

49



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



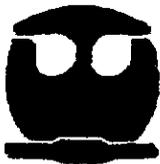
EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

ANÁLISIS QUÍMICO DEL SEDIMENTO MARINO DE
LA PLATAFORMA CONTINENTAL ADYACENTE A
PUNTA MALDONADO, MÉXICO.

6-6-2000

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A :
ALEJANDRA SANDOVAL FORTANEL



México D. F.

2000



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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE Prof. Humberto Arriola Santamaría

VOCAL Profra. Silvia Mendoza Arellano

SECRETARIO Profra. María Tomasa Leticia Rosales Hoz

1er SUPLENTE Prof. Plinio Jesús Sosa Fernández

2do SUPLENTE Profra. María del Rosario Covarrubias Herrera

Sitio donde se desarrolló la tesis:
Laboratorio de Química Marina y Contaminación
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

ASESORA

Ma. Leticia Rosales H.

María Tomasa Leticia Rosales Hoz

SUSTENTANTE

Alejandra Sandoval Fortanel

Alejandra Sandoval Fortanel

Cúal de todas las sombras es la mía?
A todo cuerpo viene la belleza
y anticipa en los aires la proeza
de ser sin el poema poesía

Junio dos nubes mágicas me fia
y ya soy cielo en el que la duda empieza,
¿Apoyaré tan pronto la cabeza,
en la mano profunda que aún no es mía?

En palabras de amor se va la hermosa
vida junto a la espina y a la rosa
tan alta siempre que cuando la hallamos,

antes sangran los dedos con la espina;
y la rosa en la altura de sus ramas
ya es otra rosa que se indetermina

Era mi corazón piedra de río,
que sin saber por qué daba el remanso
era el niño del agua era el descanso
de hojas y nubes y brillante frío

Alguien algo movió y se alzo el río
¡Lástima de aquel hondo siempre manso!
Y la piedra lavada y el remanso
liáronse en sombras de esplendor sombrío.

Para mirar el cielo, qué trabajos
ruedan los ojos turbios, siempre bajos
¿Serán estrellas o huellas de estrellas?

Era mi corazón piedra de río,
una piedra de río, una de aquellas
cosas de un imposible tuyo y mío.

En palabras de amor -paloma el día-
pone y quita palabras palomares
y las pequeñas brisas por los mares
viajan con una angustia de alegría

Riesgo de llamarada que se enfría
luz que falta en los cuellos a collares
perdición en los súbitos azares
dicha de una virtud que no existía

Si hay algo de mí que vaiga es la amargura
de un desdeñado vaso de duizura
que una lluviosa noche está secando

Ha de quedar el agua sin virtudes
agobiada de horrible juventudes
gloriosamente oscura, recordando

Carlos Pellicer

Dedicatorias

... a mi cuerpo, alma y espíritu ... por albergar a este ente en resonancia..

Jorge Sandoval y Cristina Fortanel: mis padres ... por profesar y haberme entregado los mas bellos valores ... amor y libertad.

Mis queridos hermanos: Georgina, Raymundo, Rodrigo, Adriana, Sergio y Flor ... porque cada día me regalaron sus virtudes pero también sus defectos, por ser mi hogar, porque somos el mejor equipo.

A todos mis tíos, primos y ahora sobrinos ... por ser tantos y tan distintos

... por todos los encuentros, los momentos, las caídas, los triunfos,..., que agregaste a nuestras vidas ... Edgar.

Estelita ... si yo encontrara un alma como la mía, cuantas cosas secretas le contaría ... por todo lo que ha sido y -mejor aún- por todo lo que nos falta.

Absolutamente a todos los amigos que a lo largo de toda mi vida he tenido la maravillosa suerte de encontrar ...

... ias de toda la vida: Minerva Paniagua ... Lucía Domínguez.

... Evelyn, Jorge, Nuria, Gloria, ... y todos aquellos que despertamos juntos en nuestro bien amado CCH-Vallejo.

... no voy hablarles de un hombre común, haré la historia de un ser de otro mundo de un animal de galaxia, es una historia que tiene que ver con el curso de la vía láctea, es una historia enterrada, es sobre un ser de la nada ... Tavo, Gina, Bazy, Hugo, Mis, Estelita, Edgar, Andrés (gordito), Peria, Yadis, Erica, Tere, Carlos, Rocio, Pina, Cris, Adris ... fue reconfortante esa vida en común.

... sólo un silencio... Alejandro (Larry)... Gracias por mucho.

In memoria ... Victor... porque la muerte es un acto infinitamente amoroso.

... Ruth, José Luis, Maribel, Claudia, Paul, Estela ... Chucho, Ángeles, Nacho, Toño, Paty, Miguel Angel,... y tantos otros... todos amigos del ICMYL.

... Juan Pablo, Jesús, Laura, ...

... sobre un camino in fin, andando va un jovenzuelo... Sinuhé Sánchez Velázquez... ejemplo más perfecto del amor a la nación ... a todos los profesores que me formaron.

... a esa perfecta dualidad... Coatlicue... Eros y Tanatos ... Vida y Muerte

AGRADECIMIENTOS

- ⊗ Con especial cariño, respeto y devoción a mi muy amada Universidad ... porque le debo gran parte de lo que soy.
- ⊗ Por su gran apoyo en la dirección de este trabajo, por su infinita paciencia y por haberme abierto las puertas hacia el océano ... Dra. Leticia Rosales Hoz.
- ⊗ Qué puedo decirte ... Q.F.B. Susana Pérez Santiago... todo es poco ... gracias mil por compartiros tu saber, tu sentir ... tu amistad.
- ⊗ Dr. Arturo Carranza Edwards ... por todas las facilidades, consejos y recomendaciones que forman ya parte de este logro.
- ⊗ Al M. en C. Eduardo Morales de la Garza por el apoyo técnico brindado durante todo el proyecto.
- ⊗ Por el análisis de FRX, pero sobretodo por su siempre disposición de ayuda ... Ing. Rufino Lozano Sta. Cruz.
- ⊗ Sólo con el apoyo del CONACyT, a través del Proyecto T9701 - 002V denominado "Sedimentología de la Región de Ometepec (Sedimento I), fue posible iniciar esta investigación.
- ⊗ A todos los miembros del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y en especial a todos mis compañeros del Laboratorio de Química Marina y Contaminación ... por su sólo acto de presencia.

ÍNDICE

Resumen	1
I. Introducción	1
Objetivos.....	6
II. Antecedentes	7
2.1 Definición de sedimento.....	7
2.2 Tipo de sedimento	7
2.3 Factores que controlan el deposito de sedimentos.....	9
2.4 Relieve oceánico.....	11
2.5 Recursos minerales como función del área oceánica.....	13
III. Área de estudio	14
3.1 Ubicación geográfica	14
3.2 Hidrología	14
3.3 Clima	14
3.4 Geología	15
3.5 Plataforma continental	16
IV. Metodología	20
4.1 Muestreo	20
4.2 Procesamiento de muestras	23
4.3 Reporte de resultados	24
4.4 Determinaciones	25
4.5 Tratamiento de datos	25
4.6 Validación de los métodos analíticos	27
4.6.1 Materia Orgánica	27
4.6.2 Carbonatos	27
4.6.3 Fluorescencia de Rayos X	28
4.6.4 Pérdida por calcinación	29
V. Resultados y Discusión	33
5.1 Batimetría	33

5.2 Tamaño de partícula	36
5.3 Composición química	41
5.3.1 Materia Orgánica	44
5.3.2 Carbonatos	46
5.3.3 Elementos químicos	48
5.3.3.1 Análisis de clúster de variables	48
5.3.3.2 Análisis de clúster de casos	54
5.3.3.3 Análisis de fracciones texturales	56
5.3.3.3.1 Normalización de las fracciones texturales con aluminio	60
5.3.3.4 Análisis de factores	66
5.3.3.5 Matrices de correlación	70
VI. Conclusiones	78
Bibliografía	80
Apéndice	85
A. Determinación de materia orgánica	86
B. Determinación de carbonatos	89
C. Fluorescencia de Rayos X	95
D. Determinación de pérdida por calcinación	102

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Zona Económica Exclusiva	3
2.1 Perfil típico del margen continental	12
3.1 Área de estudio	18
3.2 Hidrología de la zona de estudio	19
3.3 Litología de la zona de estudio	19
4.1 Mapa de ubicación de las estaciones muestreadas	20
4.2 Draga Smith-McIntyre en posición abierta	22
4.3 Draga Smith-McIntyre en posición cerrada	23
5.1 Mapa batimétrico	37
5.2 Mapa de distribución granulométrica	42
5.3 Mapa de distribución de materia orgánica	46
5.4 Mapa de distribución de carbonatos	48
5.5 Análisis de clúster de variables	50
5.6 Análisis de discriminante múltiple	50
5.7 Zonas de predominio de SiO_2	51
5.8 Zonas de predominio de Al_2O_3	51
5.9 Zonas de predominio de Fe_2O_3	52
5.10 Zonas de predominio de V	52
5.11 Zonas de predominio de Th	53
5.12 Zonas de predominio de Mn	53
5.13 Zonas de predominio de CaO	54
5.14 Análisis de clúster de casos	55
5.15 Dominios sedimentarios	55
5.16 Gráfica de correlación de la clase textural arena lodosa	58
5.17 Gráfica de valores propios	66
5.18 Análisis de clúster: caracterización geoquímica	73
5.19 Análisis de discriminante múltiple	73
5.20 Análisis de clúster: caracterización geográfica	74
5.21 Isolíneas de susceptibilidad magnética	74
5.22 Isolíneas de titanio	75
5.23 Dominios sedimentarios	75
C.1 Fenómeno de FRX	97
C.2 Líneas espectrales	98
C.3 Espectro característico de un análisis de FRX	98
C.4 principales componentes de un espectrómetro de FRX	99

ÍNDICE DE TABLAS

4.1 Validación del método redox para la determinación de materia orgánica ...	29
4.2 Validación del método ácido-base para la determinación carbonatos.....	30
4.3 Condiciones de medición del sistema de FRX	30
4.4 Validación del método de FRX para la determinación de elementos mayores traza	31
4.5 Validación del método de FRX para la determinación de elementos traza	31
4.6 Determinación de la precisión de pérdida por calcinación	32
5.1 Composición del sedimento superficial de la plataforma continental de Punta Maldonado.....	34
5.2 Determinación de la granulometría.....	37
5.3 Composición promedio de los sedimentos	42
5.4 Composición promedio de los sedimentos de acuerdo a su clase textural ..	51
5.5 Normalización de la concentración promedio de los elementos	61
5.6 Coeficientes de correlación de Pearson de los sedimentos de textura: arena lodosa carbonatada	63
5.7 Coeficientes de correlación de Pearson de los sedimentos de textura: lodo	66
5.8 Análisis de factores: valores propios	67
5.9 Análisis de factores	72
5.10 Minerales pesados	69
5.11 Coeficientes de correlación de Pearson de los sedimentos de textura:.....	76
5.12 Coeficientes de correlación de Pearson del sedimento total	77

RESUMEN

Como parte del proyecto Sedimentología y Geoquímica de la Plataforma Continental Mexicana, se evaluó la composición química de 69 muestras del sedimento superficial de una porción de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado en el estado de Guerrero con el fin de conocer su origen y distribución. Este estudio contribuirá al conocimiento de una región más de la ZEE de México, de la cual existe escasa información.

Se estudiaron los elementos mayores: Al, Na, Si, Fe, Ca, Ti, Mn, Mg, K, P; metales traza: Cr, Ni, Co, Zn, V, Rb, Pb, Sr, Ba; algunas tierras raras: Y, Zr, Th; contenido de carbonatos, materia orgánica y pérdida por calcinación. Adicionalmente se contó con los valores de susceptibilidad magnética y con el análisis sedimentológico de las muestras cuyo contenido de arena grava y lodo permitió relacionar estos parámetros con la composición química.

A través de un análisis estadístico multivariado de la información generada pudo inferirse el origen terrígeno, biógeno o autígeno de los sedimentos. El análisis de la distribución y concentración de los parámetros estudiados permitió evaluar el grado de influencia terrígena en la plataforma.

La consideración de los datos obtenidos permite diferenciar dos grandes tipos de sedimento: a) terrígenos, los cuales se acumulan en las partes más profundas de baja energía que permiten la sedimentación del material más fino que contiene las más altas concentraciones de materia orgánica, este material está siendo aportado en gran medida por los ríos que drenan el área; y b) biogénicos que se encuentran en las partes menos profundas en donde predominan el tamaño de grano de arena; estos sedimentos tienen porcentaje alto de carbonato de calcio con lo que se diluye la concentración de elementos terrígenos (mayores y traza). La presencia de procesos diagenéticos se manifiesta por la existencia de algunos minerales autigénicos.

INTRODUCCIÓN

Más del 70 % de la superficie de la tierra yace bajo los océanos, encerrada en un profundo misterio, prácticamente desconocida e inexplorada; no obstante, apenas está comenzándose a integrar el complejo cuadro de los fondos oceánicos –su topografía, composición e historia y la naturaleza de los procesos químicos y físicos que operan a través de ellos (Lett y Judson, 1993). También, el océano representa una fuente importante de recursos naturales para el hombre y debido a que la población mundial se incrementa con una muy alta tasa de crecimiento, se hace necesario buscar nuevas fuentes de alimento y materias primas; por esta razón, el hombre vuelve cada vez su mirada al mar para tratar de satisfacer dichas necesidades.

Por otra parte, los recursos fluviales, costeros y marinos del todo nuestro planeta se encuentran en una situación crítica debido al constante incremento de las actividades productivas, que traen consigo fuertes alteraciones ecológicas. Para combatir las amenazas al medio es necesario conocer la naturaleza y la magnitud de los problemas involucrados, para lo cual se necesita conocer la estabilidad y efectos de un sistema natural ante cualquier tipo de perturbaciones ya sean naturales o inducidas tales como la descarga, distribución y reactividad de los contaminantes en el ambiente (Méndez, 1998).

Los estudios químicos en sedimentos marinos obedecen muchos y muy diversos intereses. La geoquímica de los sedimentos juega un papel importante en la investigación sobre la influencia que las fuentes continentales imprimen sobre el océano (Manjuata, 1997). Al estudiar los sedimentos marinos se pueden inferir los procesos que los originan, la manera en que interactúan y cómo influyen entre ellos. Además, a través de su estudio pueden conocerse la concentración y distribución de metales y/o minerales de interés particular y que permiten hacer estudios de procedencia, es decir, que pueden conocerse la fuente exacta que les esta dando origen puesto que la química de los océanos y sedimentos no sólo esta controlada por procesos superficiales, sino por fluctuaciones en aportes continentales. volcánicos, glaciares, hidrogénicos, biogénicos e incluso cosmogénicos.

La entrada al medio marino de contaminantes en exceso produce condiciones tóxicas para los organismos; siendo los sedimentos el destino final de muchos de los contaminantes, su investigación aporta una valiosa información en los estudios ambientales (Rosales, 1992). Los sedimentos pueden reflejar la calidad actual de un sistema y además son un recurso para registrar los cambios temporales en el mismo (Ortiz, 2000); de esta manera pueden tenerse bases de datos que reporten las condiciones naturales de los sedimentos y permitan hacer comparaciones y conclusiones sobre la salud del sistema en cualquier momento dado.

La investigación sobre los recursos minerales del mar adquiere cada día mayor importancia, ya que el auge industrial en la actualidad se basa en gran medida en el uso de recursos minerales y los minerales de las tierras emergidas se descubren cada vez con un mayor grado de dificultad y algunos de ellos tienden a agotarse (Mero, 1973 citado por Carranza, 1986). El lecho marino contiene inmensos depósitos de importancia económica porque todos los elementos presentes en la naturaleza están en el mar, pero en la actualidad apenas están siendo exploradas las regiones de las placas continentales. Estas regiones son por lo general la continuación de las masas de tierras adyacentes y sus rocas y depósitos minerales tienen características similares a las del continente. Casi siempre están cubiertas con sedimentos detríticos tales como la arena y el limo, pero en algunas áreas pueden estar presentes grandes depósitos de minerales marinos como la fosforita y los nódulos de manganeso.

México cuenta con una Zona Económica Exclusiva (ZEE) que es mayor a su superficie terrestre (Figura 1.1); sin embargo la investigación que se hace ha hecho sobre ella es mínima y esta dirigida principalmente a la explotación de recursos pesqueros y la extracción de hidrocarburos, por lo que se conoce muy poco acerca de los recursos naturales potencialmente explotables que pueden, en un momento dado, contribuir al fortalecimiento económico de nuestro país.

Recientemente (junio del 2000) se firmó entre Estados Unidos y México el Tratado de Delimitación de la plataforma Continental más allá de las 200 millas náuticas -pendiente desde 1978- que precisa cómo se repartirá la llamada "dona occidental" que se encuentra entre la ZEE de ambos y la que -de acuerdo a estudios de los dos países- se ha confirmado la existencia de un alto potencial hidrocarburos; también en el tratado se prohíbe la explotación de los yacimientos transfronterizos en un plazo de 10 años con el fin de que México tenga la opción tanto de planear su explotación como de adquirir la tecnología adecuada para ello, al mismo tiempo se evitará que se puedan multidireccionar los ductos succionadores para extraer el energético de forma desde algún otro lado (Carriles, 2000; Reforma, 2000).

