83	14.83	Fino
3	4.55	46.97	31.93	16.55	Grueso
4	0	35.17	51.07	13.77	Fino
5	0.05	42.57	46.81	10.47	Fino
6	0	36.21	50.45	13.34	Fino
7	0.18	29.63	46.75	23.45	Fino
8	0.16	8.21	43.33	48.3	Fino
9	0.01	21.94	63.6	14.45	Fino
10	0.19	83	27.34	9.47	Grueso
11	0.07	17.18	69.72	13.04	Fino
12	0	14.77	67.81	17.42	Fino
13	0.03	15.6	61.93	22.44	Fino
14	0.1	97.41	0.98	1.51	Grueso
5	0.03	45.57	42.46	11.95	Fino
16	0.16	66.85	21.68	11.31	Grueso
17	0.04	83.53	9.88	6.75	Grueso
18	0.21	47.78	39.72	12.3	Fino
19	0.12	46.87	33.08	19.92	Fino
20	0.01	11.23	72.84	15.91	Fino
21	0	13.63	78.96	7.41	Fino
22	0.22	97.12	1.53	1.13	Grueso
23	0.06	31.12	57.5	11.33	Fino
24	0.03	73.58	14.64	11.77	Grueso
25	0.03	92.7	3.52	3.74	Grueso

5.3 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE CARBONATOS

En el análisis de esta fracción se determinaron los carbonatos que se expresan como por ciento en peso de carbonato de calcio, esto, debido a que es el componente que se encuentra en mayor cantidad en esta fracción.

En toda la zona de muestreo el nivel de carbonatos es muy bajo, el máximo valor determinado fue de 8.99% en la estación 6 ubicada en la zona más distante de la desemboca del río, además el patrón de distribución de carbonatos indica que éstos no se registran en la fracción de sedimento de grano grueso, es decir en las inmediaciones de la región costera lo cual nos hace pensar que el aporte fluvial del río diluye a los carbonatos por lo tanto no permite la saturación y la consecuente precipitación de éstos en el área de estudio.

5.4 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

La materia orgánica en sedimentos puede tener origen terrígeno o puede ser derivada de la productividad biológica en el ambiente marino. La alta productividad biológica induce el flujo de la materia orgánica al fondo marino (ZHANG 1988).

La materia orgánica en sedimentos superficiales mar adentro parece ser de origen biogénico. El índice de materia orgánica es bajo en sedimentos cercanos a la costa porque existe un elevado flujo de fracción detrítica (intemperisada) comparado con zonas más profundas donde no existe mucho sedimento terrígeno.

La materia orgánica en el área de estudio presenta valores entre 0.03% y 2.25%. Sigue un patrón de distribución semejante al de las arcillas, esto es; la concentración mayor de materia orgánica (2.25%) se detectó en los

sedimentos ubicados en la zona de la depresión marina de menor energía (estación 8). Y la concentración menor de materia orgánica se registró en la estación 25, que es la estación más distante de la desembocadura del río, lo cual sugiere que la materia orgánica detectada en la zona de muestreo es más de origen terrígeno que de origen biogénico, esto es: que la materia orgánica detectada es la que está siendo aportada por las descargas del río más que por la originada por la actividad biológica.

También en los sedimentos muestreados en la región más cercana a la costa el índice de materia orgánica es bajo (de 0.4% a 0.7%) debido a que en esta región la dinámica de energía de corrientes impide la sedimentación de la materia orgánica de tamaño de partícula fino, en esta área los sedimentos obtenidos son de grano grueso (gravas y arenas).

5.5 PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE METALES

La presencia de metales pesados en sedimentos del ambiente marino puede ser el resultado de diferentes procesos:

1. Descargas naturales asociadas a la litología del área terrestre que afectan una zona determinada.
2. Descargas antropogénicas (agua de desecho urbanas e industriales).
3. Producidos por reacciones químicas que se llevan a cabo en las diferentes zonas.

La presencia de metales pesados está asociada con la materia orgánica presente en los sedimentos, (Susuki et al 1979, Rubinstein et al. 1983, Duzzin et al 1988, Martincic et al 1990 citados por Soares et al 1999) han estudiado la alta correlación entre la concentración de metal y el contenido de materia orgánica en los sedimentos y han determinado que la razón principal de dicha asociación es la capacidad que tiene la materia orgánica para adsorber a los metales, esto debido a que se trata de partículas de grano fino con suficiente área superficial de contacto que permite dicho proceso.

En las TABLAS 5.2 y 5.3 se presentan los valores de las concentraciones promedio de metales traza y elementos mayores respectivamente determinados en el presente estudio en los sedimentos superficiales de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos

En el presente estudio las concentraciones de metales como el Cu, Ni, Cr y Zn presentan un patrón de distribución con las mismas tendencias que el patrón de distribución de la materia orgánica, es decir, las concentraciones más elevadas de Cu, Ni, Cr y Zn son. 29.9, 30, 109.89 y 149.85 ppm respectivamente, se encuentran localizadas en la zona de mayor profundidad y de baja energía (estación 8) sólo el Cr presenta la mayor concentración (109.8 ppm) en la estación 1, esto refleja que si bien se trata de la estación más cercana a la desembocadura del río, podemos inferir que los efluentes vertidos aportan estas concentraciones elevadas, éste elemento está particularmente asociado a

TABLA 5.2 CONCENTRACIONES PROMEDIO DE METALES TRAZA TOTALES EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA ZONA COSTERA INMEDIATA AL RÍO COATZACOALCOS

ESTACIÓN	CROMO CONC(ppm)	COBALTO CONC(ppm)	COBRE CONC(ppm)	NIQUEL CONC(ppm)	ZINC CONC(ppm)	BARIO CONC(ppm)	VANADIO CONC(ppm)	PLOMO CONC(ppm)	ESTRÓNCIO CONC(ppm)
1	109.89	24.98	5.00	34.97	59.94	89.90	199.80	14.99	189.83
2	79.85	29.87	14.93	29.87	119.47	139.39	199.12	29.87	109.52
3	64.90	34.94	14.98	19.97	89.88	89.88	199.88	39.94	149.76
3'	44.95	19.98	4.99	44.95	59.93	199.76	99.88	24.97	0.00
4	69.50	29.79	14.89	19.86	89.36	148.93	198.57	39.71	188.76
5	64.95	29.98	14.99	19.98	89.93	109.91	199.84	39.97	189.85
6	64.79	29.90	9.97	19.94	89.71	119.62	199.36	39.87	199.36
7	64.63	29.83	14.81	19.88	89.48	149.14	198.85	39.77	149.14
8	64.94	34.97	29.97	29.97	149.85	99.90	349.85	44.98	99.90
9	69.90	29.85	14.98	19.97	119.81	129.79	249.80	39.94	139.78
10	49.84	29.86	9.99	14.98	89.89	149.82	199.76	39.95	129.84
11	64.95	29.98	14.99	19.98	119.90	179.88	249.80	39.97	189.91
12	59.48	29.74	14.87	19.83	118.95	158.60	247.82	39.85	128.87
13	49.80	29.88	14.94	14.94	89.64	159.36	249.00	39.84	129.48
14	49.84	29.90	4.98	4.98	89.71	129.59	348.88	39.87	79.74
15	59.88	29.94	9.98	19.96	89.82	118.78	249.50	39.92	189.62
16	44.76	29.84	9.95	14.92	89.52	139.25	248.66	39.79	159.14
17	39.83	24.80	4.98	14.94	59.75	129.48	199.16	24.90	109.64
18	54.93	34.96	9.99	14.98	89.89	229.72	249.70	39.95	199.76
19	44.99	34.99	15.00	15.00	119.98	189.96	249.95	54.99	109.98
20	54.85	34.90	14.96	19.94	89.75	219.39	249.30	59.83	169.53
21	54.92	34.95	9.99	14.98	89.87	169.76	249.85	44.94	159.78
22	39.86	34.87	9.98	9.96	89.68	159.43	448.39	34.87	229.17
23	44.91	29.84	14.87	19.86	89.82	219.56	249.50	29.94	149.70
24	44.73	29.82	9.94	14.91	89.48	159.05	248.51	39.76	149.11
25	34.33	29.42	4.90	9.81	89.27	147.12	198.16	34.33	107.89

PROMEDIO	58.93	30.47	12.08	19.36	94.28	151.78	239.54	38.33	141.81
DESVESTD	15.32	3.56	5.32	8.16	20.22	37.51	64.73	8.80	46.25
MAX	109.89	34.99	29.97	44.95	149.85	229.72	448.39	59.83	229.17
MIN	34.33	19.98	4.90	4.98	59.75	89.86	99.88	14.99	0.00

TABLA 5.3 CONCENTRACIONES PROMEDIO DE ELEMENTOS MAYORES EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA ZONA COSTERA INMEDIATA AL RÍO COATZACOALCOS

ESTACION	%SiO2	%Al2O3	%Fe2O3	%MnO	%MgO	%CaO	%Ni2O	%K2O	%TiO2	%P2O5	%PPC
1	78.24	3.90	4.83	0.08	1.49	4.06	0.62	0.66	0.58	0.10	4.80
2	56.37	14.80	5.42	0.07	2.53	4.53	3.26	1.96	0.88	0.18	7.99
3	56.80	14.52	5.78	0.13	2.43	3.11	3.19	1.82	0.84	0.18	8.19
4	55.09	13.32	4.87	0.06	2.30	6.00	2.96	1.83	0.87	0.18	6.60
5	54.83	13.00	4.71	0.06	2.28	6.61	2.68	1.86	0.85	0.15	6.06
6	52.98	13.02	4.83	0.08	2.40	6.74	2.79	1.78	0.86	0.17	6.37
7	53.01	13.73	5.11	0.06	2.38	4.54	2.55	1.84	0.87	0.15	9.09
8	45.81	16.20	5.78	0.07	2.63	3.58	2.44	1.87	0.76	0.17	13.58
9	53.57	13.50	4.78	0.06	2.19	4.82	2.48	1.83	0.79	0.18	7.32
10	55.98	12.80	4.38	0.06	2.02	3.20	2.55	1.96	0.84	0.14	5.85
11	55.46	13.20	4.50	0.06	1.94	2.99	2.35	1.82	0.78	0.14	6.62
12	51.96	14.00	4.65	0.06	2.16	3.84	2.34	1.85	0.78	0.15	7.45
13	52.41	13.68	4.46	0.06	2.06	3.55	2.48	1.80	0.77	0.15	6.55
14	66.92	4.96	4.78	0.10	1.99	1.28	1.08	1.35	2.29	0.07	2.68
15	46.55	11.82	4.58	0.06	2.27	5.77	2.82	1.61	0.81	0.14	7.40
16	49.71	11.51	4.80	0.06	2.30	4.82	2.37	1.65	0.85	0.14	8.20
17	53.25	9.51	4.59	0.07	2.10	2.98	2.23	1.66	1.06	0.13	4.32
18	48.93	12.34	4.74	0.06	2.10	3.77	2.46	1.71	0.78	0.14	8.38
19	49.61	13.80	4.35	0.05	2.02	1.73	2.37	1.89	0.72	0.15	6.34
20	49.87	12.39	4.16	0.05	1.94	2.82	2.39	1.88	0.72	0.15	6.26
21	51.70	10.80	3.83	0.05	1.74	2.87	2.55	1.69	0.78	0.13	4.78
22	61.19	6.31	4.89	0.09	1.83	2.72	1.14	0.94	1.18	0.12	1.91
23	46.72	11.67	4.15	0.06	1.76	3.04	2.58	1.72	0.66	0.24	5.69
24	47.32	11.29	4.56	0.06	2.17	3.20	2.00	1.69	0.84	0.14	4.96
25	60.38	6.33	3.73	0.06	1.41	1.29	1.24	1.40	0.65	0.06	3.31

PROMEDIO	54.34	11.70	4.66	0.07	2.09	3.74	2.32	1.68	0.87	0.14	6.50
DESYSTD	6.89227262	3.15386738	0.48694412	0.01816151	0.30915115	1.4537322	0.84603188	0.30767065	0.31941933	0.03372749	2.37574086
MAX	78.24	16.20	5.78	0.13	2.63	6.74	3.26	1.96	2.29	0.24	13.58
MIN	45.81	3.90	3.73	0.05	1.41	1.28	0.82	0.66	0.58	0.06	1.91

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

los efluentes domésticos, por los materiales vertidos directamente y/ o por la corrosión producida dentro de la red de suministro de agua y alcantarillado.

Comparar los niveles de concentración de metales entre regiones costeras diferentes plantea muchas dificultades, debido entre otros factores a las diferencias en los regímenes hidrológicos, litológicos y consideraciones analíticas y de muestreo, sin embargo tales comparaciones permiten establecer o dar una idea del grado de contaminación de un sistema acuático en particular. En la TABLA 5.4 se muestran valores de abundancia de algunos metales traza y mayores de algunas zonas costeras contaminadas, de estudios anteriores en la parte baja del río y de los valores máximos detectados en el presente estudio. TABLA 5.4 Valores reportados de la abundancia de algunos elementos traza y mayores, en sedimentos de zonas costeras contaminadas.

ELEMENTO	Cd Ppm	Cu ppm	Cr ppm	Ni Ppm	Pb ppm	Zn Ppm	AL2O3 %	Fe2O3 %	MnO %	TiO2 %
REFERENCIA										
□ NATURAL EL JICARO*	2.49	29.8	63.7	34.8	9.98	120	17	6.36	0.07	0.99
□ NATURAL UXPANAPA*	2.49	19.9	66.5	34.8	9.99	99.6	13	5	0.05	0.9
OSUNA**	0.09	1.46	1.46	1.07	2.29	3.99	NR	NR	NR	NR
ZONA CONTAMINADA***	0.48	35	110	34	43	140	NR	NR	NR	NR
ESTE ESTUDIO	ND	29.9	110	44.9	59.8	150	17.4	6.22	0.13	2.62

ND: NO DETECTADO
NR NO REPORTADO
*MUESTREO AGOSTO 1997 ESTUDIO DE BAHENA 1999
** OSUNA 1989
*** O'CONNOR 1992 CHEM.ECOL.

El Cr, Ni, Zn, V y Pb presentan concentraciones que sobrepasan los valores reportados de la abundancia de éstos en estudios anteriores en la parte baja del río Coatzacoalcos (El Júcaro y Uxpanapa) y en valores reportados de zonas contaminadas en todos costeros.

ELEMENTOS MAYORES

El estudio de elementos mayores permite evaluar la matriz que constituye a los sedimentos y a través de su composición el posible origen de éstos. En la TABLA 5.3 se presentan los valores obtenidos de éstos elementos. El aluminio se toma generalmente como un elemento indicador de los aportes terrígenos, en el área de estudio se observa su presencia en un intervalo que va desde 3.9 a 18%, en las estaciones de muestreo donde se registraron los valores más bajos se tiene la congruencia de que se registraron los valores más altos de SiO₂.

La sílice puede tener su origen en los aluminosilicatos de origen terrígeno o bien a los residuos de esqueletos silíceos producidos por los organismos. Los valores de sílice observados, van de 45.81 a 78.24%, los valores más altos de SiO₂ corresponden a los valores de Al, por lo que su origen podría ser de tipo biogénico.

El Ti puede estar asociado al Fe en la ilmenina (FeTiO₃) o bien a las arcillas de Al, ambos casos sugieren un origen terrígeno.

El Fe en los sedimentos puede ser de origen terrígeno o autigénico, las concentraciones observadas de éste elemento van de 3.73 a 5.78% y su correlación con el Al sugiere un origen terrígeno.

5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tomando en cuenta todos los parámetros estudiados se llevo a cabo un análisis de correlación, por medio de éste fue posible identificar la tendencia general de asociación entre los parámetros.

5.6.1 MATRIZ DE CORRELACION Y CLUSTER.

Los resultados del análisis de la matriz de correlaciones (FIGURA 5.1) y el dendograma de todos los datos (FIGURA 5.2) reflejan la existencia de seis grupos geoquímicos en el área de estudio:

El primer grupo está conformado por el Ti, Fe, Si, Mn, V y % de arenas, parámetros que presentan una correlación muy grande y sugieren un origen común (origen terrígeno).

El segundo grupo está formado por : P, Na, K, Al, Zn, Cu, % de M.O. limos y arcillas, en este grupo se presentan elementos indicativos de contribución detrítica (Al, Na y P), pero simultáneamente se registran elementos traza distintivos de actividades antrópicas (Zn y Cu), la presencia de éstos últimos se explica al observar que en este mismo grupo se encuentran correlacionados también el % de M. O. limos y arcillas, que como se explicó

FIGURA 5.1 Matriz de correlaciones de los parámetros estudiados en sedimentos superficiales de la zona costera inmediata a la desembocadura del río Costasacalco.

	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Ba	V	Pb	Br	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%MnO	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O	%TiO ₂	%P ₂ O ₅	%PPC	%M.O.	%CaCO ₃	PROF	MARCILLAS	MARENAS	MORAVA					
Cr	1																														
Co	-0.26	1																													
Cu	0.15	0.48	1																												
Ni	0.84	-0.18	0.46	1																											
Zn	0.01	0.45	0.75	0.24	1																										
Ba	-0.40	0.35	-0.01	-0.31	0.03	1																									
V	-0.31	0.45	0.17	-0.31	0.30	0.11	1																								
Pb	-0.36	0.72	0.43	-0.29	0.46	0.37	0.15	1																							
Br	0.12	0.20	-0.14	0.04	-0.38	0.10	0.00	-0.02	1																						
%SiO ₂	0.27	-0.62	-0.45	0.03	-0.20	-0.02	0.13	-0.44	-0.03	1																					
%Al ₂ O ₃	0.00	0.20	0.71	0.29	0.63	0.23	-0.16	0.47	-0.00	-0.34	1																				
%Fe ₂ O ₃	0.22	-0.20	0.30	0.30	0.36	-0.06	0.28	-0.10	-0.04	0.45	0.43	1																			
%MnO	0.10	-0.32	-0.30	-0.12	-0.15	-0.27	0.55	-0.40	-0.04	0.71	-0.43	0.57	1																		
%MgO	0.16	0.28	0.53	0.31	0.31	-0.41	-0.16	0.20	0.05	-0.77	0.41	-0.03	-0.38	1																	
%CaO	0.22	0.22	0.15	0.17	-0.08	-0.43	-0.25	0.00	0.15	-0.70	-0.16	-0.58	-0.43	0.76	1																
%Na ₂ O	0.01	0.17	0.50	0.23	0.36	0.16	-0.36	0.37	0.05	-0.52	0.85	0.15	-0.56	0.57	0.15	1															
%K ₂ O	-0.23	0.03	0.44	-0.01	0.49	0.34	-0.23	0.44	-0.28	-0.18	0.89	0.40	-0.30	0.12	-0.40	0.77	1														
%TiO ₂	-0.23	-0.14	-0.33	-0.51	-0.09	-0.06	0.46	-0.02	-0.25	0.44	-0.29	0.38	0.00	-0.29	-0.36	-0.32	-0.02	1													
%P ₂ O ₅	0.08	0.20	0.54	0.41	0.31	0.23	-0.14	0.15	0.18	-0.55	0.83	0.05	-0.48	0.50	0.27	0.89	0.40	-0.46	1												
%PPC	0.28	0.33	0.44	0.30	0.19	-0.40	-0.23	0.14	-0.02	-0.78	0.07	-0.44	-0.50	0.84	0.94	0.27	-0.21	-0.44	0.38	1											
%M.O.	0.30	0.20	0.83	0.85	0.70	-0.28	0.07	0.19	-0.31	-0.23	0.85	0.52	-0.04	0.53	0.05	0.47	0.44	-0.13	0.39	0.36	1										
%CaCO ₃	0.36	-0.11	0.32	0.33	0.15	-0.29	-0.29	0.08	0.32	-0.13	0.50	0.35	-0.04	0.44	0.14	0.59	0.39	-0.04	0.37	0.19	0.36	1									
PROFUNDIDAD	-0.32	-0.20	0.02	-0.27	-0.02	-0.33	-0.05	0.02	0.00	-0.24	0.13	0.18	0.09	0.33	0.11	0.20	0.20	0.21	0.02	0.12	0.07	0.53	1								
MARCILLAS	0.11	0.36	0.90	0.43	0.89	-0.00	0.05	0.41	-0.27	-0.48	0.70	0.34	-0.30	0.55	0.11	0.46	0.48	-0.31	0.50	0.42	0.87	0.30	0.18	1							
MARENAS	0.12	0.29	0.55	0.24	0.41	0.36	-0.19	0.48	0.07	-0.34	0.70	-0.02	-0.56	0.20	0.02	0.68	0.80	-0.30	0.59	0.15	0.35	0.40	-0.15	0.42	1						
MORAVA	-0.14	-0.38	-0.74	-0.34	-0.56	-0.25	0.14	-0.53	0.02	0.44	-0.79	-0.07	0.57	-0.36	-0.08	-0.71	-0.02	0.41	-0.05	-0.29	-0.57	-0.42	0.07	-0.07	-0.36	1					
ORAVA	0.24	0.22	0.05	0.15	-0.14	-0.38	-0.16	-0.10	0.05	-0.47	-0.38	-0.55	-0.34	0.67	0.94	-0.13	-0.60	-0.34	0.10	0.87	-0.04	-0.14	-0.09	0.03	-0.16	0.00	1				

%M.O. = Materia Orgánica
 %PPC = Pérdida por calcinación.

Las correlaciones marcadas son significativas a p < 0.05

FIGURA 5.2 Dendograma por análisis Cluster.

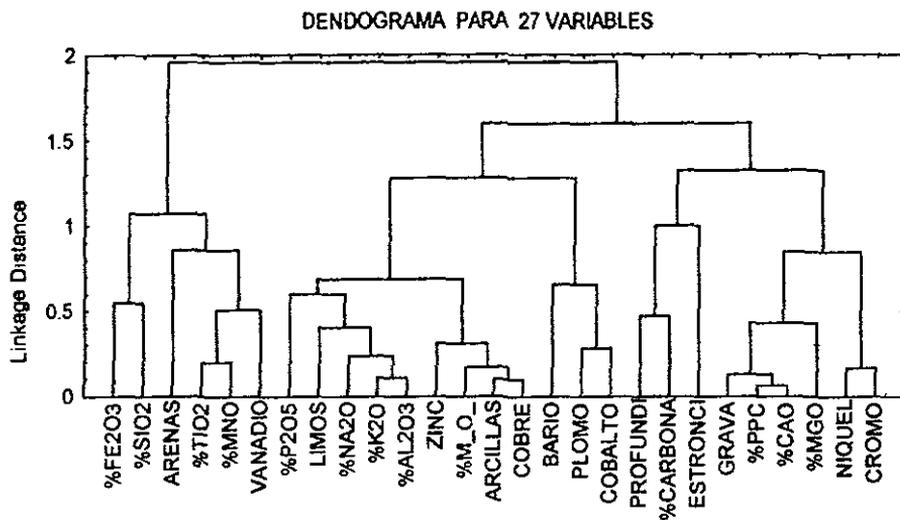
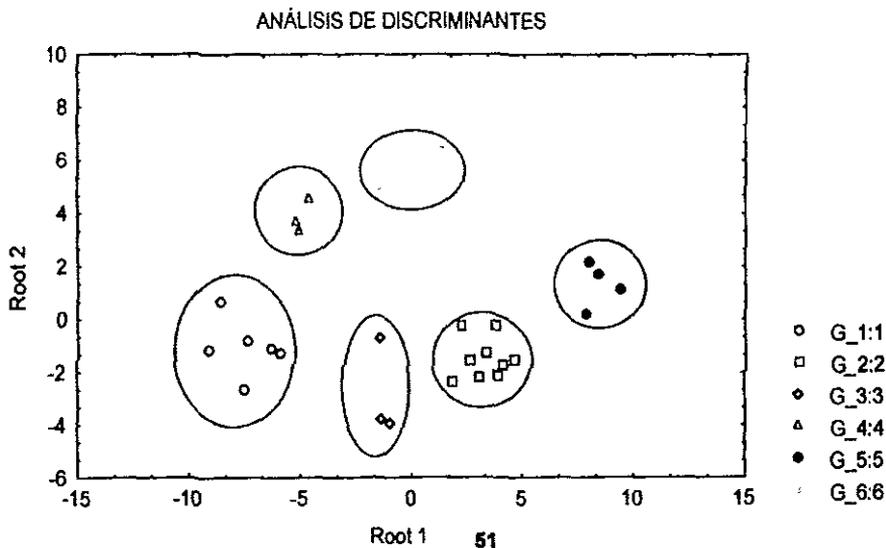


FIGURA 5.3 Diagrama que representa el análisis de discriminantes.



anteriormente, los elementos *traza* suelen asociarse con la materia orgánica por efectos de precipitación, adsorción o formación de óxidos.