El ejemplo anterior nos da idea de los efectos positivos que produce el conocimiento de la ZEE. Existen también algunos ejemplos que ilustran que el costo del desconocimiento de los recursos naturales nacionales es grande; por ejemplo, tiempo después de que México perdiera la Isla Clarión que se encuentra en el Océano Pacífico se encontró que las cercanías de esta había grandes cantidades de nódulos ferromagnéticos.

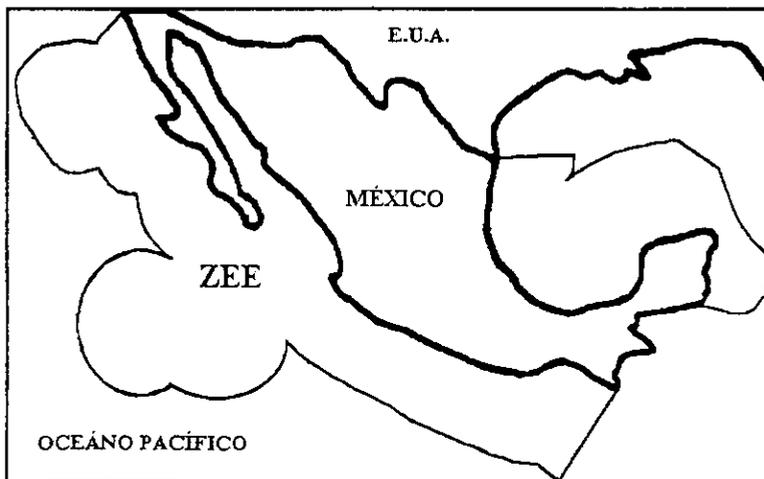


Figura 1.1 Zona Exclusiva Económica de México

El presente proyecto se llevó a cabo con el apoyo del CONACyT a través del Proyecto T9701-002V denominado Sedimentología de la Región de Ometepec (Sedimento I) y se desarrolló en el laboratorio de Química Marina y Contaminación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

El área de estudio es una porción de la Plataforma Continental adyacente a Punta Maldonado y se encuentra en el litoral del Océano Pacífico cerca del límite de los estados Guerrero y Oaxaca. Uno de los intereses de estudiar el área se debe a las características contrastantes en la sedimentología y morfología que presenta Punta Maldonado con respecto al patrón general que rige en la plataforma continental de todo el estado de Guerrero (Márquez y Morales 1984); en relación con el resto del estado, en esta región la plataforma continental es amplia, existen franjas de arena muy anchas y cantidades importantes de material muy fino cerca de la línea de costa.

Otra razón para investigar el área es que en estudios realizados en zonas cercanas a ella se han reportado evidencias de minerales de importancia económica; por ejemplo, en el Golfo de Tehuantepec se encontraron sedimentos que contienen altas concentraciones de fósforo y que podría sugerir la existencia de importantes bancos de fosforitas (Carranza, 1989); en playas de Oaxaca, adyacentes a la zona de estudio, se encontró que en la fracción fina de las muestras estudiadas existen concentraciones altas de hierro (1-35%) y titanio (0.2-40.9%); en el estado de Guerrero se reportó la existencia de un depósito de arenas titano-ferríferas por alta concentración de ilmenita y magnetita (Carranza, 1988).

A partir del análisis químico del sedimento de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado y en virtud de todo lo expuesto anteriormente se pretende que al final de este estudio:

- ~ se contribuya al conocimiento sedimentológico básico de la plataforma continental
- ~ se conozca la concentración, distribución y origen tanto de los sedimentos como de algunos elementos químicos que los componen

- ~ se detecten sedimentos que por su composición mineralógica reflejen algún interés de tipo económico
- ~ se puedan iniciar estudios de procedencia en el caso de encontrar sedimentos de importancia ya sea económica o ambiental
- ~ se generen bases de datos sobre las condiciones naturales del sistema como punto de comparación para evaluar grado de afectación de los ambientes acuáticos en estudios posteriores
- ~ se contribuya al conocimiento y caracterización de una región más de la ZEE de México de la cual existe escasa información.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar, por medio del uso de parámetros químicos y sedimentológicos, el origen y distribución del sedimento superficial de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado.

PARTICULARES

- ⇒ Determinar la composición química de los sedimentos superficiales del área de estudio por medio del análisis de elementos mayores: Al, Na, Si, Fe, Ca, Ti, Mn, Mg, K, P; metales traza: Cr, Ni, Co, Zn, V, Rb, Pb, Sr, Ba; algunas tierras raras: Y, Zr, Th; contenido de carbonatos, materia orgánica y pérdida por calcinación.
- ⇒ Evaluar en el área la correlación entre los parámetros químicos, sedimentológicos, batimétricos y litológicos del área continental inmediata.
- ⇒ Por medio del análisis de los parámetros mencionados, determinar el origen de los sedimentos: terrígeno, biógeno, autígeno o diagenético.

ANTECEDENTES

Los estudios de sedimentos son de interés científico ya que permiten inferir los procesos que se han llevado a cabo en un área determinada; por ejemplo, a partir del estudio de núcleos de sedimentos pueden evaluarse las épocas de glaciación, las variaciones en el nivel del mar, los cambios de los polos magnéticos de la tierra, etc. Los estudios de sedimentos recientes permiten inferir los procesos que los han originado; e esta manera, en la zona costera se han utilizado para evaluar los patrones de circulación en el fondo, los efectos de erosión y depósito así como los efectos antrópicos por descargas al medio ambiente. Por otro lado, la determinación y caracterización de éstos en los ambientes marinos permite eventualmente relacionar el sustrato con la distribución de organismos bentónicos (Carranza y Morales, 1998).

2.1 DEFINICIÓN DE SEDIMENTO

Gran parte de la superficie terrestre y oceánica está cubierta con materiales que son originados a partir de la acción de los agentes externos, como los vientos, las aguas y la presencia de sustancias en la atmósfera como CO₂ y SO₂ que producen lluvias ácidas y erosionan las rocas; este proceso es conocido como intemperismo. Los materiales del intemperismo pueden originarse ya sea como despojos sólidos o como sustancias disueltas, estos materiales son llamados sedimentos (del latín *sedimentum*, "materia que asienta"). Los materiales sólidos son depositados por ríos, lagos, glaciares y corrientes oceánicas y las sustancias disueltas son depositadas química o bioquímicamente en los océanos (Lett y Judson, 1993; Press y Siever, 1994).

2.2 TIPOS DE SEDIMENTO

Los elementos básicos de todo sistema sedimentario son: a) origen, b) transporte o distribución, c) deposición o acumulación y d) procesos post-deposición. Cada uno de estos elementos está influido por varios factores, que a su vez, estarán determinados por el medio ambiente. De esta manera, el clima, el

relieve, la geología regional o las condiciones oceanográficas determinaran la cantidad y naturaleza de los sedimentos suministrados al mar (Davies, 1976; Riley y Chester, 1989).

Los sedimentos marinos están compuestos de partículas no consolidadas que cubren el piso marino (Libes, 1992). La composición química de los sedimentos marinos muestra una gran variedad y esta determinada por diversos factores como: los productos del intemperismo continental, los caparazones y materia orgánica producida por los organismos, las sales precipitadas del agua de mar, los productos volcánicos y los productos de la diagénesis; de esta manera, el origen de los sedimentos determina su composición química (Carranza et al, 1986; Libes, 1992).

De acuerdo a sus componentes, según Arrhenius, Golber y Krinine (Calvert, 1976) los sedimentos se clasifican en:

A) Litógenos, terrígenos o detríticos: se componen de fragmentos de rocas, son derivados del continente por intemperismo y transportados por hielo, ríos o viento.

B) Hidrogénicos: derivados de precipitados inorgánicos, formados del agua de mar o el agua de la interfase en áreas cercanas a la costa o mar adentro.

C) Biogénicos: debidos a la degradación de los tejidos y todo tipo de excretas del material vivo y dependen de la disponibilidad de los nutrientes o también son producto de la dispersión orgánica.

D) Diagenéticos. Son producto de reacciones químicas en las cuales puede intervenir la actividad biológica, en ocasiones pueden estar formados por manganeso, hierro y otros óxidos metálicos, tales como, sulfato de bario, aluminosilicatos y fosfatos (Calvert, 1976; Riley y Chester, 1989). De acuerdo con Marfil y De la Peña (Arche, 1992), un sedimento diagenético ha sufrido modificaciones físicas y químicas después de su deposición y estos cambios son a veces los responsables de la formación de depósitos minerales de importancia económica (Folk, 1974).

E) Cosmogénicos: son aquellos derivados de fuentes extra-terrestres (Riley, 1989; Libes, 1992).

F) Antropogénicos: son aquellos que debido a las actividades humanas son introducidos al océano. El hombre ha acelerado en gran medida la introducción de partículas terrestres al mar y mucho de este material es suelo que está siendo erosionado como resultado de la deforestación y de la agricultura. En varios lugares, el daño en los ríos ha alterado la entrada de partículas litogénicas a las costas oceánicas y ha ocasionado con ello la formación de sedimentos relictos y erosión de la línea de costa. El bombeo de aguas residuales ha incrementado enormemente el contenido de materia orgánica de algunos sedimentos y aguas costeras causando con ello, episodios periódicos de anoxia (Libes, 1992).

2.3 FACTORES QUE CONTROLAN EL DEPÓSITO DE SEDIMENTOS

Parámetros Físicos: los que más influyen en los procesos de transporte son la anchura, la profundidad, la pendiente y la morfología, pues controlan el modo de disipación de la energía del oleaje sobre el fondo, la exposición a los temporales y las áreas de incremento o disminución de las corrientes, según los obstáculos que encuentren. La latitud y el clima están en íntima relación y de ellos depende el tipo de intemperización, la naturaleza del aporte sedimentario, el régimen de avenidas, la intensidad de las tempestades y las direcciones predominantes de aproximación de los frentes de tempestad y oleaje. La orientación de la plataforma con respecto al resto de los parámetros físicos arriba mencionados, será a su vez determinante del nivel energético del fondo.

Aporte Sedimentario: las principales fuentes de aporte de sedimento son:

- Fluviales: el aporte mayor de sedimentos lo constituyen los ríos.
- Glaciares: el 20% del material del mar es aportado por los glaciares de altas latitudes y que contribuyen con partículas finas y gruesas.
- Volcánico: material volcánico (Boilot, 1984).

Proviene también de la movilización de sedimentos heredados y de las corrientes de densidad generadas al calmarse las tempestades y volver al mar el agua cargada del sedimento erosionado de las zonas litorales (Dabrio, 1992).

Procesos de Transporte: los mecanismos de transporte del sistema sedimentario marino son todos debidos al gradiente de gravedad y los principales agentes de transporte de sedimento son:

- Corrientes: generadas por olas, temperaturas anómalas, cambios de presión, viento o diferencias de densidades (Calvert, 1976; Riley y Chester, 1989).

- Viento: las partículas muy finas son transportadas por el viento (Boilot, 1984).

Los más activos son las corrientes de tormentas y las corrientes litorales. El oleaje de buen tiempo no suele afectar el suelo y sus efectos son mínimos. El oleaje de tormentas provoca erosiones generalizadas cuyas superficies se siguen lateralmente en sondeos y afloramientos, sobre las que se depositan en secuencias de energía decreciente análogas a las expuestas en ambientes sublitorales. Las corrientes más importantes desde el punto de vista del transporte son las meteorológicas y las mareales. La intensidad y el tiempo de actuación de las primeras son estacionales, mientras que las segundas actúan con mayor continuidad y con intensidad variable de modo regular.

Cambios estáticos: producen cambios en el nivel del mar y en la profundidad, es decir, del espesor de la capa de agua que hay sobre cualquier punto del fondo y modifican la capacidad de actuación del oleaje y de las corrientes, lo cual puede producir intemperismo mecánico en las zonas continentales adyacentes. Además controlan la inmersión o el hundimiento de algunas partes de la plataforma, exponiéndolas o protegiéndolas de la erosión y haciendo cambiar la distribución y extensión de los ambientes sedimentarios, que pueden llevar sedimentos terrestres a zonas anteriormente sumergidas o viceversa; regulan el nivel base de los ríos y con ello su capacidad de transporte y su dinámica general como aportadores de sedimento.

Acción de los organismos: modifica profundamente las características del sedimento, especialmente en su parte superior. La actividad orgánica se lleva a cabo a varios niveles y corre a cargo de diversos tipos de organismos que, como resultado indirecto, bioturban el sedimento, llegando incluso a destruir su estructura original. A su vez, el tipo de sustrato y condiciones hidrodinámicas en el fondo ejercen un fuerte control sobre la biota: en sustratos arenosos con activo transporte de carga de fondo la biota es pobre y no suele haber epifauna bentónica, mientras que en sustratos de grano fino y de aguas más tranquilas hay mayor densidad bentónica y los comedores de sustrato remplazan progresivamente a los filtradores de alimento suspendido.

Procesos Químicos: revisten gran interés y de su estudio pueden sacarse muchas conclusiones sobre la génesis de los depósitos de la plataforma. Entre los más interesantes destaca la génesis de minerales autigénicos, es decir, formados en el propio ambiente, que pueden utilizarse por ello para identificarlo. En fondos con escasa sedimentación terrígena se forman minerales: chamosita en aguas cálidas, glauconita en aguas más frías y fosforitas en zonas de ascenso de corrientes profundas cuyas aguas cargadas de nutrientes favorecen la multiplicación explosiva del fitoplancton. Otros procesos químicos que tienen lugar son: la cementación y la precipitación de diversos compuestos: carbonatos, sílice, hidróxidos de hierro y manganeso, entre otros (Dabrio, 1992).

2.4 RELIEVE OCEÁNICO

El piso oceánico puede ser dividido en una serie de regiones topográficas: playa, plataforma continental, talud continental y cuencas oceánicas.

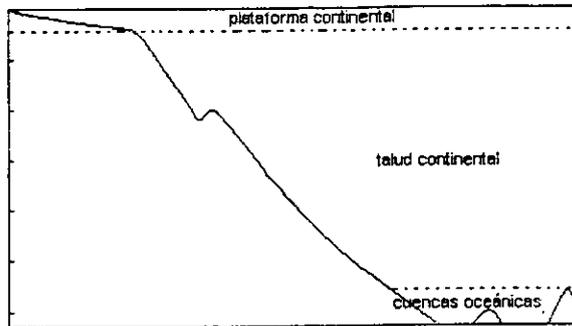


Figura 2.1 Perfil típico del margen continental

Plataforma continental

La plataforma continental es una parte del fondo marino que se extiende desde la costa hasta el quiebre de pendiente que da paso al talud continental (Dabrio, 1992). La rotura de pendiente se produce a profundidades distintas (por término medio a 200 m) y no se sitúa a una distancia fija de la costa; es la continuación de las tierras continentales hacia el fondo del océano, es relativamente ancha y alcanza a medir de 70-80 Km en promedio (Boilot, 1984).

Las características peculiares de la región costera, el clima, los accidentes geográficos o topográficos, el desagüe de los ríos y la presencia misma de la línea de costa imprimen características peculiares. La plataforma continental se construye cuando menos parcialmente con las aportaciones continentales, la topografía misma del continente determina frecuentemente el tipo de plataforma en el área, así se ha visto que macizos montañosos próximos a la costa corresponden con grandes profundidades de la parte litoral en cambio las planicies costeras van acompañadas en la misma área de amplia plataforma continental (Sevilla, 1977).

Emery (1980), menciona que casi el 70 % de la plataforma continental están formadas por sedimentos relictos, que incluyen por ejemplo: lodo calcáreo, fango silíceo, arenas puras, fosforita y nódulos de ferromanganeso (Calvert, 1976; Riley y Chester, 1989). Donde el oleaje disminuye, el sedimento se hace más fino, del tamaño de los limos, e incluso de las arcillas. Los depósitos enormes de minerales, petróleo

y gas natural, que se encuentran bajo el peso de la plataforma continental representan una gran riqueza potencial. Las aguas situadas por encima de algunas partes de la placa son altamente fértiles, y es en esta área en donde se encuentran las principales pesquerías marinas.

Talud Continental

La profundidad oscila entre 200 - 400 m, tiene una pendiente de 4° - 5° de inclinación y es una planicie escalonada estrecha (Boillot, 1984). Los minerales importantes en esta área son las fosforitas y las glauconitas (Chester, 1990).

Cuencas oceánicas

La morfología variada está determinada por los márgenes que la rodean. El aporte mineral importante lo hacen los nódulos ferromagnéticos.

2.5 RECURSOS MINERALES EN FUNCIÓN DEL ÁREA OCEÁNICA

Los márgenes continentales reciben los productos del intemperismo y desechos continentales, y constituyen una de las zonas más fértiles de los océanos donde la productividad es alta, por lo que altas concentraciones de materia orgánica son sepultadas junto con los aportes continentales (Carranza et al, 1986).

Entre los recursos minerales que destacan sobre el piso oceánico, los que se encuentran en las áreas de las aguas someras y que son además de origen detrítico, representan quizá uno de los recursos más atractivos, como es el caso de los depósitos de placer o de las materias primas para la construcción tales como la grava y la arena (Carranza, 1986). Por otro lado los minerales detríticos de los litorales y de la plataforma continental, constituyen fuentes muy importantes para obtención de rutilo, monacita, zircón, casiterita, granate, ilmenita, oro, platino y diamante entre otros (Duna, 1986; Kent, 1980; Crutchfield, 1982, citados por Carranza, 1986).

ÁREA DE ESTUDIO

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Punta Maldonado, Guerrero (figura 3.1) es una saliente que forma el litoral del Océano Pacífico cerca del límite entre los estados de Guerrero y Oaxaca. En ella se encuentra un faro. La parte NO se conoce como punta escondida, al N de ella se forma un caleta en donde se puede desembarcar; al SE de Punta Maldonado se levanta un pico de Chacal, útil de referencia para los navegantes.

La zona de estudio está situada en el Océano Pacífico entre los meridianos 98° 00' y 99° 00' de longitud oeste y el área geográfica cubre la plataforma continental, talud y piso oceánico frente a Punta Maldonado, Guerrero. Tiene una longitud aproximada de 70 Km desde el Río Marquelia hasta el Río La Arena, límite con el Estado de Oaxaca (figura 3.1).

3.2 HIDROLOGÍA

El Río Quetzala es el más importante pues es el cuerpo de agua con mayor caudal que se encuentra dentro de la zona; está ubicado al NO de la punta (Ortega et al, 1992) y recibe numerosos afluentes, el Río Cortijos entre ellos. En el lado SE de la región existen dos arroyuelos e inmediatamente se encuentra la Laguna de Nontengo. Fuera del área de estudio, pero justo en los límites de ésta, se encuentran los ríos Copala y Marquelia en el lado NO y el Río La Arena en el lado SE, la consideración de estos ríos es de suma importancia ya que tienen una influencia directa sobre el sedimento de la misma (figura 3.2).

3.3 CLIMA

Según la distribución de las hojas que integran la carta de climas, pertenece al cuadrante 14Q - VIII (García, 1988; Carta de climas) y de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988), el clima de la región es caliente subhúmedo con lluvias en verano $Aw_1 (w)igw$ y el promedio de temperatura anual es de 23.5 °C. El promedio de la precipitación anual es de 1168 mm y con viento dominante durante todo el año (Atlas, 1991, Carranza, 1980:

García, 1988). Durante el periodo de mayo a noviembre, el área se ve afectada por fenómenos que se manifiestan como depresiones tropicales, después como tormentas tropicales y llegan en ocasiones a formar huracanes o ciclones tropicales, que siguen una trayectoria casi paralela a la línea de costa (SARH, 1981; citado por Carranza-Marquez, 1986).

3.4 GEOLOGÍA

Geológicamente el área pertenece al periodo Cuaternario, formado por rocas ígneas intrusivas y rocas metamórficas con edades desde el Precámbrico hasta el terciario. El marco geotécnico regional está conformado por un cinturón orogénico cordillero que es una región tectónicamente activa.

El área de estudio pertenece a provincia geológica 12 denominada Chantina (M=edad Mesozoico, p=origen plutónico, ra= ambiente geotectónico de raíz de arco)(Ortega,1982). Esta provincia contiene rocas intrusivas (o plutónicas) en toda la región geológica. En el estado de Guerrero y al sur de Oaxaca se encuentran afloramientos de esquistos, filitas y gnesis, intrusionadas por grandes cuerpos de rocas graníticas (López, 1981).

La litología está constituida en su mayoría por esquistos y gneises precámbricos. Otros tipos de rocas, incluyendo las plutónicas, volcánicas y sedimentarias, afloran (figura 3.3).

Según Lee (Altamira, 1998), la cuenca que drena el Río Ometepec está constituida predominantemente por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas y plutones félsicos del Mesozoico y Cenozoico; los volcánicos y volcanoclásticos cenozoicos, afloran más lejos en la tierra emergida, por lo cual las rocas metamórficas (en su gran mayoría de alto grado) del Mioceno Temprano, vierten cuarzo metamórfico policristalino, fragmentos de roca, silicoaluminatos y abundantes granates.

Esta entidad tiene una configuración eminentemente montañosa y forma parte del Cinturón Circunpacifico, una de las zonas de mayor actividad tectónica en la Tierra

durante la actual era geológica. El proceso de subducción al chocar las placas continental Americana y oceánica de Cocos ha dado como resultado la formación del complejo montañoso de la Sierra Madre del Sur. Los rasgos más distintivos de la provincia son los afloramientos de rocas metamórficas del Precámbrico al Cenozoico, y de rocas intrusivas graníticas y granodioríticas del Paleozoico al Cenozoico en grandes extensiones de su territorio (Lecuanda, 1996).

Las cuencas de captación de todos los ríos de la zona costera inician su curso en la Franja cupro-aurífera (A), constituida por yacimientos mesotermales y vulcano-sedimentarios, esta franja es una inmensa área de "Stoks" y batolitos graníticos, cuarzdioríticos y monzoníticos, con potencialidad de pórfidos cúfridos, asociados a estratovolcanes. Los sedimentos transportados por los ríos se enriquecen de hierro al atravesar por las cuencas de la Franja Ferrífera-cuprífera de "skarn" (B), que se extiende a lo largo de toda la zona costera, formada por yacimientos pirometasomáticos de contacto y por yacimientos de segregación magmática. Estas franjas metalogenéticas, influyen directamente sobre la composición de los sedimentos de la plataforma, que son acarreados por las redes fluviales de los ríos de la zona costera (Márquez y Morales, 1984; Carranza, 1986).

3.5 PLATAFORMA CONTINENTAL

En relación a estudios previos en el área, se puede decir que son muy escasos, destacándose estudios sedimentológicos en toda la plataforma continental de Guerrero (Márquez y Morales, 1984; Carranza, 1986) en los cuales se hace la recomendación de hacer estudios especiales en las zonas adyacentes a Punta Maldonado, pues en esta zona los patrones que rigen en el resto de la plataforma continental del estado, no son asumidos, convirtiéndola en una muy interesante área de estudio. Altamira (1998) realizó un estudio en la misma zona y determinaron los parámetros físicos de la plataforma continental.

En el área de estudio la plataforma y el talud están disectados por un cañón submarino que vierte sedimento hacia la Trinchera Mesoamericana; su cabecera

parte de cerca de la desembocadura del Río Ometepec, el cual es el principal afluente de la cuenca y aportador de sedimento en esta parte del sudoeste de México (Altamira, 1998).

La plataforma continental de la zona de estudio, contrasta con respecto al promedio (10 Km) de la amplitud que existe en el resto de la plataforma continental del Estado de Guerrero, y presenta una extensión de 34 Km y una pendiente de 0° $20'$ en promedio, el borde se encuentra 100m de profundidad, el cambio de pendiente oscila entre 3 y 10° , en esta región se aprecia una terraza que da continuidad a la plataforma conservando la pendiente costera (Márquez y Morales, 1984; Carranza, 1986).

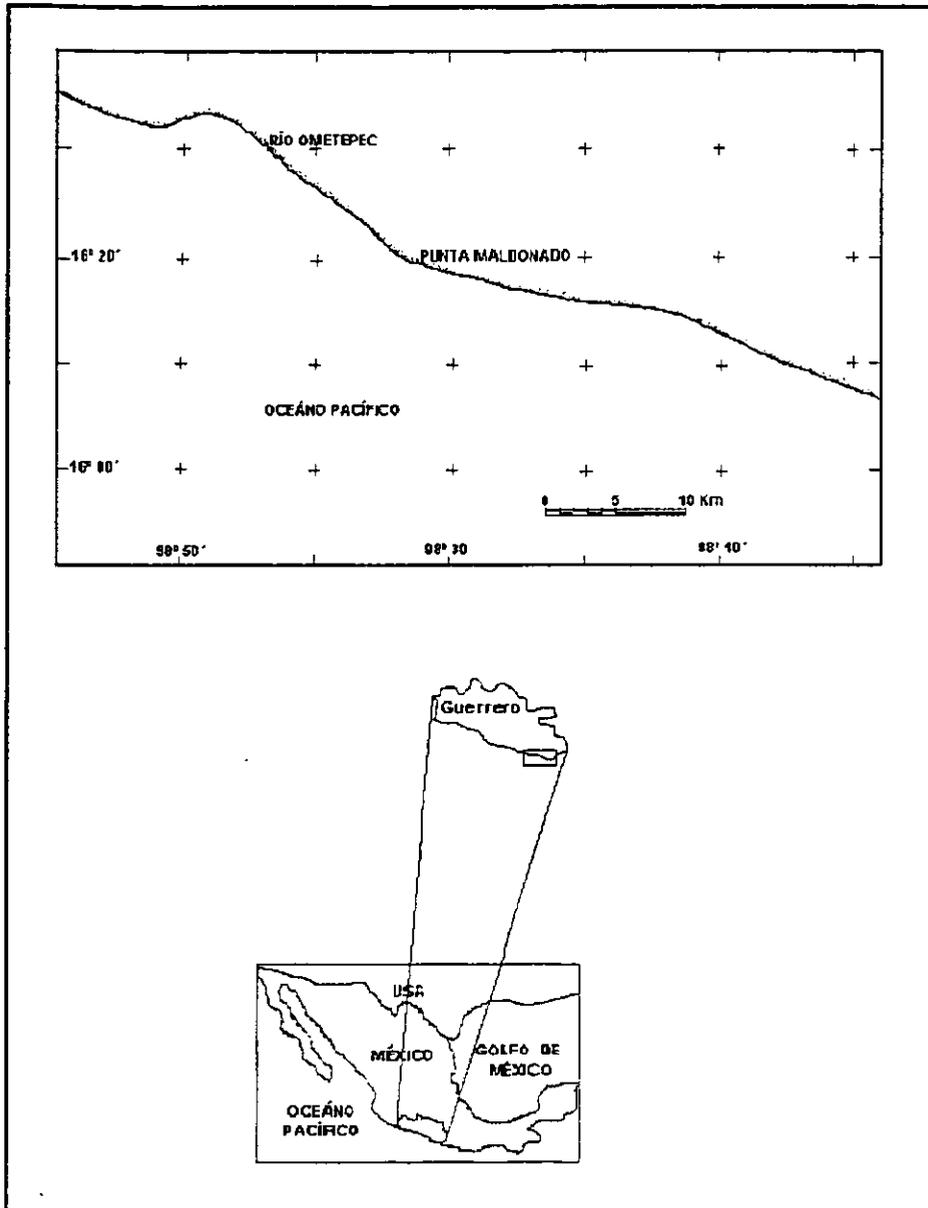


Figura 3. 1 Área de estudio

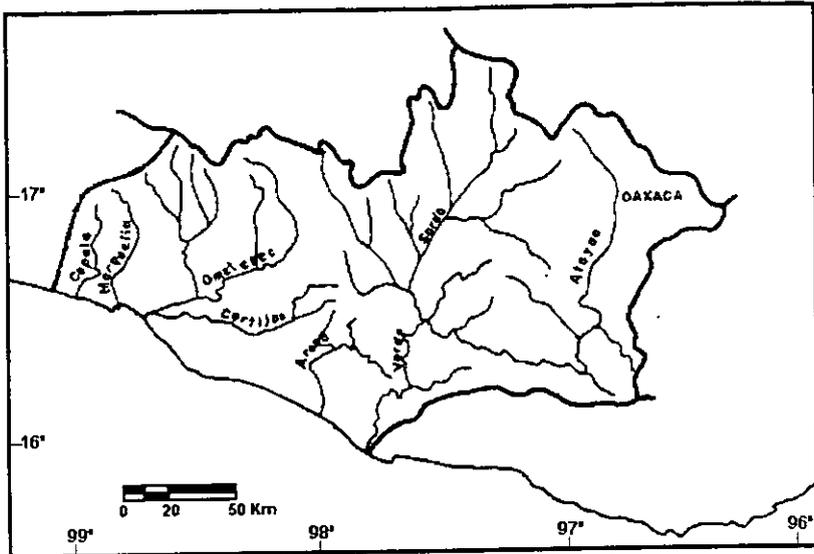


Figura 3.2 Hidrología de la zona de estudio

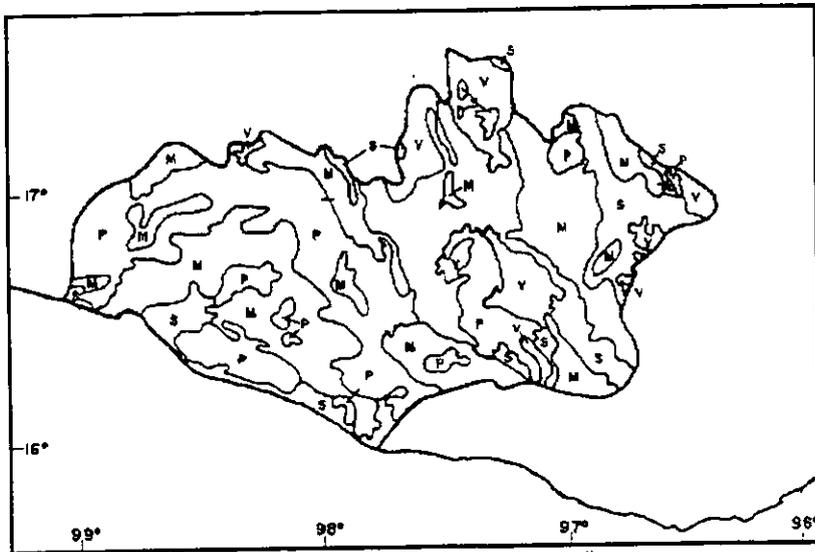


Figura 3.3 Litología de la zona de estudio

METODOLOGÍA

4.1 MUESTREO

A bordo del Buque Oceanográfico El Puma se llevó a cabo una campaña oceanográfica en el que se colectaron muestras de sedimento superficial del área de estudio.

Se efectuaron un total de 168 estaciones, de las cuales 151 están distribuidas en 31 transectos y a profundidades que oscilan entre 18 y 250 metros, el resto de las estaciones se efectuaron para realizar arrastres, ecosondeo más profundo e hidrocalas (Carranza y Morales, 1998). Las estaciones fueron ubicadas en coordenadas geográficas por medio de posicionamiento satelital y radar.

Para el estudio químico se seleccionaron 70 estaciones distribuidas estratégicamente (figura 4.1).

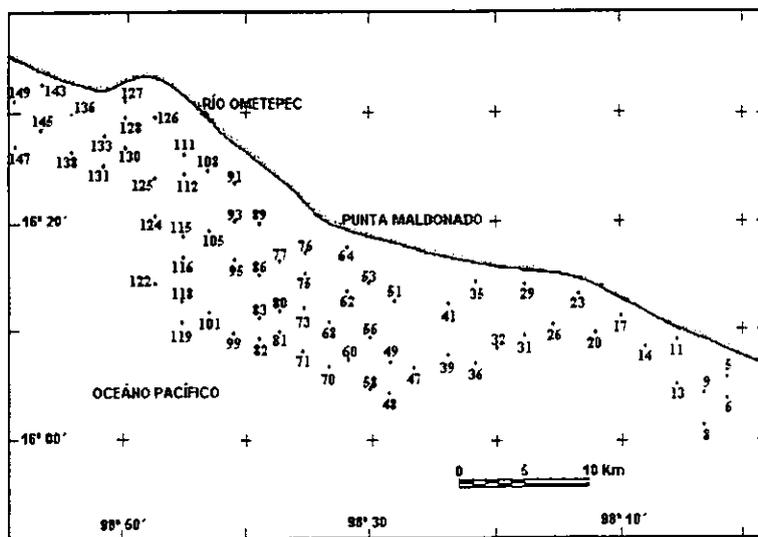


Figura 4.1 Mapa de ubicación de las estaciones muestreadas

En cada estación muestreada se tomaron los datos de profundidad (batimetría), conductividad y temperatura por medio de un CTD (Conductivity, Temperature, Depth).

En la realización de un análisis cuantitativo se toma una muestra lo más representativo posible de la sustancia a analizar. El muestreo se hace de forma que pueda afirmarse que las cantidades del o los componentes encontrados en la muestra sean representativas de la sustancia a analizar (Shenk, 1984).

En nuestro caso se trata de muestra sólida de un mineral que se encuentra en reposo y que hace tiempo que no se ha movido lo que provoca que el sistema tenga una composición muy heterogénea por lo que la toma de muestra es uno de los casos más difíciles y debe hacerse de manera tal que no se pierda información y para ello deberán utilizarse aparatos especiales (Bermejo, 1991).

La toma de muestra se llevó a cabo por medio de una draga Smith-McIntyre (figuras 4.2 y 4.3), la cual tiene la característica de que al tomar la muestra de sedimento se cierra perfectamente bien evitando que, al transportar la draga desde el fondo hasta la superficie a través de la columna de agua, haya escurrimiento del material más fino con lo cual se logra obtener la muestra inalterada.

Los recipientes destinados tanto a la manipulación como a la recepción de la muestra deben ser apropiados, estar secos y exentos de sustancias capaces de introducirse en las muestras y de modificar su composición (Bermejo, 1991). Para el estudio químico se tomó de la draga una muestra de sedimento superficial con una espátula de plástico perfectamente limpia. Con el fin de evitar la obtención de sedimentos que por haber estado en contacto con la superficie metálica de la draga, pudieran contaminar la muestra, el muestreo se realizó tomando el sedimento de la parte central del material dragado. Las muestras de sedimento se colocaron en bolsas de polietileno lavadas con HNO_3 al 30 % y después con agua bidestilada, se etiquetaron perfectamente con el nombre de la campaña, número de estación, fecha y hora.