En el tercer grupo se correlacionan el Ba, Pb y Co, elementos *traza* que se encuentran independientes del grupo anterior, probablemente porque se encuentran en otra forma química, es decir, quizás no se encuentran adsorbidos en las partículas de materia orgánica, sino que forman parte de la estructura de algún mineral, o bien se trata de elementos que tienen un origen común y por ello conforman un grupo de comportamiento significativo y diferente a los demás elementos.

El cuarto grupo está caracterizado por la presencia de % de carbonatos, Sr, y la profundidad, este grupo representa sin lugar a duda la correlación de los elementos que configuran a la fracción carbonatada de los sedimentos

El quinto grupo está formado por: Ca, Mg grava y PPC; parámetros asociados directamente con la fracción carbonatada, pero que se encuentran definiendo otro subgrupo por que quizás representan que los carbonatos en estudio no se encuentran en la fracción de grava, sino en otra fracción textural.

Finalmente el sexto grupo está formado por el Ni y Cr, elementos *traza* cuya carga de correlación es muy fuerte y que dejan relucir la posibilidad de que tengan un origen común, estos elementos son indicativos de actividades humanas.

5.6.2 ANÁLISIS DE FACTORES

A través de éste análisis es posible evaluar todos los parámetros, con la finalidad de definir y estructurar los datos de la matriz de correlaciones logrando así diferenciar el efecto de cada factor.

En éste estudio el análisis de factores con rotación varimax se deriva de la matriz general de correlación. Con éste análisis se confirma el efecto de seis factores y se explica el 85% de la varianza.

De acuerdo a éste análisis el factor que pesa más en el análisis de factores y por tanto contribuye a diferenciar químicamente las muestras es el que está conformado por el efecto de carga positiva del Al, Na, K y el % de limos, parámetro que caracterizan a la fracción terrígena. Este factor explica el 31% de la varianza.

El factor 2 explica el 17.95 % de la varianza y en él influye una carga positiva y significativa el Mg, Ca, PPC y el % de Grava y se presenta una carga negativa significativa del Si, éstos parámetros se asocian directamente con la fracción carbonatada. El factor 3 está dominado por una carga positiva significativa del Cr y Ni, y explica el 13% del total de la varianza, éstos elementos son característicos de actividad antropogénica. El factor 4 explica el 9.8% del total de la varianza, en este factor tienen una carga positiva significativa el Cu, Zn, % de M.O. y arcillas, por lo tanto este factor refuerza la postura de la asociación entre la materia orgánica, el tamaño de partícula fino y los metales traza. El factor 5 explica el 7.6% del total de la varianza, este factor tiene una carga

positiva significativa del % de carbonatos y la profundidad, es decir, es el factor que expresa el efecto de los carbonatos en los sedimentos en estudio. El factor 6 explica el 5.6% del total de la varianza y tiene una carga positiva significativa del Sr, éste factor es el único que no tiene una correspondencia en los grupos obtenidos mediante el análisis multivariado cluster, pues en dicho análisis el Sr se encuentra en el grupo de los carbonatos.

5.6.3 ANÁLISIS DE DISCRIMINANTES

Con la finalidad de respaldar los análisis anteriores, se efectuó el análisis de discriminantes. La función discriminante representa el peso total real de dos o más variables independientes. En este caso el análisis de discriminantes revela efectivamente la presencia de seis grupos, así como su total independencia, es decir, los grupos se forman, sin intersecciones lo cual significa que se trata de grupos integrados por factores diferentes. Los grupos formados son:

- 1 Fe, Si, Ti, Mn, V y % de arenas.
- 2 Al, Zn, Na, K, Cu, y % de M:O.
- 3 Ba, Pb y Co.
- 4 % CaCO_3 , Sr y profundidad.
- 5 Ca, Mg, PPC y % de grava.
- 6 Ni y Cr.

Los grupos 1 y 2 están integrados por elementos que reflejan la matriz geoquímica del sedimento, la diferencia entre estos dos grupos básicamente

radica en el tamaño de partícula, en el grupo 1 los elementos incluidos se asocian con el % de arenas, es decir, con el tamaño de partícula de grano grueso y en el grupo 2 los parámetros incluidos se asocian con el % de materia orgánica, parámetro que como se analizó antes está directamente relacionado con el tamaño de partícula de grano fino (limos y arcillas). En éste grupo destaca también la presencia del Zn y Cu elementos traza que seguramente se encuentran más adsorbidos en la superficie de la materia orgánica

Los grupos 3 y 6 contienen a los elementos traza considerados como tóxicos para la biota, es decir, son los grupos que destacan a los elementos antrópicos, la razón por la que se encuentran conformando grupos separados, es que el origen de dichos elementos es diferente. El Cr y Ni son elementos particularmente asociados a los afluentes domésticos, en cambio el Pb, Ba y Co están más asociados a la actividad industrial, el Pb se atribuye al empleo de gasolina, el Ba por su parte es un indicador antropogénico de actividades de extracción petrolera, pues en los procesos de explotación y exploración de hidrocarburos se emplea la barita (BaSO_4) debido a que es un compuesto con alta gravedad específica. El cobalto por su parte se ha introducido en los sedimentos desde el inicio de la era industrial.

Los grupos 4 y 5 contienen a los parámetros que evidencian la fracción carbonatada de los sedimentos, en este caso la conformación de dos grupos también está relacionada con el tamaño de partícula, pues como se observó

en el análisis de cluster, en la fracción de sedimento de grano fino también se encuentra una carga de conformación carbonatada, en este caso esta fracción se representa por el grupo 4 que incluso se asocia con la profundidad, y la fracción carbonatada de la porción de sedimento de grano grueso corresponde al grupo 5 de éste análisis. (FIGURA 5.3)

5.6.4 FACTOR DE CONTAMINACIÓN

El factor de contaminación refleja el grado de contaminación de cada metal en cada una de las estaciones estudiadas (TABLA 5.5) y se calculó tomando como datos de concentración natural los reportados en el estudio de BAHENA 1999 en la estación el Jícaro por considerar que es un sitio aparentemente no contaminado en donde se puede obtener información sobre las condiciones " naturales del río", por no existir grandes asentamientos humanos e industriales corriente arriba.

Los factores de contaminación de la TABLA 5.5 indican que tanto el Cr, Co, V y Pb son elementos que se encuentran como factores contaminantes en toda la zona de muestreo, en cambio el Cu sólo presenta la característica de contaminante en la estación 8 es decir, en la región del declive marino, el Ni presenta en la estación 1 y 3 los niveles indicativos de contaminación antrópica y el Zn presenta índices contaminantes en las estaciones 2,8,9,11,12 y 19, estas estaciones se encuentran ubicadas en el área denominada pluma de difusión de descarga del río Coatzacoalcos.

TABLA 5.5 FACTORES DE CONTAMINACIÓN CALCULADOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.

ESTACION	CROMO	COBALTO	COBRE	NIQUEL	ZINC	VANADIO	PLOMO
1	1.7	1.2	0.2	1.0	0.5	3.2	1.5
2	1.3	1.4	0.5	0.9	1.0	3.2	3.0
3	1.0	1.7	0.5	0.8	0.8	3.2	4.0
4	1.1	1.4	0.5	0.8	0.7	3.2	4.0
5	1.0	1.5	0.5	0.8	0.8	3.2	4.0
6	1.0	1.5	0.3	0.8	0.8	3.2	4.0
7	1.0	1.4	0.5	0.8	0.7	3.2	4.0
8	1.0	1.7	1.0	0.9	1.3	5.6	4.5
9	0.9	1.5	0.5	0.8	1.0	4.0	4.0
10	0.8	1.5	0.3	0.4	0.8	3.2	4.0
11	1.0	1.5	0.5	0.8	1.0	4.0	4.0
12	0.9	1.4	0.5	0.8	1.0	4.0	4.0
13	0.8	1.5	0.5	0.4	0.8	4.0	4.0
14	0.8	1.5	0.2	0.1	0.8	5.6	4.0
15	0.9	1.5	0.3	0.6	0.8	4.0	4.0
16	0.7	1.4	0.3	0.4	0.7	4.0	4.0
17	0.6	1.2	0.2	0.4	0.5	3.2	2.5
18	0.9	1.7	0.3	0.4	0.8	4.0	4.0
19	0.7	1.7	0.5	0.4	1.0	4.0	5.5
20	0.9	1.7	0.5	0.6	0.8	4.0	6.0
21	0.9	1.7	0.3	0.4	0.8	4.0	4.5
22	0.6	1.7	0.3	0.3	0.8	7.2	3.5
23	0.7	1.5	0.5	0.8	0.8	4.0	3.0
24	0.7	1.4	0.3	0.4	0.7	4.0	4.0
25	0.5	1.4	0.2	0.3	0.7	3.2	3.4

5.6.5 INDICE DE CONTAMINACIÓN POR METALES (MPI)

Este índice define el efecto de los factores de contaminación tomando en consideración las diferencias de toxicidad de los metales determinados.

TABLA 5.6 Índice de contaminación por metales (MPI) para cada estación de muestreo.