Para el almacenaje de las muestras debe elegirse un lugar fresco y oscuro, siendo, preciso cerciorarse además, de si existe alguna sustancia que requiera condiciones especiales, por ejemplo, de refrigeración para una buena conservación (Bermejo, 1991). Con el fin de minimizar los cambios químicos que sobre el sedimento pudieran ejercer los cambios climáticos o los microorganismos presentes en él, se almacenaron en el refrigerador del buque y después para su transporte a 4 °C hasta que fueron procesadas en laboratorio de Química Marina en el ICMYL en la Ciudad de México (Rosales, 1980; Álvarez, 1986; Slomp, 1997; Birch, 1996). El tiempo que las muestras se mantuvieron en refrigeración fue el necesario (no más de una semana) para el procesamiento de las muestras para su almacenamiento en laboratorio.

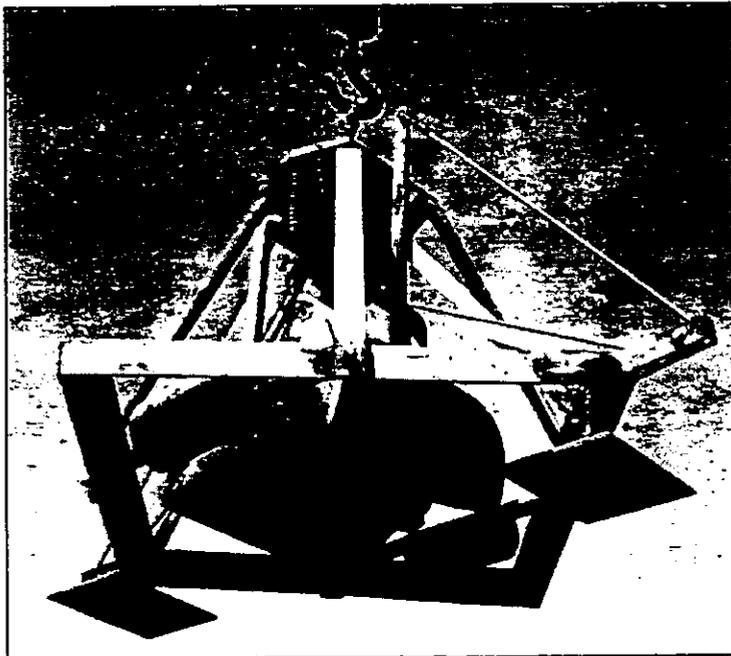


Figura 4.2 Draga Smith McIntyre en posición abierta de entrada

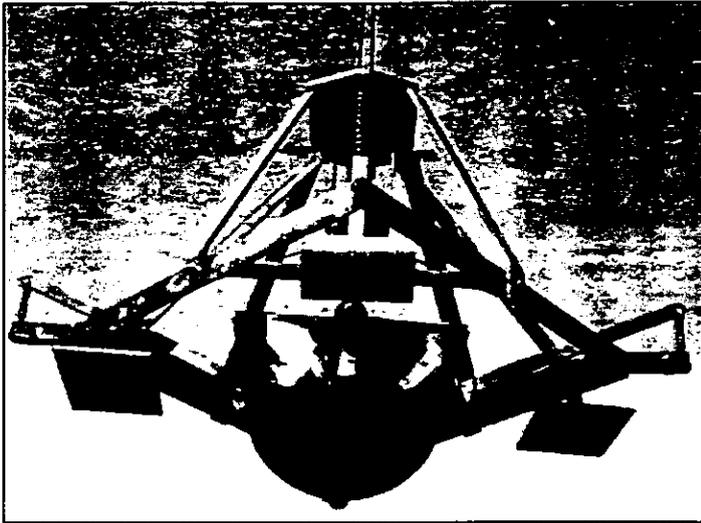


Figura 4.2 Draga Smith McIntyre en posición cerrada de salida

4.2 PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras de sedimento se dividieron en dos partes, una se utilizó para evaluar los parámetros texturales de los sedimentos por medio de tamizado en el laboratorio de Geología marina del ICMYL; el resto se utilizó para los análisis químicos. Adicionalmente se colectó muestra de sedimento para medir la susceptibilidad magnética de los mismos en el Instituto de Geofísica de la UNAM.

El peso mínimo que debe tomarse para la muestra depende del grado de división, del contenido de impurezas y de la naturaleza del producto a analizar, de este modo, si el diámetro de los fragmentos mayores es de unos 3 mm bastara con tomar 2 Kg de muestra; si el diámetro superior es de 1 mm, serán suficientes 30 g, etc (Bermejo, 1991). Aunque el tamaño de las partículas mayores (grava) de los sedimentos es 2 mm, para los análisis químicos se tomaron 200 g debido a la cantidad de análisis que iban a realizarse.

Para almacenar los sedimentos en el laboratorio fueron colocadas en cápsulas de porcelana y secadas en la estufa por 24 horas a 110 °C con el fin de eliminar el agua.

Para muestrear sólidos que tienen partículas grandes no uniformes primero se deben reducirse a un tamaño de partícula pequeña y después deben pulverizarse para obtener un tamaño de partícula uniforme y homogeneizar la muestra (Bermejo, 1991), debe tenerse cuidado que durante la molienda la muestra no vaya a quedar contaminada con polvo, agua o partículas de otras sustancias (Shenk, 1984); de esta manera, las muestras fueron molidas primero en un mortero de porcelana y posteriormente se pulverizaron y homogeneizaron con un molino de rotación (SPEX 8000 Mixer/Mill) en un vial de Tungsteno Carbide con el cual se evita la contaminación por metales. Finalmente las muestras se guardan en bolsas de polietileno cerradas y perfectamente etiquetadas. Las muestras se almacenaron en un lugar seco y fresco a temperatura ambiente.

La muestra utilizada para el análisis debe de tener una composición constante con respecto a la humedad que la impregna. Debido a que las muestras se pulverizan finamente, se encontraran en forma de pequeñas partículas y por lo tanto existe el riesgo de que -aún cuando se encuentren guardadas en las bolsas cerradas- una gran superficie pueda estar en contacto con la atmósfera, la situación anterior puede ocurrir un intercambio de vapor de agua que provocará cambios en la composición de la muestra; por esta razón, antes de llevar a cabo cualquier determinación analítica, las muestras fueron secadas en la estufa a 110 °C por 2 horas o hasta obtener peso constante. Las muestras así tratadas fueron almacenadas en un desecador (Paez y Fung, 1984; Bermejo, 1991).

4.3 REPORTE DE LOS RESULTADOS

En el análisis de un mineral, tiene especial importancia, la forma en la que han de expresarse los resultados. Cuando se estudian minerales tan complejos a los que no se les puede asignar una fórmula química sencilla, generalmente se da el

contenido de cada metal como óxido y casi siempre en el estado de más alta oxidación, así por ejemplo, el magnesio se expresa como MgO y el fósforo como P₂O₅. Expresar la concentración de un componente como óxido no implica que se haya determinado el oxígeno correspondiente, en otras palabras, el componente se determina como corresponda y se calcula y reporta como si fuera óxido (Vogel, 1969); por ejemplo, en la determinación de elementos mayores por fluorescencia de rayos X se reportan los elementos mayores como % de sus óxidos siendo que en la espectroscopia de FRX se realiza análisis elemental.

4.4 DETERMINACIONES

Para conocer la composición química de los sedimentos se realizaron 4 determinaciones a cada una de las 70 muestras: análisis del contenido de materia orgánica, por titulación redox (apéndice A); análisis del contenido de carbonatos, por titulación ácido-base (apéndice B); análisis del contenido de elementos mayores y traza (Al, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K, P, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, V; Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Th y Pb), por fluorescencia de Rayos X (apéndice C) y análisis de pérdida por calcinación, por gravimetría (apéndice D).

4.5 TRATAMIENTO DE DATOS

El principal objetivo del análisis químico es la obtención de datos significativos. Una serie de números puede caracterizarse por su exactitud y precisión (Shenk, 1984).

Exactitud: es la concordancia que existe entre el resultado obtenido y el verdadero valor de la magnitud que se trata de medir. Cuando se tiene los resultados de una serie de medidas de la misma magnitud, se suele aceptar como valor más probable de la medida el valor medio de todos ellos. El error absoluto de una determinación es la diferencia entre el valor obtenido y el valor verdadero o más probable; el valor del error absoluto es una medida de la exactitud de la determinación (Bermejo, 1991). Los errores absolutos no pueden compararse

entre sí, en su lugar debe calcularse el error relativo (E. R.) y utilizarse para comparación. El error relativo es el resultado de dividir el error absoluto entre el valor verdadero y multiplicar por 100 porque generalmente se expresa como tanto por ciento de error.

$$\text{E.R.} = \frac{(X - \mu)}{\mu} * 100$$

donde: X = valor obtenido

μ = valor verdadero

Precisión: es el grado de concordancia que existe entre el valor numérico de una medición y el de los otros valores de una serie de medidas realizadas en las mismas condiciones. La mejor apreciación de precisión se consigue con el uso de la desviación estándar (σ) que corresponde a la raíz cuadrada de la varianza y se expresa por la igualdad:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

donde: X_i = los valores verdaderos desde $i = 1, 2, \dots, n$

$$\bar{X} = \text{promedio} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Es posible utilizar la teoría estadística para predecir dentro de que límites en torno a la media de la muestra se encontrará el valor real. Estos límites reciben el nombre de *límites de confianza* y se calculan mediante los valores de la *t de Student* y de la desviación normal de la muestra (s):

$$L.C. = X \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$$

Desafortunadamente, la teoría estadística no permite el cálculo de los límites para el valor verdadero con 100% de probabilidad. Siempre hay cierta fracción de riesgo α , o porcentaje de probabilidad ($100 - 100\alpha$) involucrada en dicha predicción. El valor de t varía con la fracción de riesgo o porcentaje de probabilidad involucrada y número de resultados (Shenk, 1984; Bermejo, 1991).

El error absoluto (EA) de la medida de una cantidad X_i está dado por la ecuación:

$$EA = X_i - X_v$$

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

El error relativo (ER) es una cantidad más útil que el EA y está dado por la expresión

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

4.6 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS ANALÍTICOS EMPLEADOS

4.6.1 MATERIA ORGÁNICA (MO)

Para estimar la precisión del método de titulación redox para determinación de materia orgánica se utilizó la muestra de sedimento de la estación 116. La exactitud del método fue determinada utilizando glucosa seca como muestra control (Bermejo, 1991) porque que no se contaba con un estándar certificado de sedimento marino con una matriz semejante a los sedimentos estudiados. La equivalencia de carbono en la glucosa es de 39.99 % (Santiago, 1989). Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

4.6.2 CARBONATOS

Para estimar la precisión del método de titulación ácido-base para la determinación de carbonatos se utilizó la muestra de sedimento de la estación 116. Debido a que no se contaba con un estándar certificado de sedimento marino con

características semejantes a las muestras estudiadas, es decir, con alto contenido de carbono, la exactitud del método fue determinada utilizando carbonato de calcio seco con una pureza del 99 % como muestra control (tabla 4.2).

4.6.3 FLUORESCENCIA DE RAYOS X (FRX)

La determinación de los elementos mayores y traza fue realizada por medio de espectrometría de fluorescencia de rayos X en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) en el Instituto de Geología de la UNAM. Las condiciones de medición se reportan en la tabla 4.3. La precisión y la exactitud de los datos analíticos se realizaron mediante el análisis de dos muestras internacionales de referencia geoquímica (MIRG): WS-E y PM-S (tablas 4.4 y 4.5).

La precisión fue determinada mediante el cálculo del promedio (\bar{x}), la desviación estándar (s para datos generados por el LUGIS y σ para datos de la literatura) y el porcentaje de la desviación estándar relativa (%der). Para los elementos mayores Si, Ti, Al, Fe, Ca y Mg es muy buena (% der < 1) y para Mn y P es aceptable (< 4%), las mediciones para Na y K deben ser mejoradas (Lozano et al, 1995). Para los elementos traza la precisión es aceptable ya que los valores de % der son < 10 %, excepto para Rb (66%), Y (12%) y Nb (15%) en PM-S; se debe tomar en cuenta que la concentración promedio del Rb en esta MIRG está por debajo del límite de detección (Verma et al, 1996).

La exactitud se determinó a partir de las de las pruebas estadísticas de Saturno-Steger (SST) de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$|x - x_{lit}|/2\sigma$$

cuando el valor de la calidad de los datos (Q) es un valor certificado (C) o recomendado (R)

$$|x - x_{lit}|/4s$$

cuando Q es un valor provisional (P) (Lozano et al, 1995; Verma et al, 1996).

Según los resultados de las pruebas se concluye que la exactitud para los elementos mayores en las dos MIRG (excepto para K y P en PM-S) es aceptable,

pues en términos generales SST es ≤ 1 (Lozano et al, 1995). La exactitud para todos los elementos traza en las dos MIRG (excepto Y en PM-S) es aceptable y no representa la influencia de errores sistemáticos en las mediciones realizadas (Verma et al, 1996).

El límite de detección (LD) del método analítico se calculó de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$LD = 3 * \left(\frac{No-2}{Nx-No} \right) * Cx$$

donde No y Nx = número de cuentas en el pico y el ruido de fondo respectivamente para un punto medido en una muestra con concentración Cx (tablas 5) (Lozano y Girón, 1996).

4.6.4 PÉRDIDA POR CALCINACIÓN (PXC)

Para calcular la precisión del método gravimétrico para determinar la pérdida por calcinación se analizó la muestra de sedimento de la estación 147 (tabla 4.5).

Tabla 4.1 Validación del método redox para la determinación de materia orgánica

Precisión			Exactitud	
Repetición	% MO		Repetición	% MO
L	0.40	% MO = % materia orgánica	I	39.98
LI	0.40		II	39.97
LII	0.43		III	39.98
LV	0.40		IV	40.00
V	0.42		V	39.99
VI	0.42		VI	40.00
VII	0.40		VII	39.96
VIII	0.38		VIII	40.01
LX	0.40		IX	40.00
X	0.40		X	39.97
XI	0.40		XI	40.02
XII	0.40		XII	39.99
XIII	0.40		XIII	40.02
XIV	0.40		XIV	40.00
XV	0.40		XV	39.99
N	15	n	15	
X	0.40	x	39.99	
α	0.05	α	0.050	
σ	0.012	σ	0.016	
INTCONF	0.397 - 0.408	INTCONF	39.97 - 40.07	
		% error	0.013	

Tabla 4.2 Validación del método ácido-base para la determinación de carbonatos

Precisión			Exactitud	
Muestra	% CaCO ₃		Muestra	% CaCO ₃
I	32.36		I	99.65
II	32.48		II	98.96
III	32.45	% CaCO ₃ = % carbonatos	III	99.02
IV	32.63		IV	98.86
V	32.36		V	99.74
VI	32.53	n = número de repeticiones	VI	99.28
VII	32.40		VII	98.91
VIII	32.42		VIII	99.37
IX	32.49	x = promedio	IX	99.79
X	32.44		X	98.83
XI	32.27		XI	99.25
XII	32.38	α = nivel de significancia	XII	98.93
XIII	32.35		XIII	99.70
XIV	32.34		XIV	99.01
XV	32.27	σ = desviación estándar	XV	98.79
n	15		n	15
x	32.41		x	99.21
α =	0.05	INTCONF = intervalo de confianza	α =	0.05
σ	0.097		σ	0.38
INT CONF	32.36 - 32.46		INT CONF	99.01-99.40
			% error =	0.21

Tabla 4.3 Condiciones de medición del sistema de FRX

Elemento	Pico (2θ)	Cristal	Colimador (°)	Tiempo de conteo (s)	Fondos (2θ)	KV/mA	Detector	Abs/ref
Si	109.09	PET	0.46	20	108.3 / 110.9	30 / 70	F	Mn, Mg
Ti	86.15	LIF200	0.15	30	85.3 / 86.9	40 / 50	F	Mn
Al	145.06	PET	0.46	20	143.2 / 147.2	30 / 70	F	Fe
Fe	85.73	LIF220	0.15	20	85.1 / 86.6	50 / 40	F + C	Ca
Mn	95.21	LIF220	0.15	30	94.6 / 96.6	50 / 40	F + C	Ca
Mg	21.49	OVO55	0.46	40	20.3 / 23.2	30 / 70	F	Fe
Ca	113.13	LIF200	0.46	30	112.2 / 114.1	40 / 50	F	K
Na	25.96	OVO55	0.46	40	24.4 / 27.6	30 / 70	F	Fe
K	136.72	LIF200	0.46	40	135.8 / 137.7	30 / 60	F	Na
P	141.03	Ge	0.46	40	140.2 / 142.0	30 / 70	F	K
Rb	26.57	LIF200	0.15	100	26.0 / 27.1	50 / 56	F + C	Zr
Sr	35.80	LIF220	0.15	100	35.2 / 36.5	50 / 56	F + C	Rb, Sr
Ba	15.57	LIF220	0.15	100	15.3 / 16.0	50 / 56	C	Sr
Y	23.73	LIF200	0.15	100	23.1 / 24.5	50 / 56	F + C	Rb
Zr	22.50	LIF220	0.15	100	22.2 / 23.0	50 / 56	F + C	Sr, Zr, Y
V	123.18	LIF200	0.15	100	122.7 / 123.6	50 / 56	F	Cr, V
Cr	107.12	LIF220	0.15	100	106.4 / 107.8	50 / 56	F	Ni, V
Co	77.87	LIF220	0.15	100	77.6 / 78.2	50 / 56	F	Zn, Co
Ni	71.27	LIF220	0.15	100	70.8 / 71.8	50 / 56	F + C	Cr, V
Cu	65.53	LIF220	0.15	100	65.0 / 66.0	50 / 56	F + C	V, Cr
Zn	61.55	LIF220	0.15	100	60.0 / 61.0	50 / 56	F + C	Cu