W Ni	W Cr	W Pb	W Cu	W Zn	ESTACIÓN	MPI
0.3268	0.5555	0.4902	0.0033	0.0016	1	1.38
0.2941	0.4248	0.9804	0.0082	0.0033	2	1.71
0.1961	0.3268	1.3072	0.0082	0.0026	3	1.84
0.1961	0.3595	1.3072	0.0082	0.0023	4	1.87
0.1961	0.3268	1.3072	0.0082	0.0026	5	1.84
0.1961	0.3268	1.3072	0.0049	0.0026	6	1.84
0.1961	0.3268	1.3072	0.0082	0.0023	7	1.84
0.1961	0.3268	1.4706	0.0163	0.0042	8	2.01
0.1961	0.2941	1.3072	0.0082	0.0033	9	1.81
0.1307	0.2614	1.3072	0.0049	0.0026	10	1.71
0.1961	0.3268	1.3072	0.0082	0.0033	11	1.84
0.1961	0.2941	1.3072	0.0082	0.0033	12	1.81
0.1307	0.2614	1.3072	0.0082	0.0026	13	1.71
0.0327	0.2614	1.3072	0.0033	0.0026	14	1.61
0.1961	0.2941	1.3072	0.0049	0.0026	15	1.80
0.1307	0.2288	1.3072	0.0049	0.0023	16	1.67
0.1307	0.1961	0.817	0.0033	0.0016	17	1.15
0.1307	0.2941	1.3072	0.0049	0.0026	18	1.74
0.1307	0.2288	1.7973	0.0082	0.0033	19	2.17
0.1961	0.2941	1.9607	0.0082	0.0026	20	2.46
0.1307	0.2941	1.4706	0.0049	0.0026	21	1.90
0.098	0.1961	1.1438	0.0049	0.0026	22	1.45
0.1961	0.2288	0.9804	0.0082	0.0026	23	1.42
0.1307	0.2288	1.3072	0.0049	0.0023	24	1.67
0.098	0.1634	1.1111	0.0033	0.0023	25	1.38

En esta tabla se observa en primer lugar que en todas las estaciones el valor calculado de MPI es mayor que 1 por lo tanto esto significa que al menos para los metales involucrados en el cálculo se tienen concentraciones que exceden los niveles naturales y que toda la zona de muestreo puede considerarse como contaminada por Ni, Cr, Cu Pb y Zn. Una observación más detallada evidencia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que en el cálculo del MPI el elemento que tiene mayor contribución en los resultados obtenidos es el Pb, seguido por el Cr y Ni, siendo mínima la contribución del Cu y Zn, así que puede establecerse alternativamente que los elementos críticos son: el Pb, Cr y Ni, elementos asociados a contaminación urbana e industrial.

Las estaciones con valores mayores del MPI fueron: 8, 19 y 20, de las cuales; la estación 8 concuerda con las correlaciones mencionadas de los patrones de distribución donde la materia orgánica y los elementos traza presentan valores más elevados, y las estaciones 19 y 20 son las estaciones donde se presentan las máximas concentraciones de Pb en el mapa de distribución de este metal.

El orden decreciente de contribución del metal al valor obtenido de MPI es:

$$\text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn}$$

Esto indica que el Pb es el elemento que más influye en los valores del MPI determinado.

CONCLUSIONES

El estudio químico de sedimentos superficiales en la zona costera inmediata a la desembocadura del río Coatzacoalcos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- El Al, Fe, Ti, Si y Mn, tienen un patrón de distribución con la misma tendencia en toda la zona de estudio, muestran fluctuaciones menores en su concentración, están controlados por el influjo de sedimentos terrígenos.
- Existe una alta correlación entre la fracción de materia orgánica de los sedimentos y elementos traza como el Zn y Cu, lo que sugiere que la materia orgánica posee sitios de adsorción para los metales traza.
- La fracción carbonatada en el sistema de estudio, presenta un comportamiento singular, es decir, los carbonatos no se localizaron asociados con el tamaño de partícula gruesa, sino con los sedimentos de tamaño de partícula fina, la razón es que en la zona de sedimentos de grano grueso existe un flujo continuo de descarga del río, efecto que impide la acumulación y la consecuente precipitación de carbonatos en esa zona, así que los carbonatos se manifiestan en la fracción de sedimentos de grano fino.

- El Cr y Ni destacan en cuanto a su muy buena correlación y en cuanto a su agrupación independiente tanto en análisis de cluster, análisis de factores y análisis de discriminantes. Estos elementos se asocian a contaminación industrial.
- Del análisis de factores de contaminación destaca al Pb, Co, V y Cr como elementos que se encuentran como factores contaminantes en toda la zona de muestreo. El Pb, Co y Cr son elementos traza que se asocian a contaminación producida por efecto de descargas urbanas e industriales, el V en cambio se asocia a actividades petroleras.
- El índice de contaminación por metales (MPI) determinado con los resultados analíticos derivados de este estudio, sirvió para corroborar que la zona de estudio puede considerarse en nivel crítico de contaminación, sobre todo de elementos como Pb, Cr y Ni.

RECOMENDACIONES

Se propone para investigaciones posteriores un estudio geoquímico en la zona del Golfo de México, en un área de muestreo más extensa durante un ciclo estacional, ya que en este estudio la zona de muestreo tan estrecha no permite conclusiones generales para toda la zona costera. Además es importante realizar un estudio conjunto de las CORRIENTES marinas predominantes en la zona, para poder relacionar éstas con las distribuciones de los parámetros determinados.

Sería de mucha utilidad efectuar el análisis de elementos traza mediante ESPECIACIÓN, con la finalidad de detectar en que fracción se registra cada elemento, información vital para conclusiones mas acertadas.

Es recomendable un muestreo de NÚCLEOS de sedimento, con la finalidad de obtener un registro histórico de la contaminación en la zona costera, así como para obtener información de las condiciones naturales del sistema en estudio.

BOTELLO V.A., TOLEDO A. (1996). IMPACTO AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA PETROLERA EN EL RÍO COATZACOALCOS, VERACRUZ. 541-554.

BOTELLO A.V. (1980). DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE HIDROCARBUROS FÓSILES EN ECOSISTEMAS ESTUARINOS DEL GOLFO DE MÉXICO. ICMYL INFORME TÉCNICO. 50PP.

GONCALVES et al. (1992). SEDIMENTS AND AQUATIC MOSSES AS POLLUTION INDICATORS FOR HEAVY METALS IN THE AVER RIVER BASIN (PORTUGAL). THE SCIENCE OF THE TOTAL ENVIROMENT. 114 7-24.

GONCALVES et al. (1994). SEASONAL VARIATIONS OF THE HEAVY METALS IN SEDIMENTS AND AQUATIC MOSSES FROM THE CÁVARO RIVER BASIN (PORTUGAL). THE SCIENCE OF THE TOTAL ENVIROMENT. 142 143-156..

LORING, D.H. (1991). NORMALIZATION OF HEAVY-METAL DATA FROM ESTUARINE AND COASTAL SEDIMENTS. ICES J. MAR. SCI. 48: 101-115.

SOARES et al. (1999). SEDIMENTS AS MONITORS OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN THE AVE RIVER BASIN (PORTUGAL): MULTIVARIATE ANALYSIS OF DATA. ENVIROMENTAL POLLUTION. 105 311-323.

BIBLIOGRAFÍA

MORALES C. J. J., et al. (1995). " PROCESO DE DIGESTIÓN CONTROLADA DE MUESTRAS GEOLÓGICAS EN EL LUGIS "ACTAS INAGEQ.(1) 193-195.

OSUNA L.J.I., et al. (1989).METALES PESADOS DISUELTOS Y PARTICULADOS EN EL PUERTO DE MAZATLÁN. AN. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNAM. 16 (2): 307-320

PÁEZ O. F FONG L. MA. DE L Y FERNÁNDEZ P. H. (1984). "COMPARACIÓN DE TRES TÉCNICAS PARA ANALIZAR MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS." AN. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNAM. 11 (1): 257-264

RAMOS L. F., LECUANDA R. (1995) " MATERIA ORGÁNICA SEDIMENTOSCOMOCRITERIO PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN LAS PLATAFORMAS CONTINENTALES" ACTAS INAGEQ.

RODRIGUEZ P. C. BOTELLO A.V. Y VILLANUEVA S.F. (1995) " METALES TÓXICOS EN SEDIMENTOS Y BIOTA DE LAS LAGUNAS DE LA MANCHA Y EL LLANO VERACRUZ, MÉXICO. ACTAS INAGEQ (1), 169-173.

ROSALES H. L. CARRANZA E. A., et al. (1995) " ANÁLISIS DE SEDIMENTOS DEL RÍO COATZACOALCOS Y SU RELACIÓN CON EL IMPACTO AMBIENTAL". ACTAS INAGEQ. (1).

ROSALES H. L., CARRANZA E. A., et al. (1994). "STUDY OF ANTRHOPOGENICALLY INDUCED TRACE METALS ON THE CONTINENTAL SHELF IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE GULF OF MÉXICO". REV. INT. CONTM. AMBIENT. 10 (1), 9-13.

BIBLIOGRAFÍA

SHUMILIN E. (1996) BIOGEOQUÍMICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA EN EL AMBIENTE MARINO COSTERO. ACTAS INAGEQ VOL 2. pp 95-96.

PERES J.M. et. al. (1980). LA POLUCIÓN EN LAS AGUAS MARINAS. EDICIONES OMEGA. ESPAÑA.1-22: 113-127.

RILEY J. P. & CHESTER R. (1989) " INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA MARINA ". AGT EDITOR, MÉXICO. 6-9, 281-298.

HAIR, J.F. et al .1995. *Multivariate Data Analysis (Fourth Edition)* Prentice Hall, Inc.: New Jersey, U.S.A.

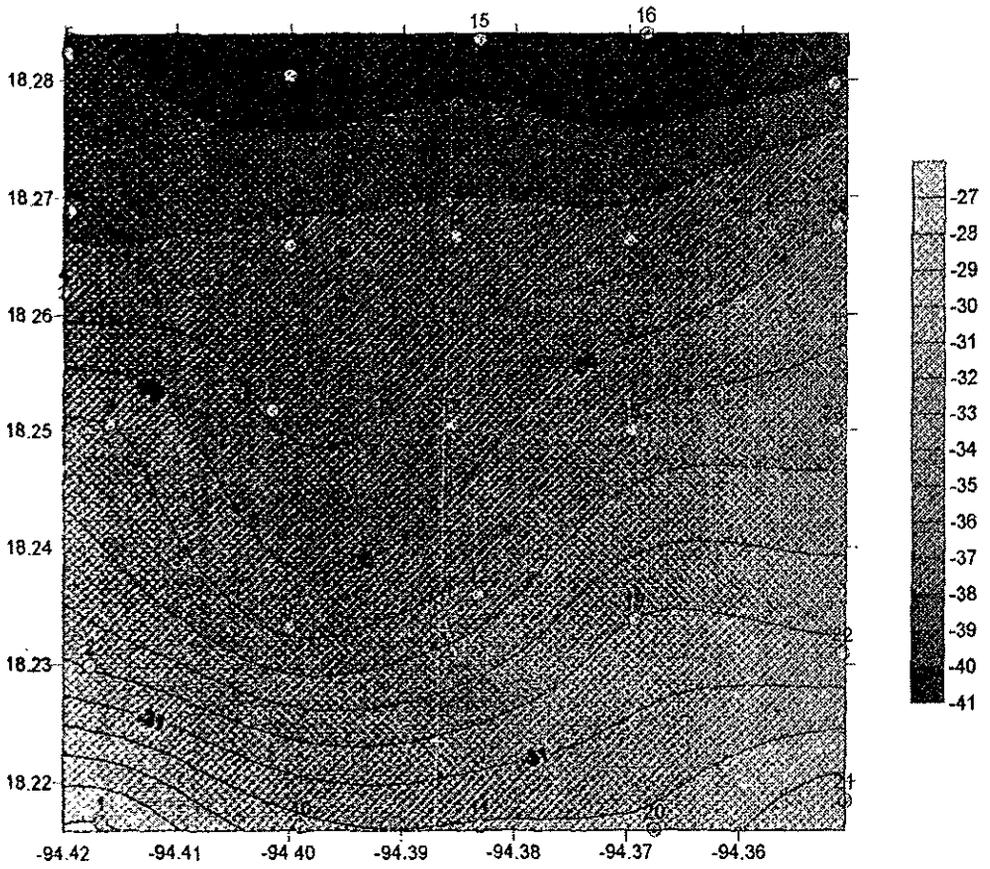
BAHENA MANJARREZ JOSE LUIS (1999). EVALUACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE METALES PESADOS EN LAPARTE BAJA DEL RÍO COATZACOALCOS. TESIS UNAM.

VILLANUEVA E R E. (1997) ESTUDIO QUÍMICO DE SEDIMENTOS LITORALES DEL GOLFO DE CALIFORNIA. TESIS, UNAM.

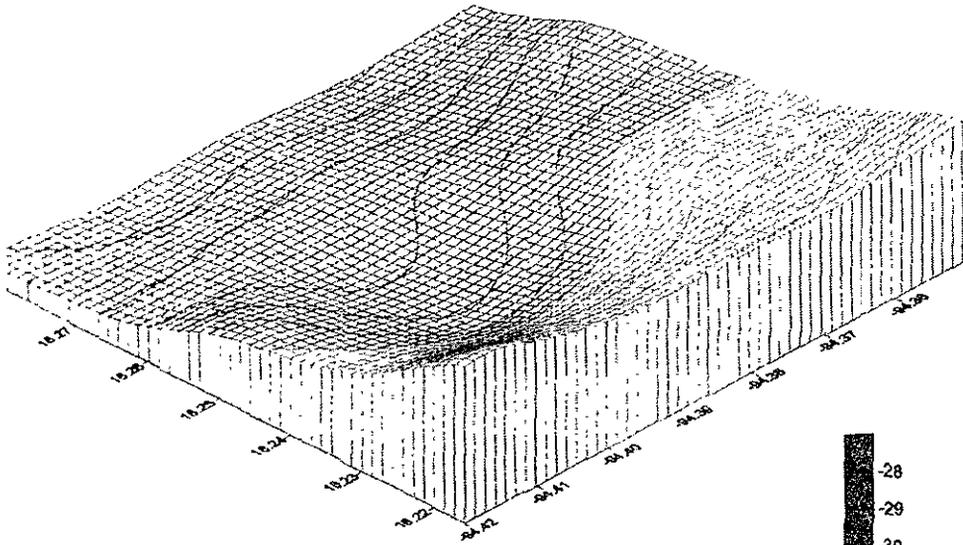
ATLAS NACIONAL DE MÉXICO. (1990)UNAM. INSTITUTO DE GEOGRAFÍA. MÉXICO(III).
ENCICLOPEDIA GENERAL DEL MAR (1989).. EDICIONES GARRIGA. ESPAÑA pp 314.

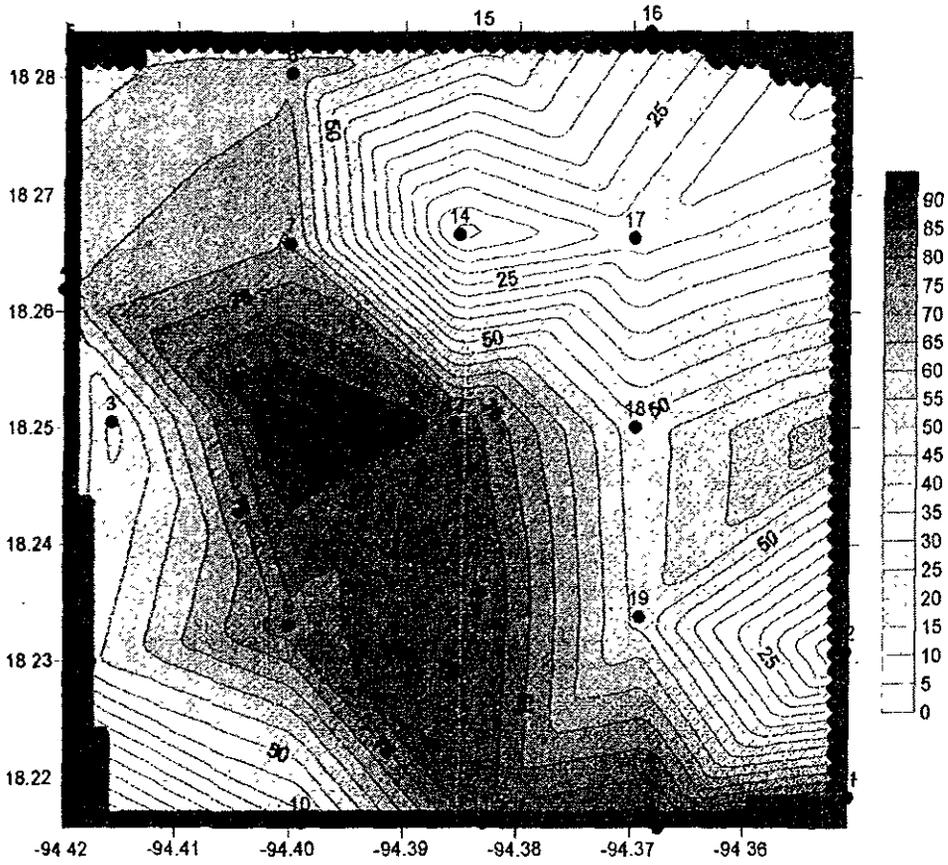
GARCÍA E. (1988) MODIFICACIONES DE CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS DE KÖPPEN PARA ADAPTARLO A LAS CONDICIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA.

HISTORIA BIOLOGÍA Y GEOGRAFÍA DE MÉXICO (1986). DICCIONARIO PORRÚA, 5a. EDICIÓN DE PORRÚA S.A. MÉXICO.

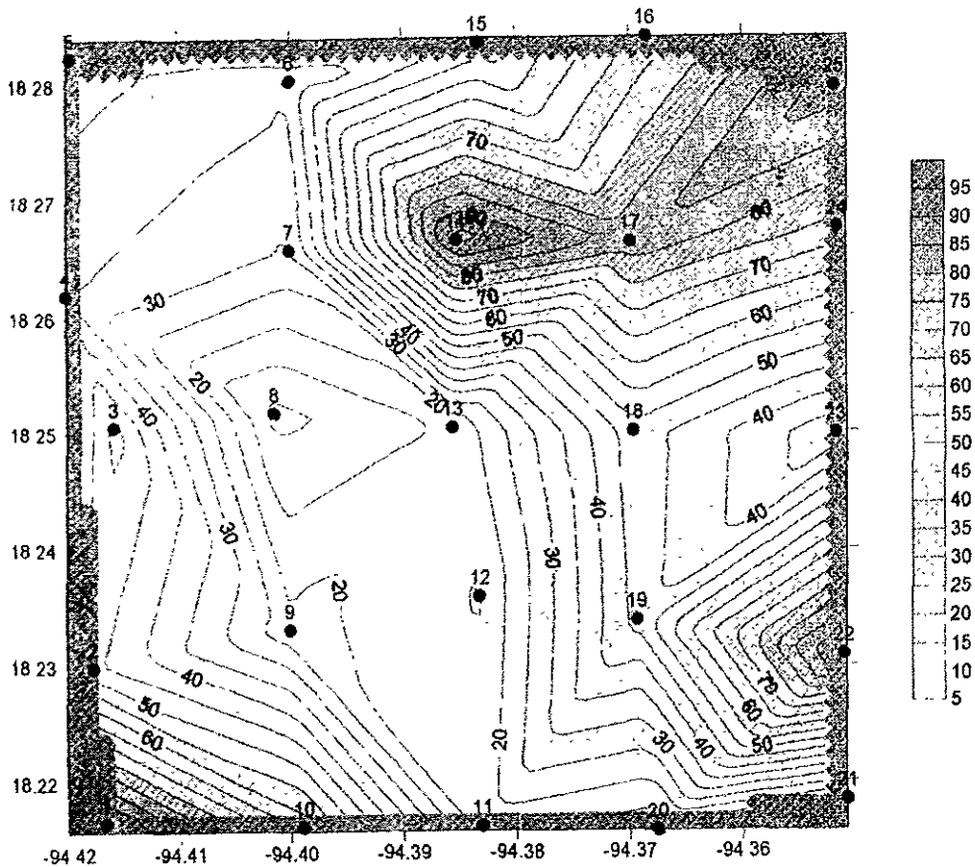


MAPA DE BATIMETRÍA (PROFUNDIDAD EN METROS) EN LA ÁREA DE ESTUDIO

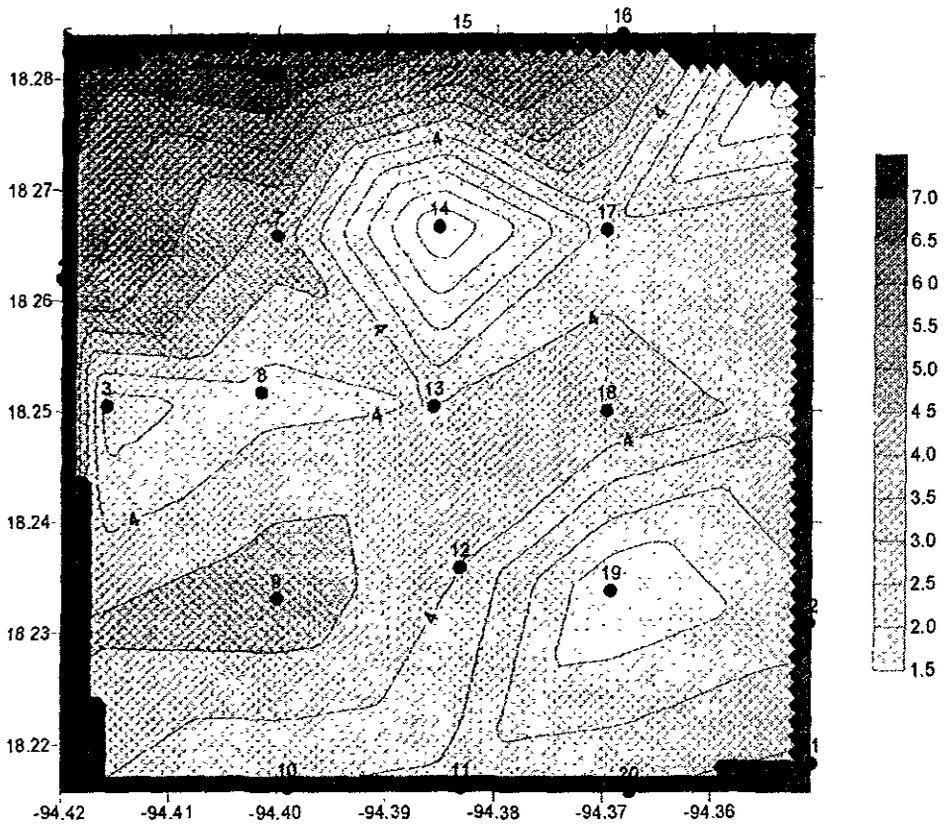




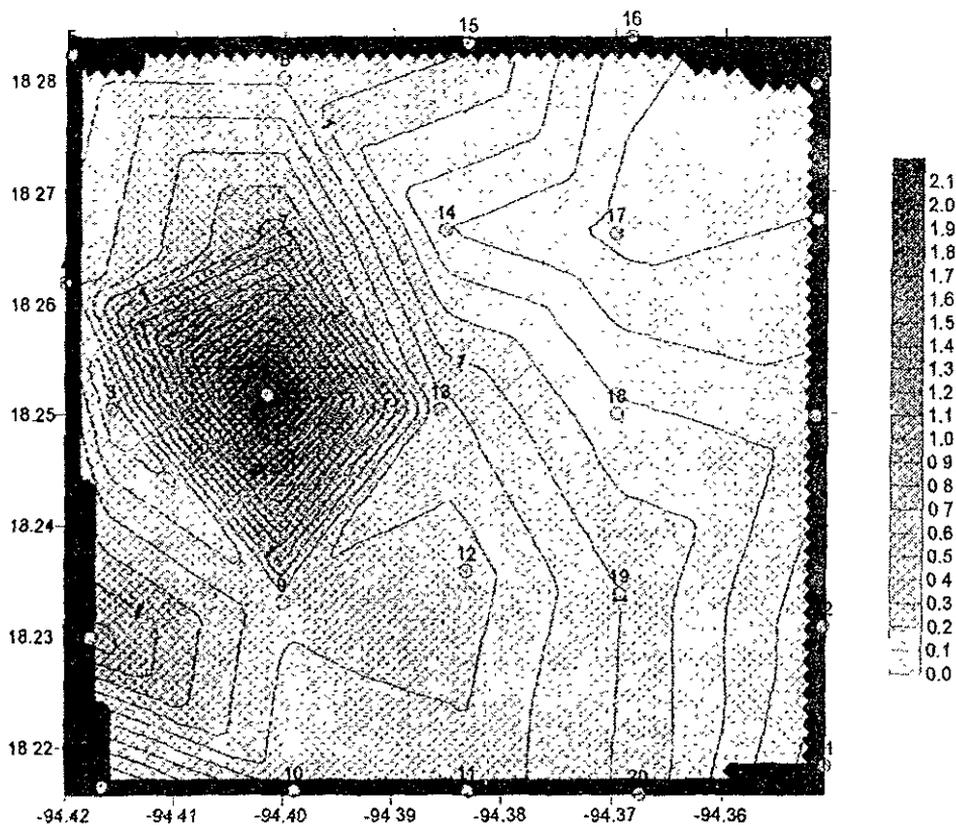
FRACCIÓN EN (%) DE SEDIMENTO DE GRANO FINO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