F = Detector de flujo; C = Detector de centelleo; Abs/ref = corrección por absorción y reforzamiento

Tabla 4.4 Validación del método de FRX para la determinación de elementos mayores

MIRG	Parámetro	% SiO ₂	% TiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MnO	% MgO	% CaO	% Na ₂ O	% K ₂ O	% P ₂ O ₅
	LLD (%)	0.05	0.004	0.018	0.006	0.004	0.015	0.04	0.03	0.05	0.03
WS-E											
LUGIS	x	51.16	2.37	13.96	13.56	0.175	5.65	9.16	2.49	0.88	0.284
	s	0.37	0.01	0.14	0.06	0.002	0.03	0.03	0.17	0.1	0.004
	% der	0.72	0.59	1	0.41	1.26	0.61	0.32	6.9	11.22	1.56
	SST	0.09	0.31	0.25	0.49	0.00	0.19	0.28	0.07	0.83	0.20
Literatura	X	51.05	2.42	13.82	13.2	0.17	5.57	9.02	2.47	0.98	0.30
	S	0.58	0.08	0.28	0.37	1.01	0.21	0.25	1.14	0.06	0.04
	% der	1.14	3.3	2.03	2.8	5.89	3.77	2.77	5.67	6.12	13.33
	EA	0.11	-0.05	0.14	0.36	0.005	-0.005	0.14	0.02	-0.10	0.11
	ER	0.215	-2.07	1.01	2.73	2.94	-0.90	1.55	0.81	-10.20	0.215
	calidad	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
PM-S											
LUGIS	x	47.03	1.05	17.14	10.54	0.159	9.31	12.62	2.34	0.169	0.032
	s	0.34	0.01	0.11	0.03	0.003	0.04	0.04	0.04	0.006	0.001
	% der	0.73	0.59	0.65	0.28	1.7	0.39	0.31	1.71	3.43	3.91
	SST	0.03	0.60	0.02	0.77	0.05	0.04	0.31	1.36	1.63	4.50
Literatura	X	46.99	1.11	17.16	10.11	0.16	9.34	12.46	2.04	0.13	0.05
	S	0.65	0.05	0.48	0.28	0.01	0.039	0.26	0.11	1.02	0.05
	% der	1.38	4.5	2.8	2.77	6.25	4.18	2.09	5.39	15.38	100
	EA	0.04	-0.06	-0.02	0.43	-0.001	-0.03	0.16	0.3	0.039	0.04
	ER	0.09	-5.41	-0.2	4.25	-0.63	-0.32	1.28	14.71	30	0.09
	calidad	R	R	R	R	R	R	R	P	P	R

Tabla 4.5 Validación del método de FRX para la determinación de elementos traza

MIRG	Parámetro	Zn	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu
	LLD (%)	1.5	2	1	11	0.5	0.5	0.7	5	2	3	0.5	0.7
WS-E													
LUGIS	x	103	24.6	379	340	31.5	1.61	14.2	336	115	43	57	57
	s	2	1.4	2	11	0.8	0.7	0.9	6	9	3	2	3
	% der	1.9	5.7	0.4	3.2	2.4	0.4	6.3	1.8	8.1	6.8	3.6	5.3
	SST	1.64	0.04	0.6	0.04	0.19	1	0.95	0.06	0.8	0.08	0.13	0.36
Literatura	X	117	25	410	338	30	195	18	340	99	44	55	65
	S	11	5	26	28	4	17	2	32	10	6	8	11
	% der	9.3	5.7	6.2	8.1	12	8.8	14	9.4	10	14	14	17
	EA	-14	-0.4	-31	2	1.5	-34	-3.8	-6	16	-1	2	-8
	ER	-11.96	-1.6	-7.5	0.59	5	-17.43	-21	-1.76	16.16	-2.27	3.6	-12.3
	calidad	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
PM-S													
LUGIS	x	51	1.4	288	161	14	47	3.4	187	326	46	112	46
	s	2	0.9	1	8	2	2	0.5	7	4	3	2	2
	% der	4	68	0.3	4.7	12	4.9	15	3.7	1.3	6.3	1.6	4.7
	SST	0.83	0.06	0.5	0.32	1.5	0.58	0.3	0	0.27	0.25	0.06	1.08
Literatura	X	61	1.2	275	150	11	40	2.8	187	314	48	113	59
	S	6	0.5	13	17	1	6	1	13	22	4	8	6
	% der	9.6	38	4.7	11	11	15	36	7.1	7.1	8.6	7.5	9.4
	EA	10	0.2	13	11	3	7	0.6	0	12	-2	-1	-13
	ER	16.39	16.66	4.72	7.33	27.27	17.5	21.4	0	3.6	-4.2	-0.88	-22
	calidad	R	P	C	R	R	R	P	R	R	R	R	R

EA = error absoluto, ER = error relativo, elementos (ppm)

Tabla 4.6 Precisión de PXC

Repetición	% PPI
I	7.70
II	8.02
III	7.92
IV	7.47
V	7.33
VI	8.23
VII	7.36
n	7
\bar{x}	7.72
s	0.05
σ	0.35

Los datos obtenidos fueron integrados al mapa de muestreo, en el cual se configuraron para obtener las isolíneas y con ello los mapas de **distribución** de los parámetros determinados.

Con el objeto de analizar la información generada (2300 datos aproximadamente) se llevó a cabo un análisis estadístico multivariado por medio del programa Statistica Versión 4.5. Este análisis comprende análisis de Clúster (validado por un análisis de discriminante múltiple), análisis de factores y matrices de correlación de Pearson, se pretende establecer la asociación que existe entre los parámetros químicos (elementos mayores y traza, carbonatos y materia orgánica) y físicos (batimetría, textura, etc.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos generados sobre la composición química, batimetría, granulometría y susceptibilidad magnética (SM) de los sedimentos superficiales de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado se presentan en la tabla 5.1

5.1 BATIMETRÍA

En la figura 5.1 se observa la profundidad de la zona, en general existe un aumento gradual de la profundidad con la distancia. Resulta muy interesante la influencia que tiene el río Ometepepec en la batimetría, pues cerca de la desembocadura de éste, la profundidad aumenta rápidamente e incluso se tiene registrada la presencia de un cañón que podría ser consecuencia de la erosión causada por el gran caudal del río. Otro aspecto importante que hay que resaltar es que en las inmediaciones de la saliente es donde la plataforma continental es más amplia; no se observan declives importantes sino hasta después de los 200 m.

En el límite Este de la zona se observa que la profundidad crece rápidamente y que no hay una plataforma bien desarrollada porque el cañón que genera el Río la Arena favorece los procesos de erosión debido a su flujo.

La elaboración de la batimetría permite el conocimiento de la morfología asociada a la plataforma continental. El conocimiento generado es un instrumento de vital importancia, pues la distribución de los sedimentos es, en gran medida, consecuencia de la morfología y por tanto de la profundidad.

Esta última tiene un papel importante en la definición de los niveles energéticos que gobiernan en la zona.

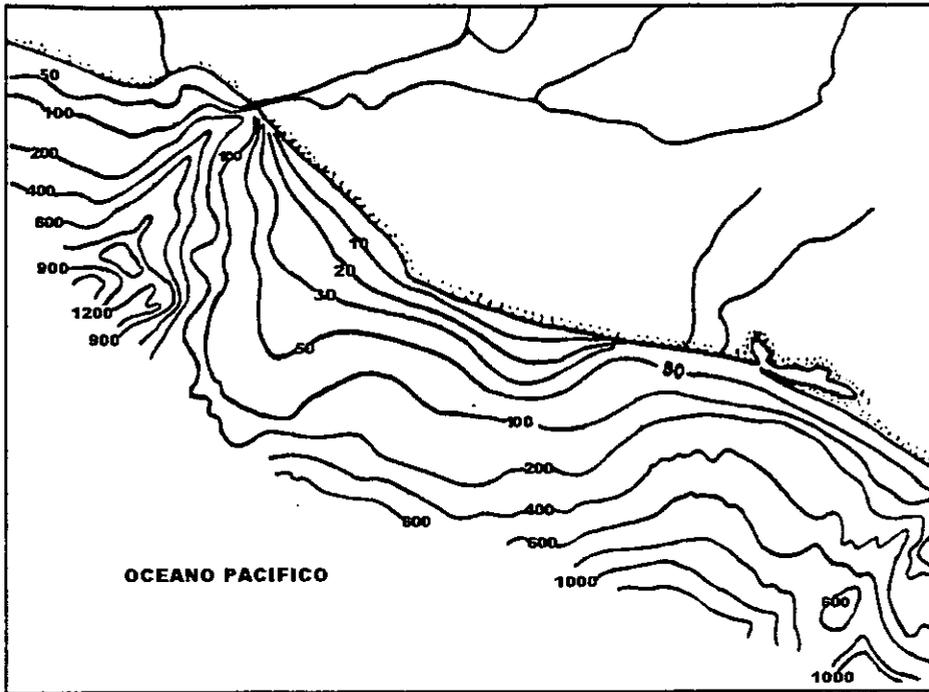


Figura 5.1. Mapa batimétrico (profundidad en metros) (modificado por Carranza y Morales, 1998)

5.2 TAMAÑO DE PARTÍCULA

El estudio del tamaño de las partículas que constituyen a los sedimentos es de gran utilidad debido a que la textura ejerce un control de partición elemental muy importante sobre la mineralogía de los sedimentos (Calvert, 1976); así, por ejemplo, los sedimentos terrígenos de grano grueso pueden tener un significado geoquímico completamente diferente al de los constituidos por partículas finas.

Por otro lado, las diferencias del tamaño de partícula se relacionan con el tipo litológico de las rocas del área fuente y con la distancia entre en área fuente y el área de deposición; de esta manera y de acuerdo con Pettijohn (1975) (citado por Carranza, 1997), sedimentos terrígenos muy gruesos, generalmente se han movido cortas distancias. Los diferentes tipos de energía que existen en el área receptora

del sedimento van a influir en las características texturales: un sedimento arenoso puede reflejar la influencia de zonas de alta energía producidas por la acción del oleaje, mientras que uno lodoso puede caracterizar un ambiente de baja energía.

Conocer la composición granulométrica del sedimento es también importante porque la concentración de los minerales y metales está en función de ésta, siendo común que en las fracciones finas del sedimento se presenten las mayores concentraciones de metales (Calvert (1976), Álvarez et al (1986), Manjuata y Shankar (1995), Carranza (1997), Heruk (1997), Paiva et al (1997), Morales et-al (1998), Shumilin et al (1998)).

Existen varios sistemas de clasificación granulométrica, entre los más importantes se encuentran los propuestos por Folk (1954) y Shepard (1954) para sedimentos con mezclas de arenas, limos y arcillas. Cuando los detritos están formados sólo por arenas y lodos, entonces pueden formarse 4 grupos; arena, arena lodosa, lodo arenoso y lodo (Carranza, 1997).

La composición de cada grupo textural se resume en la tabla 5.2 y la granulometría de los sedimentos del área se determinó a partir del porcentaje de arena de acuerdo al método sugerido por Carranza, et al (1986).

Tabla 5.2 Determinación de la granulometría

ARENA (%)	GRUPO TEXTURAL
mayor o igual a 90	arena
90 - 50	arena lodosa
50 - 10	lodo arenoso
menor o igual a 10	lodo

Según Carranza (1997) este método ha sido varias veces aplicado durante diversas campañas y actualmente Escárcega (1999) y Morales (1999) lo han utilizado también, generando buenos resultados.

Shepard (1932) y Emery (1967) (citados por Márquez y Morales, 1984) indican que la distribución de los sedimentos sobre una plataforma continental es en general debida a corrientes de fondo, exposición a las grandes olas, proximidad a desembocaduras de ríos y lagunas, abundancia de organismos calcáreos y presencia de organismos relictos.

El mapa de distribución granulométrica (figura 5.2) correspondiente al área de estudio muestra que la distribución textural del sedimento varía desde arena hasta lodo y que son éstos últimos los que predominan. Este arreglo espacial está estrechamente relacionado con la pendiente del piso oceánico, con la amplitud de la plataforma continental y por ende con la batimetría .

Los datos sobre la contribución relativa de las fracciones granulares (grava, arena y lodo) en los sedimentos superficiales (tabla 5.1), muestran que la mayoría de los sedimentos están constituidos principalmente de partículas finas de lodo (60 % en promedio), en menor cantidad partículas de arena (37 % en promedio) y finalmente, partículas gruesas de grava (3 % en promedio).

La configuración de los tamaños de partícula de los sedimentos superficiales sobre la plataforma continental es congruente con la susceptibilidad de transporte para cada tamaño, es decir, el sedimento con predominio en arena es el más cercano a la línea de costa y el sedimento lodoso el más distante. Resulta importante destacar que en las cabeceras de los cañones submarinos, donde hay aporte fluvial de agua, existe una pérdida súbita de la energía de transporte con el incremento de volumen de agua y las partículas de lodo se depositan quedando la franja de lodo muy cercana a la línea de costa (Altamira, 1996).

La franja de arena se encuentra en promedio a profundidades de 50-80 m lo que puede implicar que la acción de oleaje empiece a actuar a profundidades menores a las arriba mencionadas y no permita el depósito de sedimentos lodosos a profundidades menores. La arena tiende a disminuir a medida que aumenta la profundidad, observándose luego una mezcla de lodo más arena en las zonas de mediana profundidad y en promedio a partir de los 400 m predominan los sedimentos netamente lodosos.

Emery (1967) y Kuim (1975) (citados por Márquez y Morales (1984) y Carranza (1986)), mencionan que los ríos son los que aportan la mayor cantidad de sedimentos gruesos y que las lagunas van actuar como trampas de estos sedimentos, mientras que los sedimentos finos que se encuentran en suspensión continúan hacia el mar.

Los ríos Marquelia, Ometepepec y La Arena están aportando al océano partículas muy finas de sedimento que posiblemente han viajado largas distancias desde su área fuente. La existencia de estos lodos en áreas cercanas a las desembocaduras y a la línea de costa, se debe a la presencia de los cañones submarinos que generan ahí, grandes profundidades y por lo tanto bajas energías, ello permite que las partículas finas sedimenten.

De acuerdo con la figura 5.2, el patrón de distribución textural refleja que los sedimentos arenosos y las arenas lodosas corresponden a las zonas terrestres en las que no hay desembocaduras de los ríos.

Podría ser que los sedimentos con textura de arena lodosa estén siendo distribuidos en todo lo extenso y plano de la plataforma continental por las corrientes marinas que gobiernan en el área y que éstos provengan tanto de la erosión de escarpes de la línea de costa como de los arroyuelos de la zona.

En el borde de la plataforma se observan arenas, que provienen quizá, de la erosión que producen las corrientes marinas sobre el promontorio localizado en el mismo borde. Es posible también, que las arenas no tengan una influencia terrígena directa; la lengüeta arenosa que se encuentra justo frente a Punta Maldonado puede ser explicada al considerar a éstos sedimentos como *relictos* que, de acuerdo con Mc Manus (1975), son depósitos sedimentarios en los que intervinieron procesos de distribución que actuaron en otro tiempo. Belderson (1971) tiene el concepto de sedimento relicto como un depósito formado durante un estadio bajo el nivel del mar y durante una transgresión post-glacial (Márquez y Morales, 1984). En la porción NW de México las glaciaciones en el Holoceno causaron un descenso en el nivel del mar de 180 m con respecto al nivel del mar actual (Shepard, 1983). A partir del Holoceno comienza una transgresión hasta hace 3000 años, en que empieza a existir una estabilidad del nivel del mar (Curry, 1964). Al elevarse paulatinamente el nivel del mar en la etapa post-glacial e ir cambiando la línea de costa se produce una capa basal de arenas que es el reflejo de una antigua línea de costa, y que quizá quedó al

descubierto por corrientes de fondo o bien no han sido cubiertos por el depósito de sedimentos superficiales recientes.

En estudios realizados en toda la plataforma continental de Guerrero, se encontraron lengüetas arenosas debidas posiblemente a la existencia de sedimentos relictos (Carranza, 1986; Márquez y Morales, 1984). Es posible que las arenas del área del actual estudio, pertenezcan a una capa basal de arenas y que sean reflejo de una antigua línea de costa, es decir, que se trate de sedimentos relictos que quedaron al descubierto por posibles corrientes turbidicas o que no han sido cubiertos por sedimentos superficiales recientes y que consiste principalmente de material roto y retrabajado de la regresión del Holoceno. La comparación entre la composición mineralógica de los sedimentos que conforman la lengüeta arenosa con la de los que forman los sedimentos de la línea de costa y aún con los de los cauces fluviales que aportan el material continental al medio marino, sería la vía recomendable por la cual podría caracterizarse si el sedimento muestreado está en equilibrio y corresponde con el ambiente geológico actual, sin embargo y de acuerdo con Altamira (1998), esto no es necesario ya que Lee (1982), reporta las tasas de sedimentación por épocas para la zona del Bajo Tártaro (la porción más ancha de la zona e estudio se conoce con ese nombre) descartándose la posibilidad de que los sedimentos muestreados sean relictos.