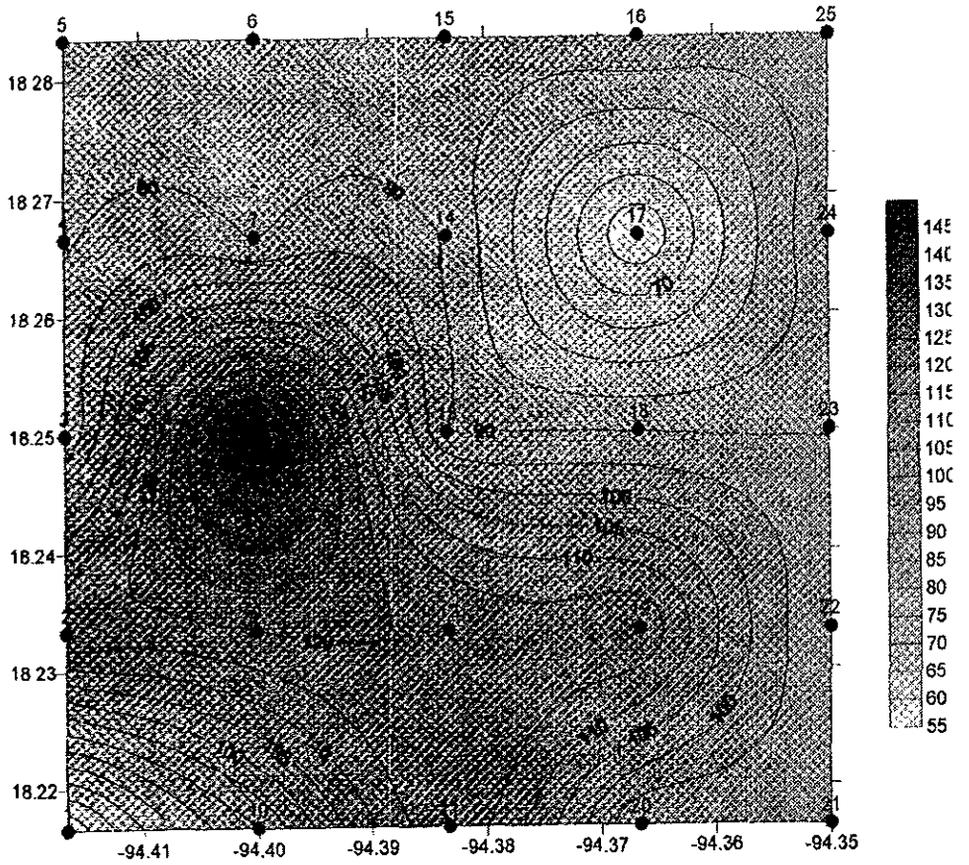
FRACCIÓN EN (%) DE SEDIMENTO DE GRANO GRUESO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



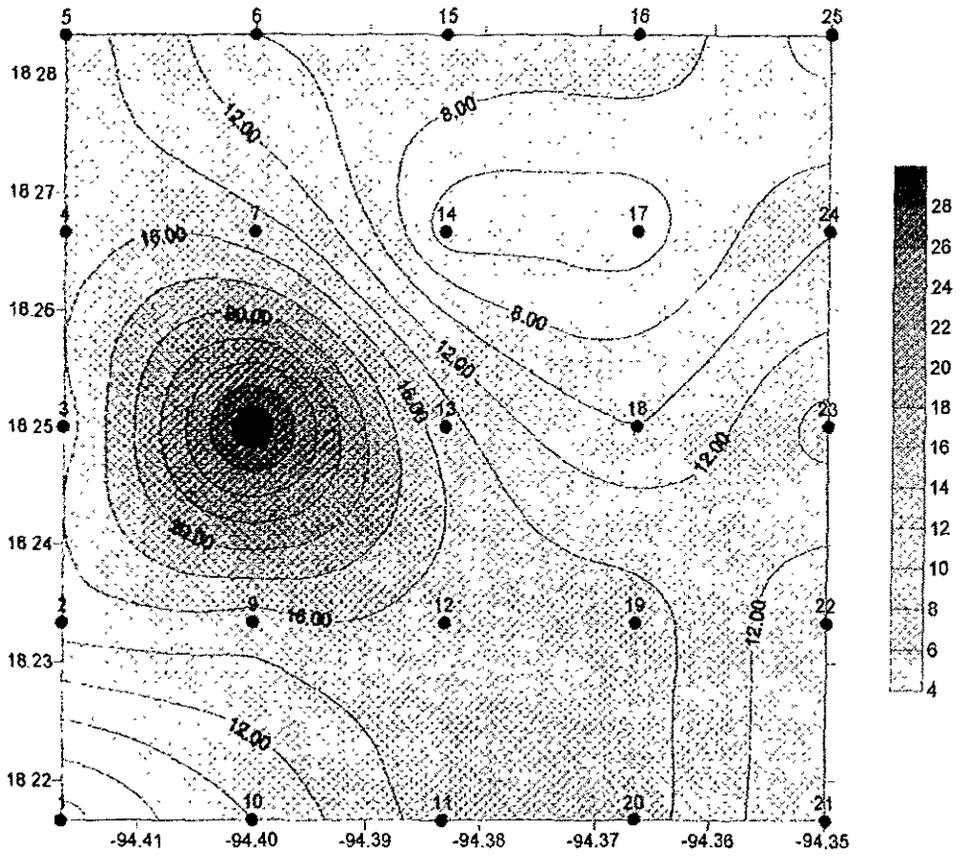
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE CARBONATOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.



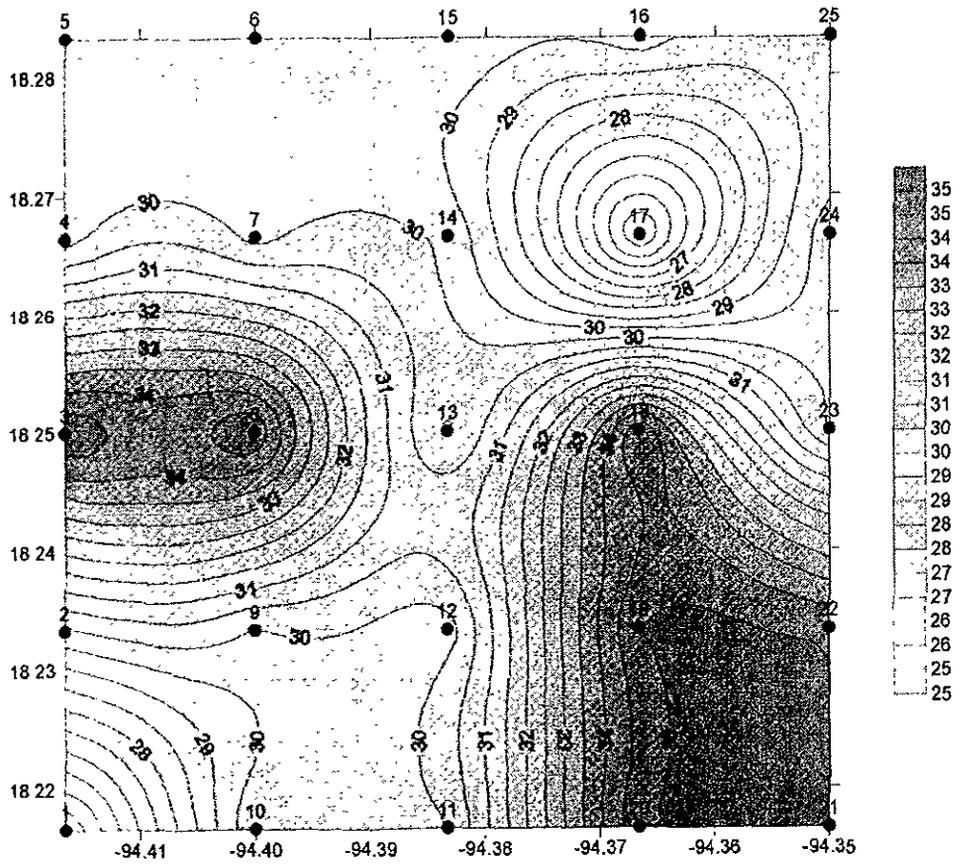
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.



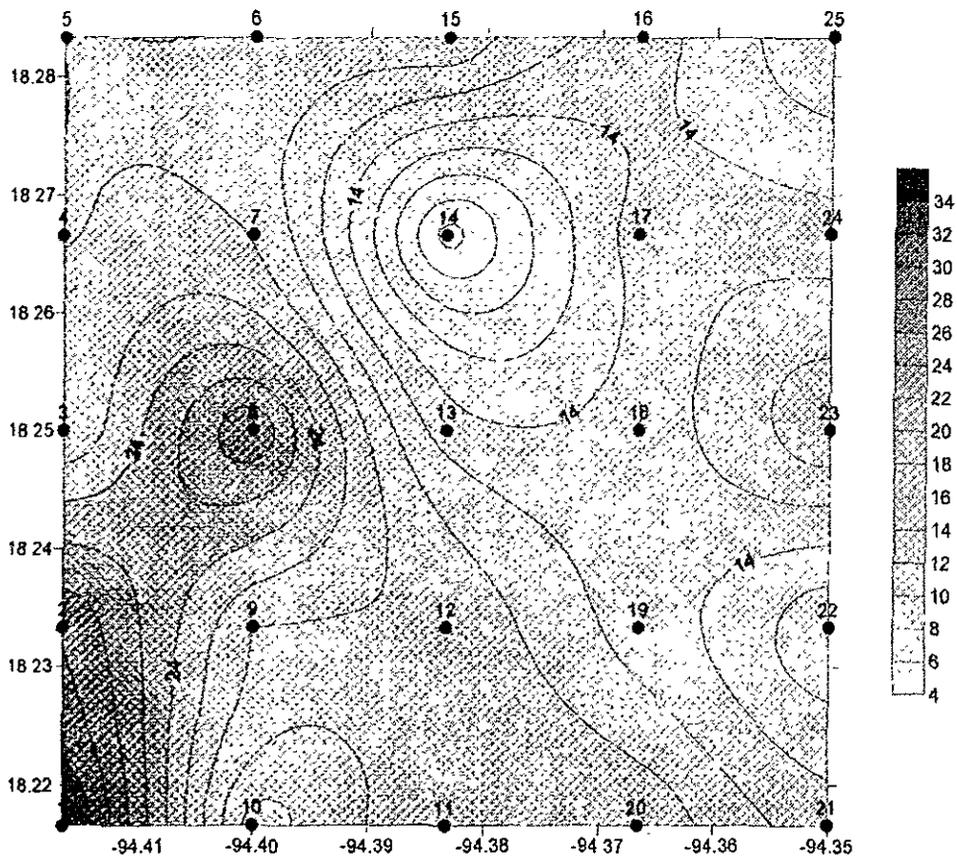
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ZINC (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