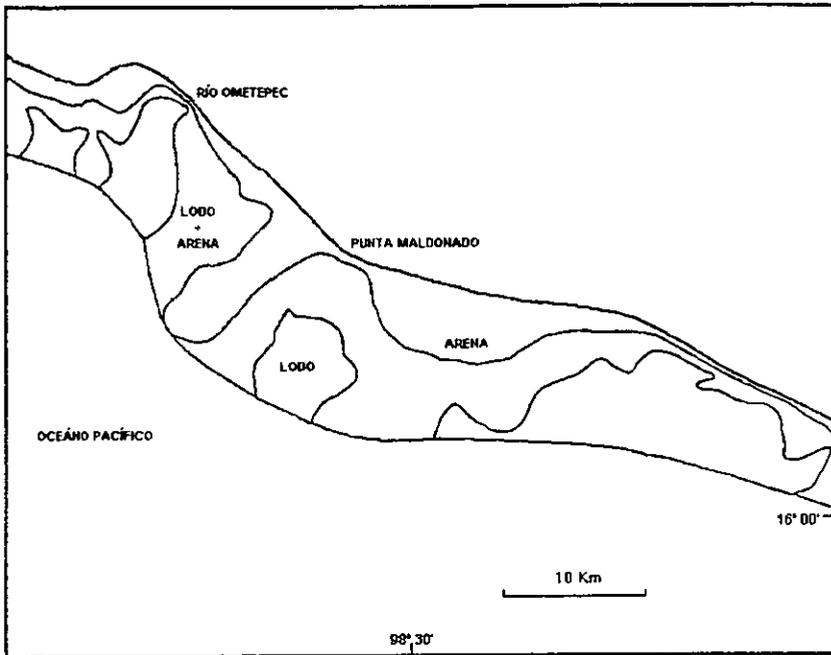


Figura 5. 2 Mapa de distribución granulométrica (%)

5.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química y mineralógica de los sedimentos de los ambientes marinos costeros, refleja los resultados integrados de la influencia litodinámica y biogeoquímica, sobre el material de origen terrestre en el área de la cuenca de drenaje (Chester, 1990). Las variaciones en las concentraciones de los elementos químicos en los sedimentos, están controladas generalmente, por la magnitud de los aportes terrígenos, así como por la distancia a la fuente de aporte a través de la dilución con sílice y los carbonatos de origen biógeno; la composición litológica local juega un papel importante en este caso.

De acuerdo con la tabla 5.3, el promedio de la abundancia de los compuestos y elementos analizados en los sedimentos de la plataforma continental estudiada es como sigue:

$\text{SiO}_2 > \text{CaCO}_3 (\text{CaO}) > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MgO} > \text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O} > \text{Materia Orgánica} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{Sr} > \text{Ba} > \text{Mn} > \text{Zr} > \text{Rb} > \text{Cr} > \text{Y} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Th} > \text{Nb}$.

Al comparar el contenido promedio de los elementos mayores (expresados como porcentaje de sus óxidos) y los elementos traza de la corteza terrestre con los de el área de estudio (y se requiere comparar con los sedimentos del continente) se observa perfectamente, que el material sedimentario correspondiente a la plataforma continental en cuestión, tiene concentraciones altas sólo en Ca, Sr y Zr con respecto a de la corteza terrestre. Es evidente que el sedimento está siendo diluido, en gran medida, por material de origen biógeno marino (carbonatos); como resultado de esta dilución, el contenido de los elementos restantes es bajo con respecto a los de referencia. Resulta importante, tomar en cuenta las altas concentraciones de carbonatos, pues este parámetro permitirá la acotación de regiones de influencia biogénica dentro de la zona de estudio.

Tabla 5.3 composición promedio de sedimentos

Variable	Corteza Terrestre	Área de estudio plataforma	Área de estudio continente
SiO_2 (%)	59.19	41.91	76.33
TiO_2 (%)	0.73	0.64	0.73
Al_2O_3 (%)	15.36	12.93	10.20
Fe_2O_3 (%)	7.15	5.21	2.93
MnO (%)	0.12	0.04	
MgO (%)	3.47	2.61	
CaO (%)	5.08	13.96	
Na_2O (%)	3.81	2.01	
K_2O (%)	3.11	2.22	
P_2O_5 (%)	0.23	0.19	
PXC (%)		18.26	
MO (%)		1.48	
CaCO_3 (%)		20.18	0.00

Tabla 5.3 composición promedio de sedimentos

Variable	Corteza	Área de estudio
	Terrestre	Plataforma
Rb (ppm)	90	71.04
Sr (ppm)	375	638.17
Ba (ppm)	425	402.49
Y (ppm)	33	23.12
Zr (ppm)	165	232.41
Nb (ppm)	20	8.07
V (ppm)	135	87.91
Cr (ppm)	100	70.07
Co (ppm)	25	13.06
Ni (ppm)	75	22.59
Cu (ppm)	55	21.45
Zn (ppm)	70	76.80
Th (ppm)	7.2	10.55
Pb (ppm)	13	15.84

Con la finalidad de tener un patrón de comparación se tomaron 11 muestras de sedimento (10 fluviales y 1 de playa) en la zona continental inmediata a la zona de estudio. En la tabla 5.3 se reporta la concentración promedio de algunos elementos determinados.

La concentración promedio del hierro y el aluminio en los sedimentos continentales es menor que la de los sedimentos de la plataforma, ello puede deberse, en el caso del hierro, a la resistencia física y química de minerales como la magnetita y la ilmenita de los que forma parte y que es muy común encontrarlos en el ambiente marino; quizá también pueda ser debido a la formación de minerales autigénicos. En el caso del aluminio se explica porque éste es un elemento conservativo, es decir, que tiene gran resistencia a la acción del intemperismo.

La construcción de mapas en los que se utiliza el valor promedio de cada variable para establecer el límite entre altas y bajas concentraciones, permite conocer de una forma rápida y económica, el comportamiento general y grado de influencia que tiene cada elemento sobre los sedimentos del área en cuestión.

Cuando se requiere de análisis más precisos, la elaboración de mapas de isolineas, resulta bastante útil para inferir el posible origen y distribución de los elementos sobre la plataforma continental.

5.3.1 MATERIA ORGÁNICA

Los químicos marinos usan el término de materia orgánica para referirse colectivamente a cualquier y todos los compuestos orgánicos, aunque estos varían grandemente en peso molecular y estructura la materia orgánica está compuesta principalmente de C, H, O, N, P y S. Este material es de gran importancia en el medio ambiente marino y es la fuente de electrones que permite reacciones redox en muchos procesos biológicos, el ciclo biogeoquímico de la materia orgánica tiene gran influencia sobre el ciclo de estos elementos biológicamente activos. La materia orgánica es sintetizada de compuestos inorgánicos por organismos autótrofos. En el ambiente marino, el fitoplancton produce mucha de la materia orgánica particulada (POM) a través del proceso de fotosíntesis, esta materia orgánica es convertida en formas detriticas a través de la excreción o de los organismos muertos. La POM es descompuesta o remineralizada por las actividades metabólicas de los organismos heterótrofos; si hay oxígeno presente, la remineralización ocurre por el proceso de respiración aeróbica, cuando la oxidación es completada el nitrógeno y el fósforo regresan a su forma soluble y el proceso es llamado regeneración de nutrientes. Mucha de la POM es rápidamente remineralizada y solo una pequeña parte desciende rápidamente para enriquecer el suelo marino. La respiración ocurre en todas las profundidades, únicamente el 1 % de la POM sintetizada por las plantas sobrevive a ser incorporado al sedimento, es por ello que muchos sedimentos tienen muy bajo contenido de carbón orgánico (Rosales, 1980; Paez, 1984; Libes, 1992). Aunque la materia orgánica es raramente un constituyente mayor de los sedimentos profundos son frecuentemente un buen índice del ambiente en el cual los sedimentos fueron depositados. También puede ser usada para evaluar el efecto antrópico sobre el agua y los sedimentos (Gaudette et al, 1974).

La materia orgánica (MO) en el área de estudio varió en un intervalo de concentración de 0.09 a 3.27 %. Las concentraciones más altas ésta se localizan en las zonas más profundas y asociadas con las partículas más pequeñas (lodos). La materia orgánica en sedimentos marinos o es terrígena o es derivada de la productividad biológica en el ambiente marino (Manjuata, 1995). De acuerdo con los mapas de distribución y de concentraciones altas (figura 5.3), gran parte de la MO del sedimento superficial de Punta Maldonado parece tener un origen terrestre pues cerca de las inmediaciones del río Ometepe, se encuentran concentraciones altas (> 3) de este material, lo que nos indica que mucho de él esta siendo aportado por tal río. En la parte Este de la zona, vuelve a incrementarse la concentración cerca de la línea de costa y podría atribuirse a aportes de los ríos la Arena y Verde y a la posterior distribución de los sedimentos por efecto de las corrientes y de la morfología de la plataforma. Las zonas profundas son favorables para la preservación de MO, no sólo debido al sedimento fino que allí se encuentra y con el que intercambia cationes, sino también porque existe una rápida tasa de sedimentación terrígena (Manjuata, 1995) debida a los bajos niveles energéticos que gobiernan en el área y que son a su vez, función de la profundidad: los niveles de baja energía, son ambientes de depósito (Carranza,1999). La transformación de MO en la superficie del sedimento en ambientes de baja tasa de sedimentación, es decir, áreas de profundidad somera y altas energías causadas por las la acción de las olas, pueden ser sustanciales y esto conducirá aparentemente, a la deposición de muy poca MO estable.

La asociación de la MO con los lodos puede ser explicada tanto por los principios que rigen la deposición de las partículas en función de su tamaño, como por fenómenos químicos o fisicoquímicos. La materia orgánica de origen continental responde en forma análoga a los procesos de transporte y deposición de los sedimentos de grano fino debido a que ciertas arcillas tienen la capacidad de flocular a la materia orgánica, las moléculas orgánicas pueden ser adsorbidas en estas partículas minerales y pueden presentar intercambio catiónico o reaccionar

químicamente, de hecho se han realizado investigaciones específicas de la adsorción de proteínas por las arcillas (Lanza, 1986).

De lo anterior podemos concluir que la existencia y distribución de la materia orgánica en los sedimentos está regida, en gran escala, por el tamaño de grano el cual está asociado a la batimetría.

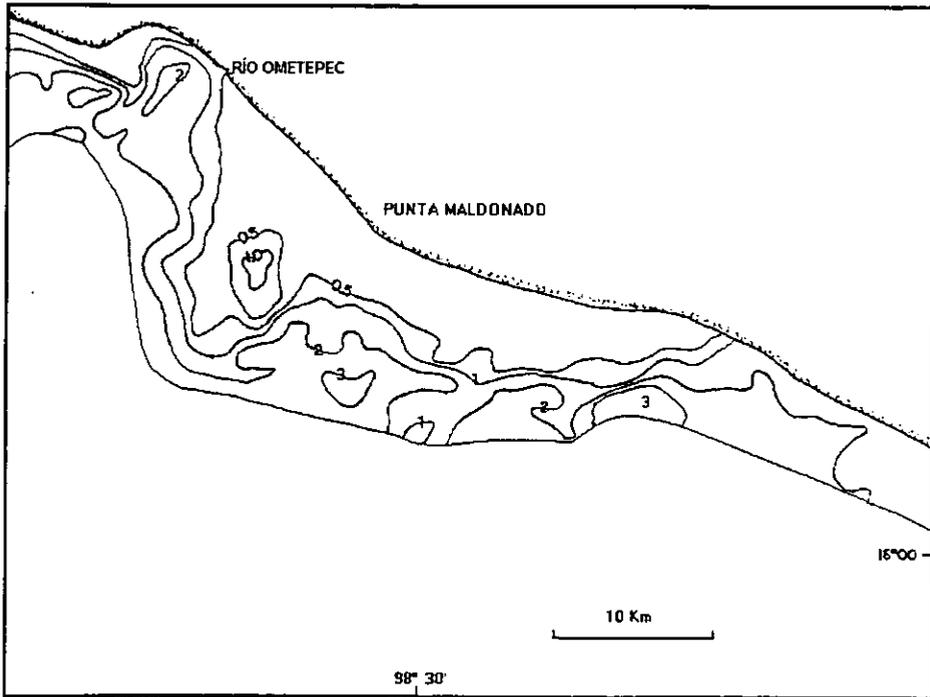


Figura 5.3. Mapa de distribución de materia orgánica (%)

5.3.2 CARBONATOS

Los carbonatos en el área de estudio variaron en un intervalo de concentración de 3.7 a 58 %. Las más altas concentraciones (figura 5.4) se encontraron en muestras localizadas en aguas someras cercanas a la costa y según Davis (1976), las aguas superficiales de los océanos están sobresaturadas con

respecto al carbonato de calcio y entonces los sedimentos calcáreos se acumulan en éstas zonas. Las muestras en cuestión se localizan principalmente en los sedimentos de grano grueso y de acuerdo con Manjuata (1996), las arenas carbonatadas se encuentran en las plataformas continentales más externas del mundo y no están cubiertas por sedimentos recientes de grano fino debido posiblemente, a la fuerte actividad de las corrientes o a la lejanía de las desembocaduras de los ríos. En el presente estudio los valores más bajos de carbonatos localizados frente a las desembocaduras de los ríos, sugieren que existe un aporte fluvial importante de sedimentos terrígenos que diluyen la concentración de carbonatos o que no permite la formación de éstos; por otro lado, excluyendo la estación 127, las más altas concentraciones se encuentran entre la punta y los arroyos, ahí el aporte fluvial es casi nulo y predominan las arenas lodosas, lo cual favorece la formación y deposición de estos fragmentos. Los cuerpos arenosos carbonatados, de aguas someras, se forman primariamente como resultado de la fijación localizada de carbonato, tanto de origen biógeno como fisicoquímico (Mas y Alonso, 1992).

En la tabla comparativa 5.3 se observa que las muestras continentales estudiadas (10 fluviales y 1 de playa) carecen de carbonatos, ello nos indica que los cuantificados en las muestras de la plataforma continental son totalmente de origen marino y que pueden ser biogénicos e indicar la presencia de bancos carbonatados. Al analizar en el microscopio los sedimentos con mayor cantidad de carbonatos, se observó que están asociados con acumulaciones de conchas, incluso la estación 127 - que es la más concentrada (58 %) - es un sitio de depósito de fragmentos de conchas de bivalvos. Estos organismos son moluscos que tienen dos conchas en cuya composición se encuentran principalmente aragonita y calcita.

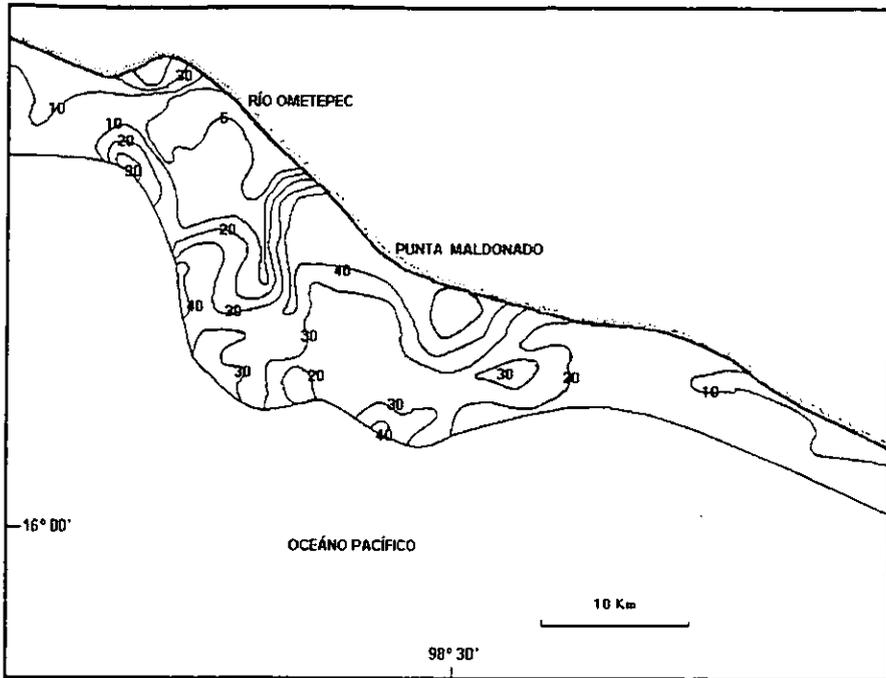


Figura 5.4. Mapa de distribución de carbonatos (%)

5.3.3 ELEMENTOS QUÍMICOS

El examen de los datos obtenidos a partir de los mapas de distribución y del análisis estadístico de Cluster permite hacer las siguientes consideraciones:

5.3.3.1 ANÁLISIS DE CLUSTER DE VARIABLES

El análisis de Cluster de variables (Figura 5.5), validado por el análisis discriminante múltiple (figura 5.6), permite diferenciar dos grandes grupos de elementos

Grupo I) Si, Ba, Na, Y, Zr, Th, Ti, Al, Nb, K, Rb, Mn, Fe, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Pb. Los elementos se acumulan principalmente en las partes más profundas donde predomina material fino con alto porcentaje de carbono orgánico y bajas

concentraciones de carbonatos. Se observa de manera muy rápida (figuras 5.7-5.12), que los elementos de este grupo son integrados a la plataforma por los ríos que drenan el área, pues en la gran mayoría, los valores más altos se encuentran en las desembocaduras. El río Ometepec es el que tiene mayor influencia debido a su gran caudal. El Río Verde, también de gran caudal, está aportando sedimentos al mar, que por efectos de las corrientes y de la morfología, son distribuidos y transportados al extremo oriental del área en cuestión. Es importante tener en cuenta la gran importancia de los dos ríos, pues reciben numerosos afluentes que en conjunto recorren grandes distancias a través de una topografía complicada y gran variedad de ambientes litológicos (figuras 3.2 y 3.3). Posiblemente el tamaño de grano fino asociado con los sedimentos aportados por este sistema fluvial se deba precisamente, a esas grandes distancias viajadas; aunque el río la Arena es en proporción más pequeño, podría considerarse en esta categoría. El material transportado por los ríos y arroyos proviene de la erosión de las rocas sedimentarias, metamórficas, volcánicas y plutónicas que constituyen las formaciones geológicas que rodean la zona estudiada. Los elementos del Grupo I constituyen el COMPONENTE LITOGÉNICO (figuras 5.5 y 5.6)

Grupo II) Ca y Sr. Puede observarse en la figura 5.13 que los elementos de este grupo, se acumulan principalmente entre Punta Maldonado y la Laguna Corralero. En esta región es donde se ensancha la plataforma continental, la profundidad es somera, el aporte fluvial es mínimo, la sedimentación terrígena es pobre y predomina la clase textural de arena lodosa. El conjunto de los factores anteriores permite la formación de carbonatos; de hecho la distribución del Ca y Sr en el área, es muy similar a la de éstos. El calcio y el estroncio forman carbonatos muy poco solubles y pueden ser incorporados en la fase sólida de los carbonatos biogénicos tanto en la bioasimilación por parte del plancton como a través de su acumulación en los restos de conchas y en los esqueletos de otros organismos marinos (Shumilin et al, 1988). Los elementos de este grupo conforman el COMPONENTE BIOGÉNICO (figuras 5.5 y 5.6).