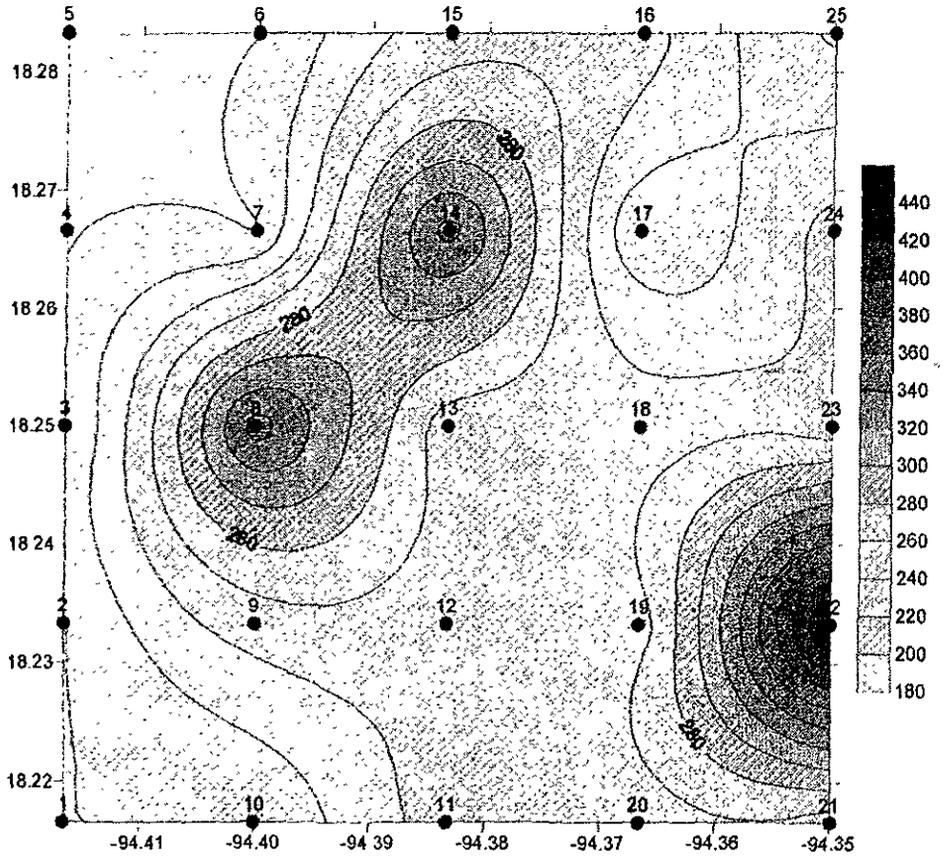
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



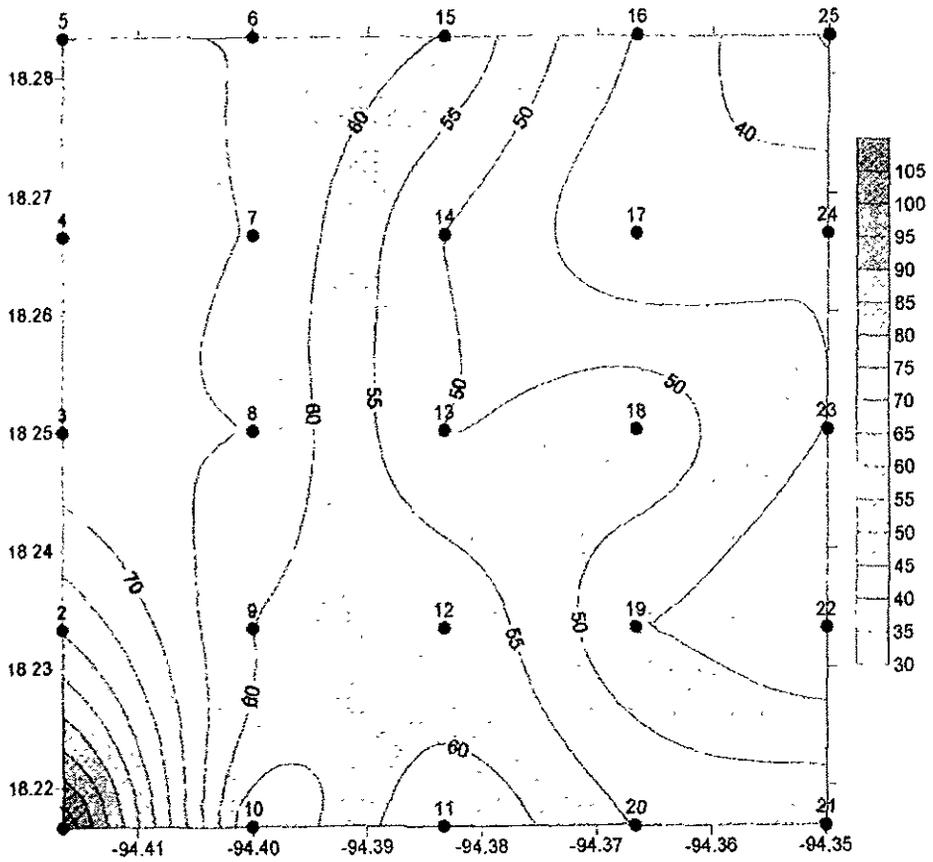
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBALTO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



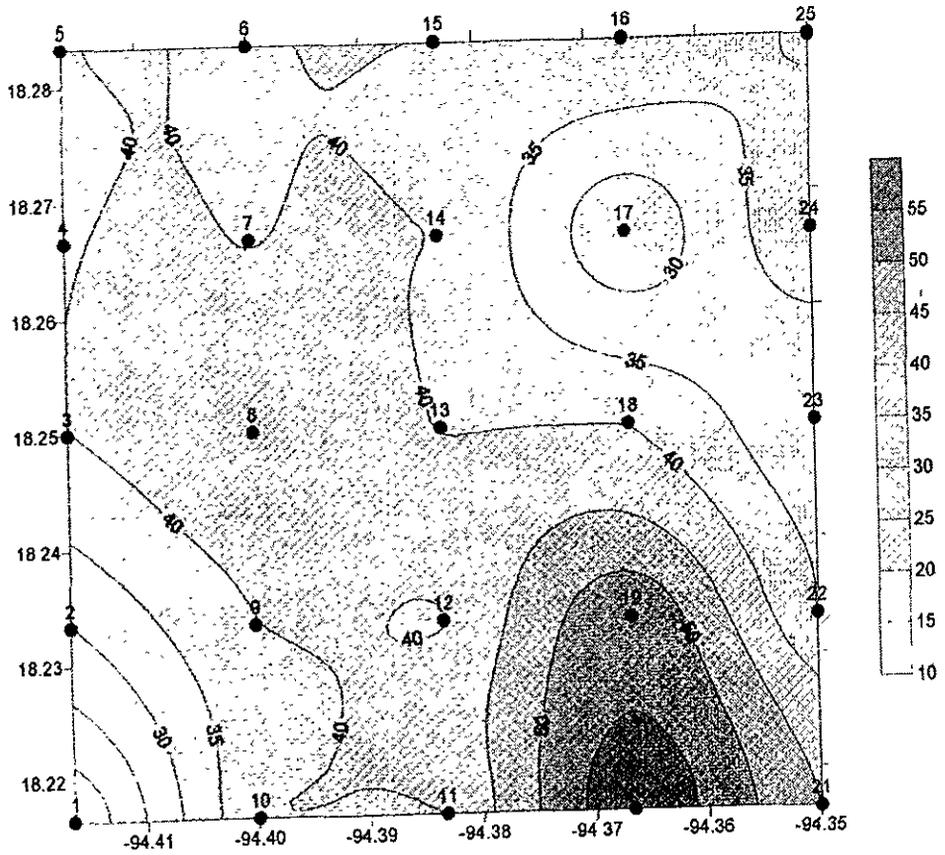
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NIQUEL (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



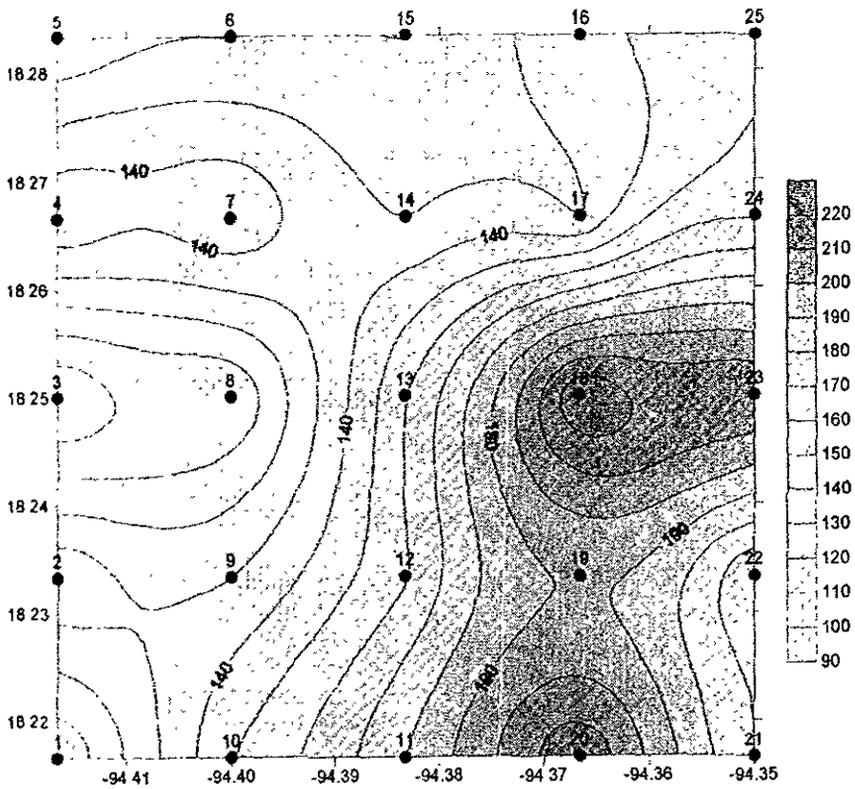
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE VANADIO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