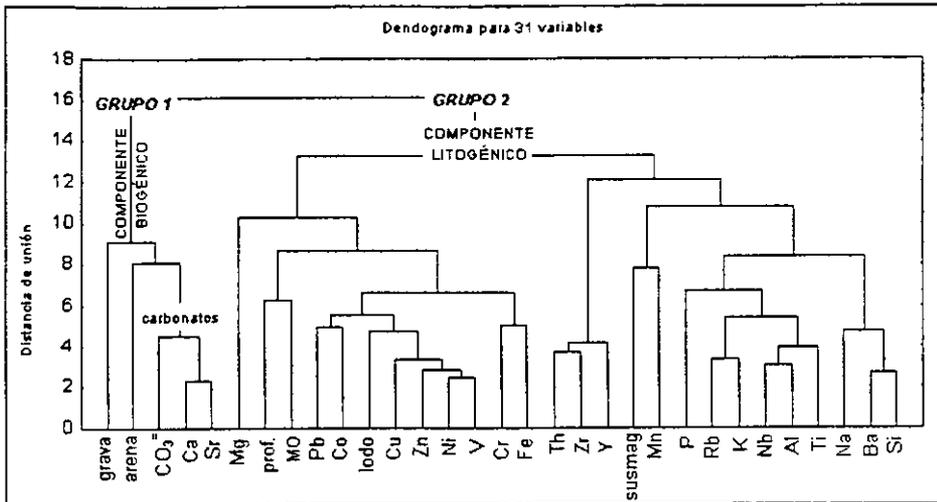


Figura 5.5 Análisis de clúster de variables

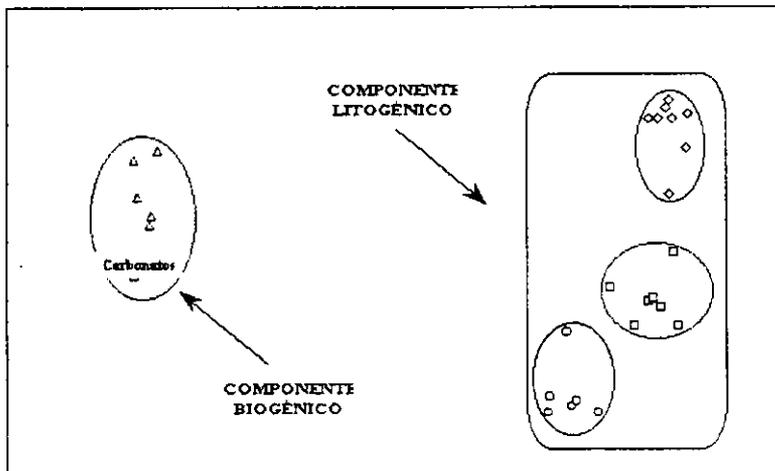


Figura 5.6 Análisis discriminante múltiple

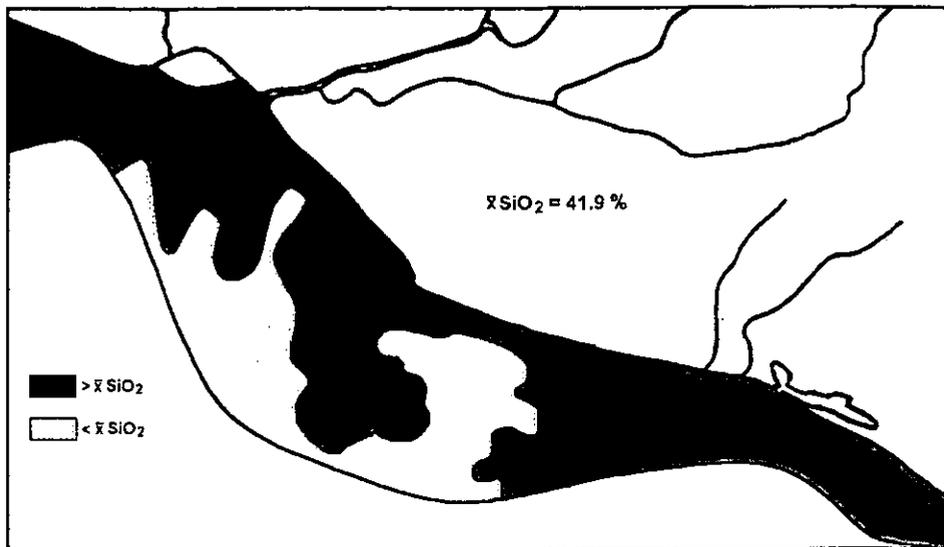


Figura 5.7 Zonas de predominio de SiO_2 (%)

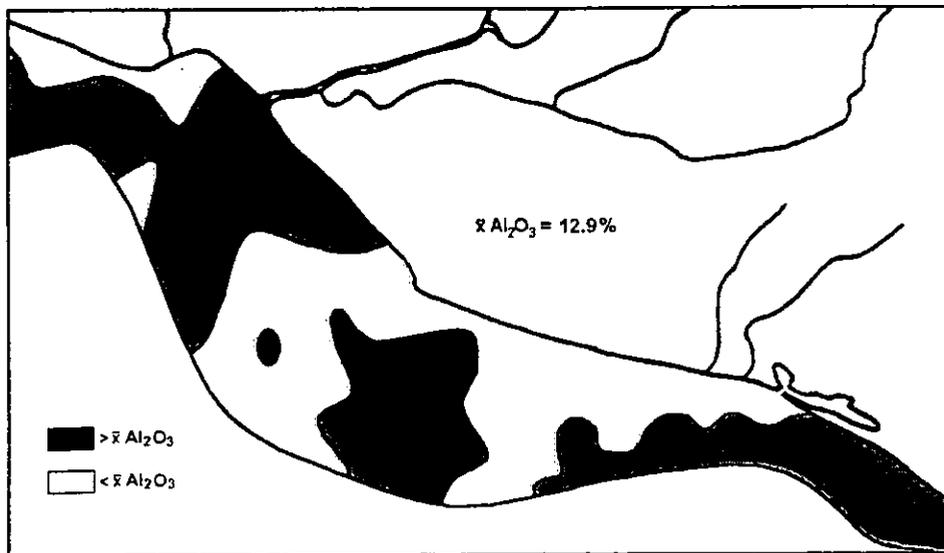


Figura 5.8 Zonas de predominio de Al_2O_3 (%)

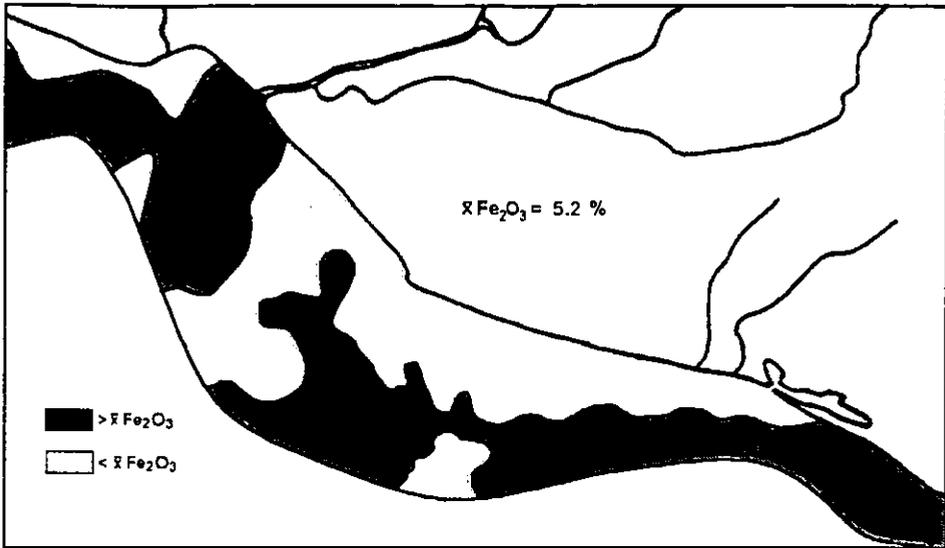


Figura 5.9 Zonas de predominio de Fe_2O_3 (%)

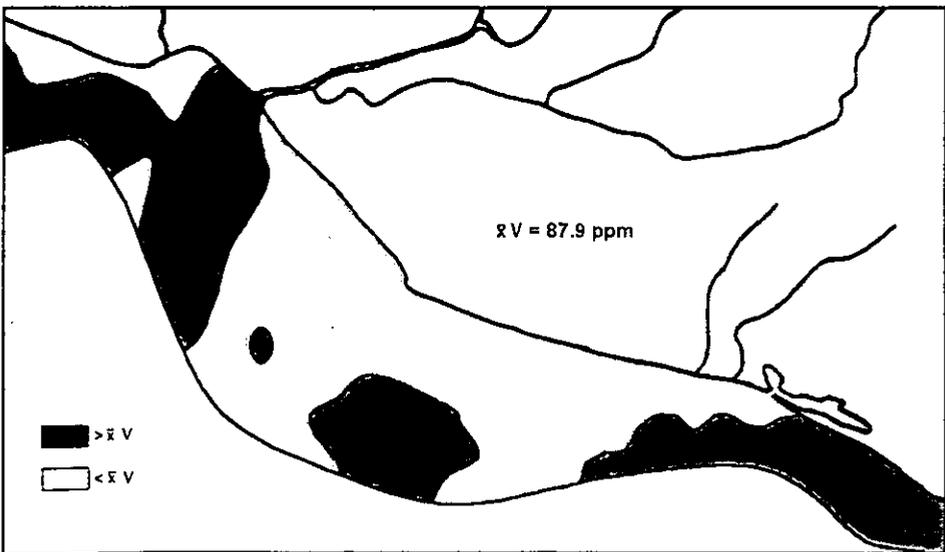


Figura 5.10 Zonas de predominio de Vanadio (ppm)

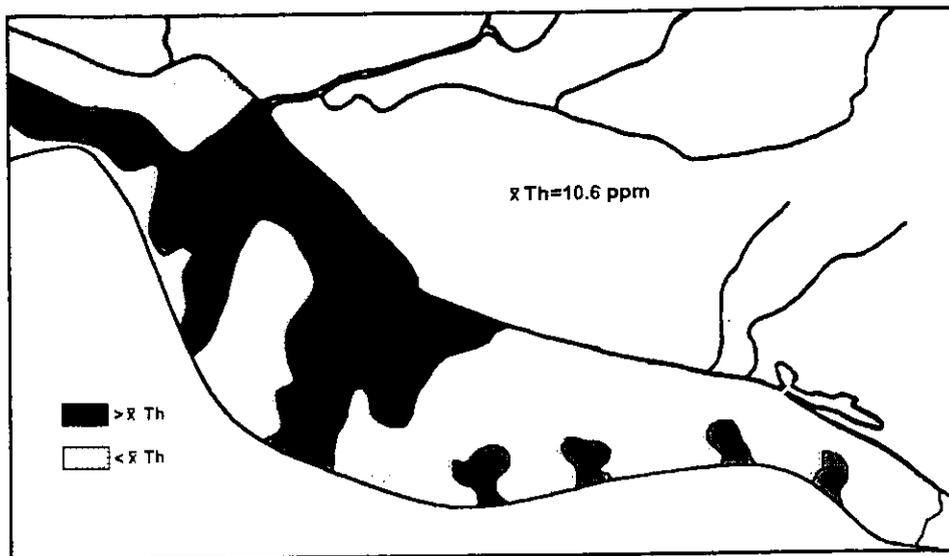


Figura 5.11 Zonas de predominio de Torio (ppm)

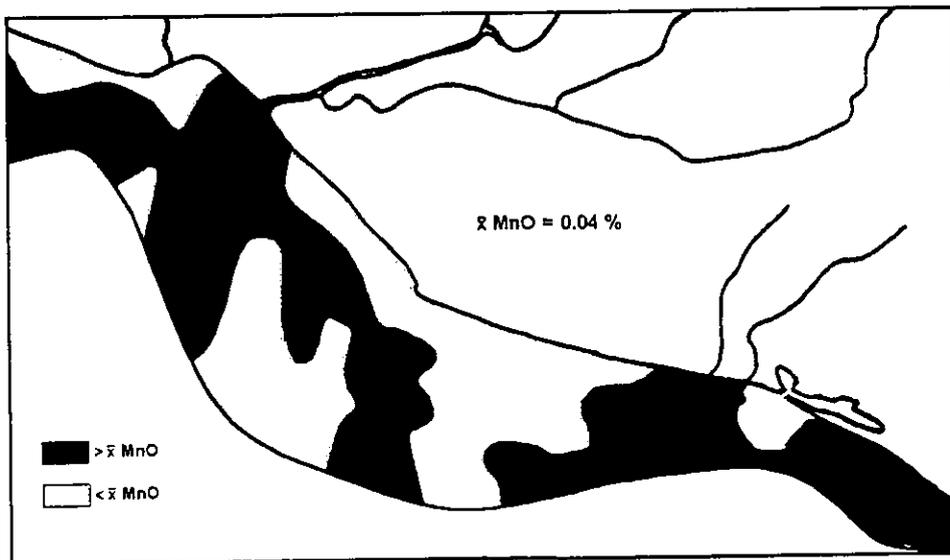


Figura 5.12 Zonas de predominio de MnO (%)

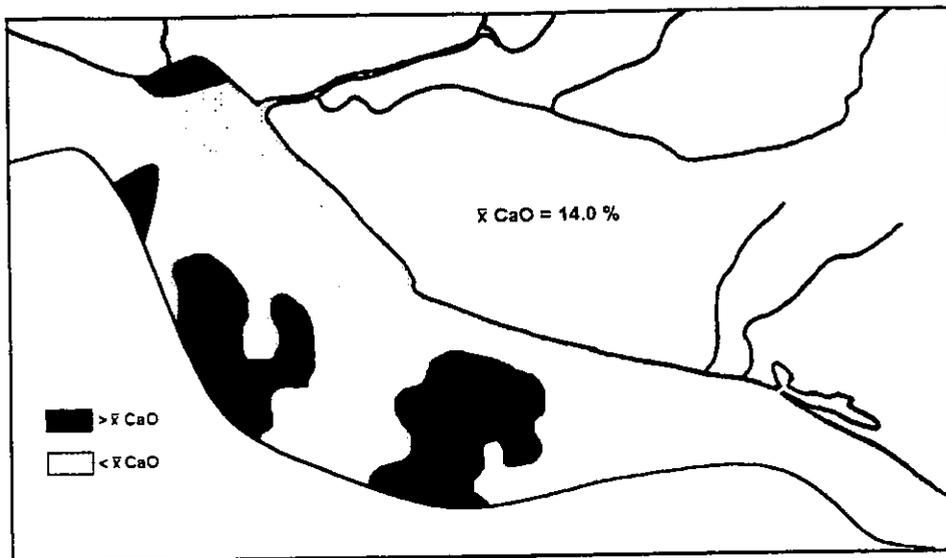


Figura 5.13 Zonas de predominio de CaO (%)

5.3.3.2 ANÁLISIS DE CLUSTER DE CASOS

El análisis de Cluster de casos (figura 5.7) muestra que también existen dos grandes grupos de muestras. Se ha logrado inferir que el grupo más voluminoso, denominado *LODOS*, corresponde a los sedimentos finos (lodo y lodo arenoso); el grupo más pequeño corresponde a los sedimentos gruesos (arena y arena lodosa) y se denominó *ARENAS*. Con el dendograma en cuestión se obtuvo el mapa de Dominios sedimentarios (figura 5.23)8) en el que se observan perfectamente tanto el origen de los sedimentos como su distribución.