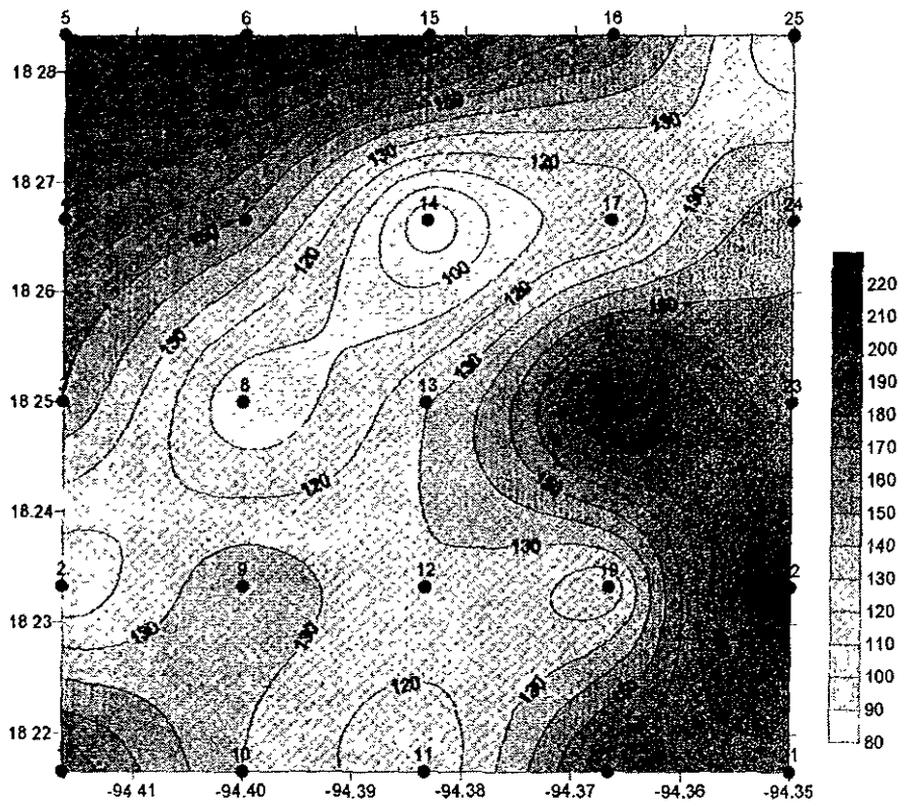
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO



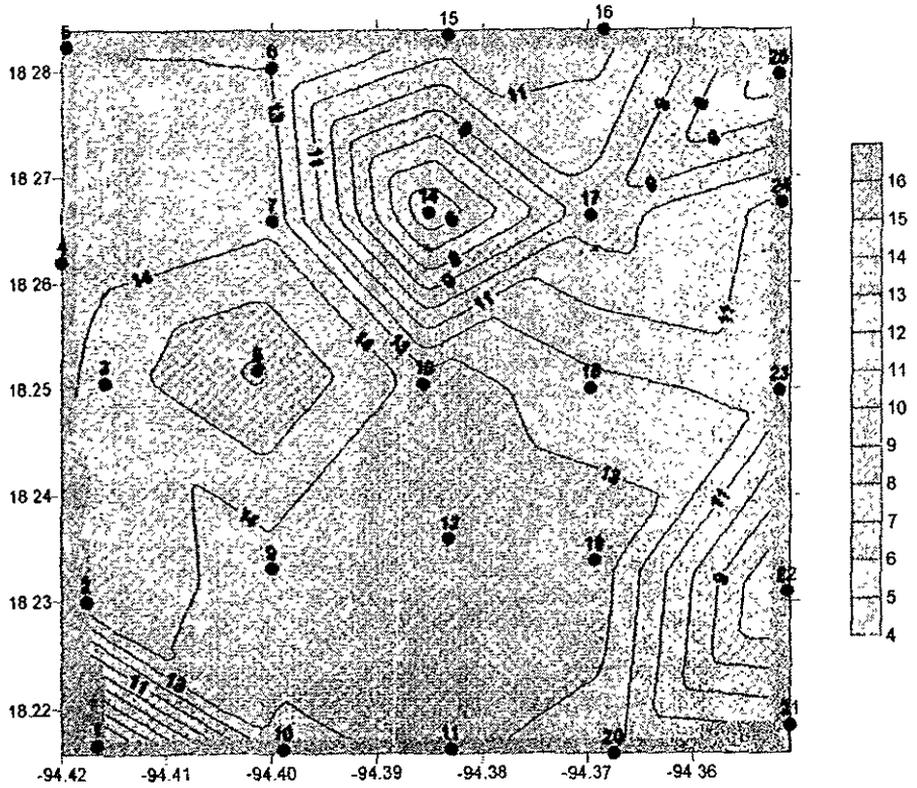
▷ATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



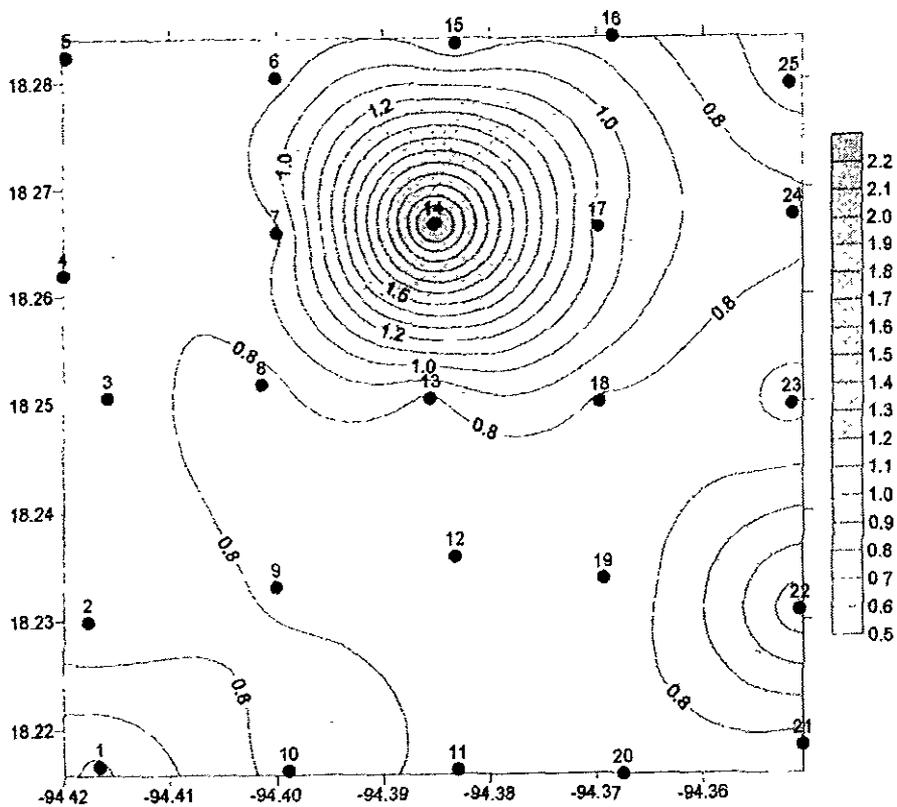
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BARIO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



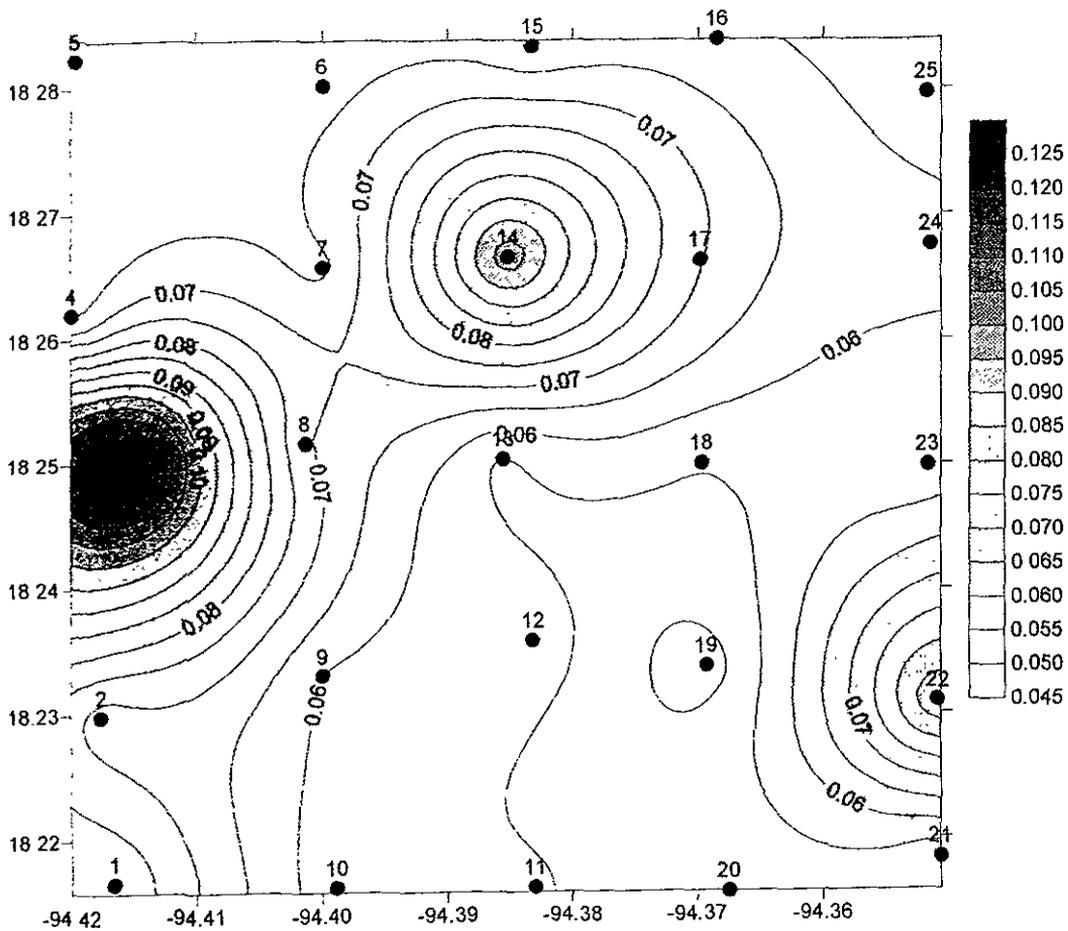
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ESTRONCIO (ppm) EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



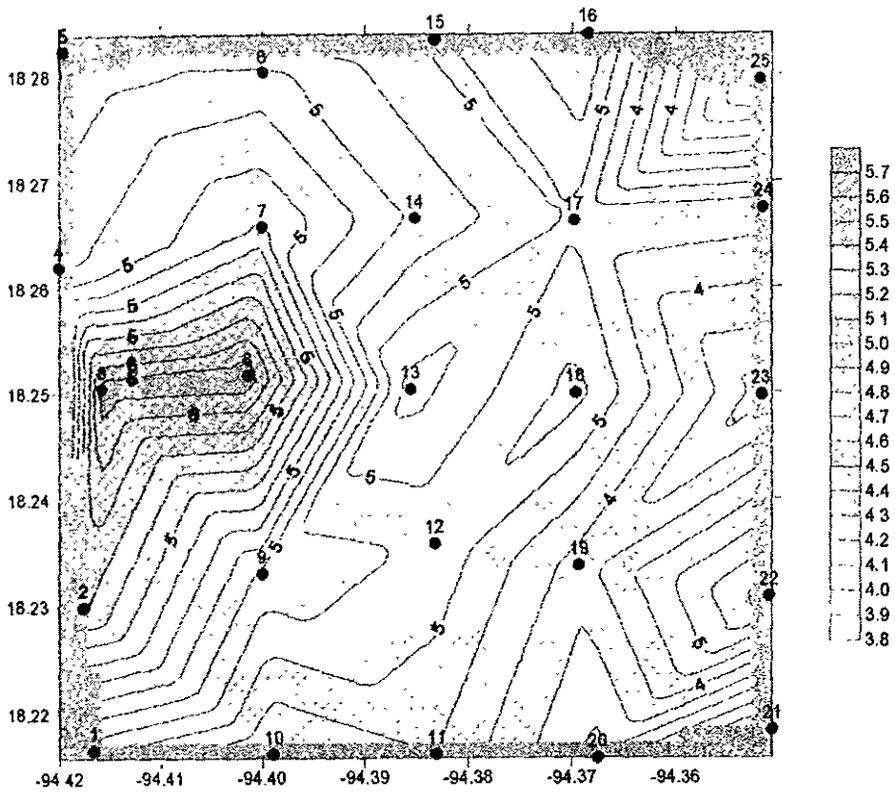
PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE AL₂O₃ EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE TiO₂ EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE MnO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.



PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN DEL % DE Fe₂O₃ EN EL ÁREA DE ESTUDIO.