Del análisis realizado hasta el momento, se desprenden tres principios que rigen el comportamiento de los sedimentos en la plataforma continental:

- existe un control textural sobre la geoquímica de los sedimentos
- existen elementos de origen continental
- existen elementos de origen marino

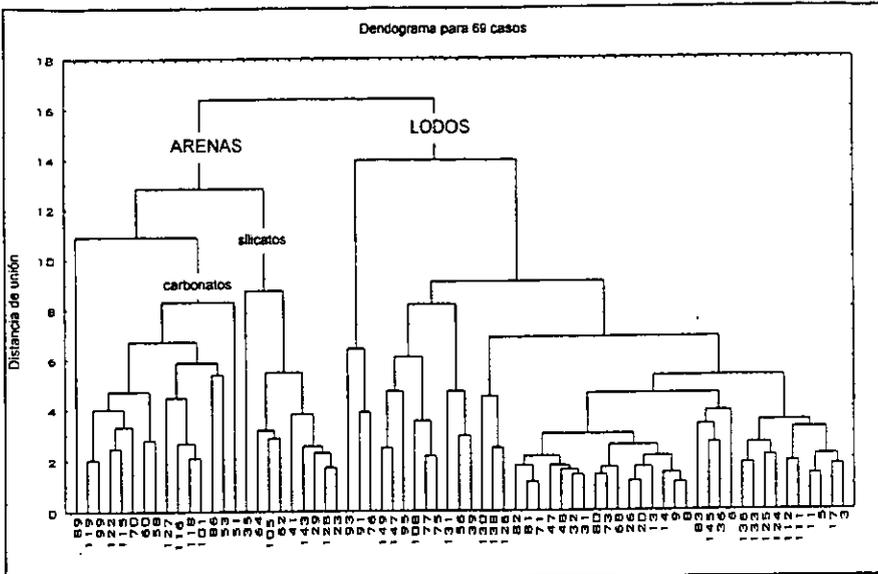


Figura 5.14 Análisis de clúster de casos

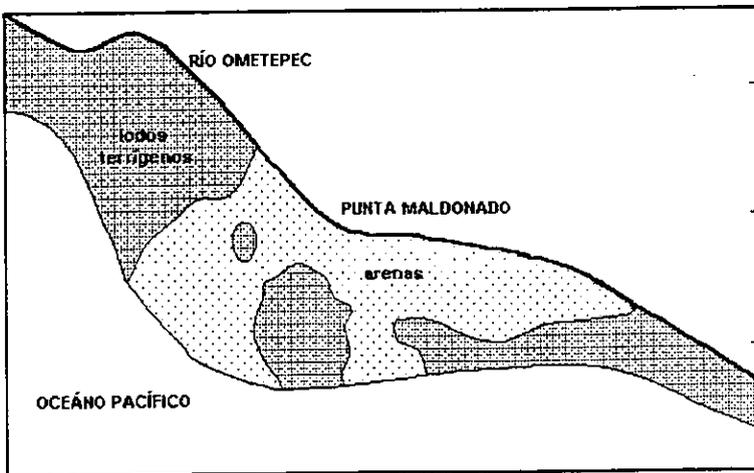


Figura 5.15 Dominios sedimentarios

5.3.3.3 ANÁLISIS DE LAS FRACCIONES TEXTURALES

De acuerdo con Price y Wrigth (1971) y Wrigth (1975) Grout (1925) y Hirts (1962), es posible discriminar entre varios componentes sedimentarios predominantemente terrígenos al hacer un análisis parcial de las fracciones separadas por tamaño de grano. Price y Wrigth separaron una serie de sedimentos terrígenos en arenas, limos y arcillas y llevaron a cabo un análisis químico y mineralógico de cada fracción. La fracción arenosa estuvo constituida principalmente por cuarzo y cantidades menores de feldespato. La fracción limosa consistió de cuarzo, feldespato, mica, calcita y trazas de hornoblenda. Los datos de los elementos menores de los limos fueron utilizados para distinguir, dentro de la plataforma, diferentes áreas con mineralogía particular: i) las distribuciones de Zr y Th fueron usadas para definir áreas cercanas a la costa con enriquecimiento de minerales pesados, ii) arenas ricas en feldespatos y micas fueron distinguidas sobre la base de las razones Ba/Rb y Sr/Rb, también logró distinguirse entre feldespato potásico y feldespato plegioclásico usando las mismas razones en conjunto con Ba/K₂O/Al₂O₃, iii) áreas enriquecidas con apatita pudieron ser determinadas usando la distribución de Y, La y Ce. La fracción arcillosa contenía illita, clorita y cantidades menores de kaolinita y montmorilonita; el Ba, Cu, Ni, Zn y Pb se encontraron enriqueciendo uno u otro mineral (Calvert, 1976).

También Van Andel y Postma (1954) han determinado la fuente de los sedimentos en el Golfo de Paria, por medio de un detallado análisis de la composición mineralógica de la grava, arena y fracción arcillosa de la superficie del sedimento (Carranza et al, 1886).

En función de los principios enumerados y de acuerdo con los autores arriba mencionados, se lleva a cabo un análisis químico de las fracciones separadas - según la clase textural a la que pertenezcan los sedimentos (arena, arena-lodosa, lodo-arenoso, lodo)- para poder discriminar de entre los diversos elementos los que dominan en cada fracción. Los grupos formados (tabla 5.4) se correlacionan con el

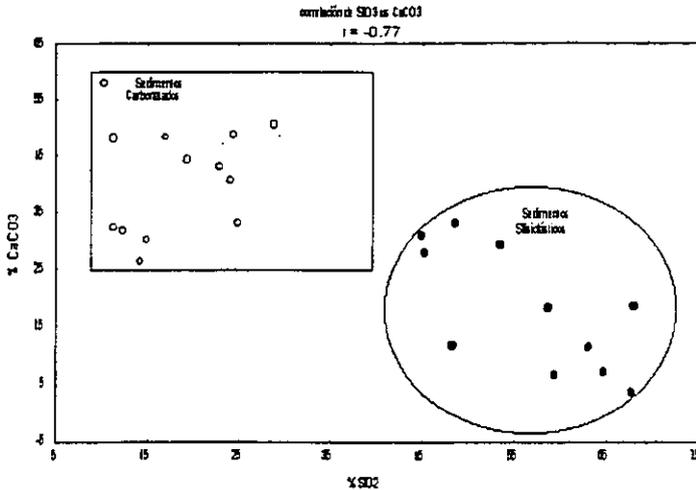
análisis multivariado para identificar la asociación y los factores que controlan la distribución de elementos individuales.

Al estudiar la fracción de arena lodosa (figura 5.2), se observa que en ésta se encuentran las más altas concentraciones de CaCO_3 pero también, las más altas concentraciones de SiO_2 . La figura 5.16 muestra la correlación entre los dos parámetros ($r = -0.77$) y se percibe claramente la presencia de los dos subgrupos. En vista de la diferente naturaleza geoquímica que existe entre las dos clases de sedimento, se separaron las muestras con alto contenido de carbonatos se denominaron Arena lodosa carbonatada; al grupo de muestras con altas concentraciones de sílice se les nombró Arena lodosa rica en sílice (tabla 5.4)

Tabla 5.4 Composición promedio de los sedimentos de acuerdo a la clase textural

Variable	Lodo	Lodo arenoso	Arena lodosa carbonatada	Arena lodosa rica en sílice	Arena
SiO_2 (%)	44.84	42.10	18.06	56.47	55.54
TiO_2 (%)	0.83	0.85	0.22	0.56	0.37
Al_2O_3 (%)	16.71	14.77	5.88	11.16	9.88
Fe_2O_3 (%)	6.23	6.26	4.17	3.48	3.49
MnO (%)	0.04	0.05	0.02	0.04	0.04
MgO (%)	2.89	2.63	2.77	1.89	2.22
CaO (%)	6.42	12.01	34.24	11.03	13.52
Na_2O (%)	2.47	2.00	0.58	2.65	2.07
K_2O (%)	2.58	2.48	0.88	2.48	2.46
P_2O_5 (%)	0.25	0.25	0.01	0.18	0.22
MO (%)	2.25	1.78	0.92	0.39	0.37
CaCO_3 (%)	12.47	16.98	41.42	18.04	20.34
Rb (ppm)	91.52	79.00	22.38	73.18	61.60
Sr (ppm)	284.11	548.69	1601.92	589.00	645.20
Ba (ppm)	447.89	421.62	171.08	504.55	484.80
Y (ppm)	24.37	24.15	14.00	33.18	15.20
Zr (ppm)	187.37	238.31	144.62	476.27	152.00
Nb (ppm)	10.67	9.62	2.23	7.36	6.80
V (ppm)	127.89	96.46	44.62	47.09	52.20
Cr (ppm)	93.04	80.38	45.15	40.91	48.20
Co (ppm)	18.00	13.85	6.23	9.55	9.80
Ni (ppm)	38.67	26.85	1.42	8.41	11.00
Cu (ppm)	35.67	22.77	0.72	12.09	15.74
Zn (ppm)	114.63	89.62	28.08	44.82	36.20
Th (ppm)	9.44	11.31	8.08	17.91	4.80
Pb (ppm)	21.59	16.54	6.54	14.64	9.80
Profundidad(m)	166.67	127.08	86.15	53.36	38.20
Arena (%)	1.87	29.07	71.03	68.02	94.92
Lodo (%)	98.00	70.13	20.41	27.84	3.42
susmaq	24.80	29.50	15.56	21.36	16.40

Figura 5.16 Gráfica de correlación de la clase textural arena lodosa



La consideración de los datos obtenidos permite saber que en estos sedimentos el estudio de las fracciones texturales muestra las siguientes características para cada una de ellas:

- i) la fracción lodosa se encuentra en las mayores profundidades y tiene las más altas concentraciones de materia orgánica, Al₂O₃, MgO, K₂O, P₂O₅, Rb, Nb, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn y Pb.

Los sedimentos de esta fracción pueden caracterizarse como **litogénicos**.

La presencia de zinc y cobre se podría referir a las franjas cupro-auríferas, ferrífero-cuprífera de skarns, vulcanosedimentaria, mesotermal e hidrotermal del estado de Guerrero. Se les encontró en menos abundancia debido posiblemente a la escasa resistencia de los minerales con los que están asociados estos sedimentos (Márquez y Morales, 1984; Carranza et al, 1986).

Las concentraciones naturales de metales traza están asociadas y/o estructuralmente combinadas con un número limitado de aluminosilicatos detríticos, tales como micas, piroxenos, anfíboles y arcillas minerales secundarias. También se encuentran -en cantidades variables- en óxidos

secundarios de hierro y manganeso y en partículas discretas de óxidos metálicos detríticos, sulfuros y carbonatos (Loring, 1989).

ii) los lodos arenosos tienen los valores más altos de susceptibilidad magnética y las más altas cantidades de TiO_2 , Fe_2O_3 y MnO

Los sedimentos de esta fracción pueden caracterizarse por tener **minerales ferromagnéticos** tales como magnetita e ilmenita. De acuerdo con Poutiers y Gonthier (1978) existe una estrecha relación entre el contenido de minerales ferromagnéticos y la textura de los sedimentos, encontrándose un mayor contenido de éstos en las fracciones finas (Carranza, 1999).

La presencia de hierro y cobre puede asociarse con la franja ferrífero-cúprica de skarns, la cual se encuentra en una gran porción de la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre del Sur. Los sedimentos que son transportados por los ríos que llegan al mar, son enriquecidos en magnetita y hematina cuando han atravesado dicha franja. El titanio debe proceder de la disgregación de las rocas graníticas, de amplia distribución en la zona costera (Márquez y Morales, 1984; Carranza et al 1986)

iii) las arenas lodosas carbonatadas se depositan en ambientes de mediana profundas y poseen las concentraciones superiores de CaO , CaCO_3 y Sr

Sedimentos **biogénicos** se ponen de manifiesto en esta fracción

iv) las arenas lodosas ricas en sílice tienen el mayor índice de influencia terrígena, las concentraciones más altas de SiO_2 , Na_2O , Ba, Y, Zr y Th y su ambiente de sedimentación son las aguas poco profundas

Esta fracción se caracteriza por el contenido de feldespatos y **minerales pesados y resistentes**

Altos contenidos en feldespato (considerándose dentro de ellos a los fragmentos de rocas graníticas, según se sugiere por Folk (1974)) se deben posiblemente a la gran abundancia de afloramientos de rocas plutónicas y metamórficas que aunque se formaron a grandes profundidades, se encuentran

ahora en la superficie del terreno como consecuencia del levantamiento de la corteza continental por la subducción de la Placa de Cocos (Carranza et al, 1986)

El zirconio detectado se encuentra presente en forma de zircón su presencia puede deberse también a las rocas graníticas (Márquez y Morales, 1984; Carranza et al 1986)

Monazita es un fosfato esencialmente de tierras raras $(\text{Ce, La, Y, Th})\text{PO}_4$. Es un mineral raro y generalmente se le encuentra como un accesorio del granito, gneises, aplites y pegmatites. Está concentrado en las arenas debido a su resistencia al ataque químico y a su alta gravedad específica, y por eso está asociada con minerales resistentes y pesados tales como la magnetita, ilmenita, rutilo y zircón (Cornelius, 1985). Los granitos (rocas plutónicas) y los gneises se encuentran altamente distribuidos a lo largo y ancho de la zona continental que rodea el área.

v) la fracción arenosa se deposita en aguas someras contiene SiO_2 en abundancia. Al analizar individualmente las muestras de esta fracción, nos encontramos que la muestra 56 tiene composición química similar a la arena lodosa carbonatada y que las cuatro restantes tienen composición de arena lodosa alta en sílice; de hecho, los datos de las muestras se han integrado a la gráfica 5.16 (simbolizados por los cuadros) y caen perfectamente en el grupo que le corresponde de acuerdo a su concentración de carbonatos y sílice.

5.3.3.3.1 Normalización de las fracciones texturales con aluminio

Como ya se ha mostrado, uno de los más importantes factores que controlan la distribución de los minerales en los sedimentos es el tamaño de grano; como resultado de ello, no es conveniente hacer una comparación directa de la concentración de metales sin la compensación de tamaño de grano (Loring, 1991). El aluminio es un constituyente mayor y químicamente no reactivo de las arcillas minerales, usualmente no es de origen antrópico y muestra una buena correlación con la disminución del tamaño de grano; por esta razón, el cociente metal/aluminio

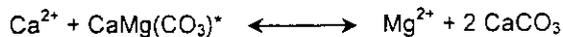
es útil para tratar de explicar varios fenómenos. Se utiliza como un índice para determinar la movilidad relativa de diferentes metales; el Al es un elemento conservativo, es decir, es uno de los elementos menos móviles durante el intemperismo debido a la baja solubilidad del Al_2O_3 en un intervalo de pH de 5 a 8, intervalo en el cual ocurren la mayoría de los procesos geoquímicos de la corteza terrestre (Castillo, 1996). Variaciones en la razón metal/aluminio pueden ser atribuidas a la influencia de afluentes; existe una dilución de los metales por el aporte constante de material intemperizado por parte de los tributarios. Intercambio de elementos agua-sedimento y un incremento en la velocidad de deposición antigénica son detectados a través del cociente; la variación de la velocidad de deposición se verá reflejada en el enriquecimiento de las arcillas en metales traza (Gupta y Subramanian, 1994).

Al aplicar la normalización con aluminio a la composición media de los grupos texturales (tabla 5.5) de estos sedimentos se observa:

Tabla 5.5 Normalización de la concentración promedio de elementos

Elemento/Al	Lodo	Lodo Arenoso	Arena Lodosa carbonatada	Arena lodosa rica en sílice	Arena
SiO ₂	2.68	2.85	3.07	5.06	5.62
TiO ₂	0.05	0.06	0.04	0.05	0.04
Fe ₂ O ₃	0.37	0.42	0.71	0.31	0.35
MnO	0.0026	0.0033	0.0040	0.0033	0.0044
MgO	0.17	0.18	0.47	0.17	0.22
CaO	0.38	0.81	5.82	0.99	1.37
Na ₂ O	0.15	0.14	0.10	0.23	0.21
K ₂ O	0.15	0.17	0.15	0.22	0.25
P ₂ O ₅	0.015	0.017	0.002	0.017	0.023
Rb (ppm)	5.48	5.35	3.64	6.56	6.23
Sr (ppm)	17.00	37.15	243.80	52.79	65.30
Ba (ppm)	26.80	28.55	27.70	45.22	49.06
Y (ppm)	1.46	1.64	2.14	2.97	1.54
Zr (ppm)	11.21	16.14	24.14	42.69	15.38
Nb (ppm)	0.64	0.65	0.40	0.66	0.69
V (ppm)	7.65	6.53	7.61	4.22	5.28
Cr (ppm)	5.57	5.44	6.98	3.67	4.88
Co (ppm)	1.08	0.94	1.05	0.86	0.99
Ni (ppm)	2.31	1.82	0.16	0.75	1.11
Cu (ppm)	2.13	1.54	0.12	1.08	1.59
Zn (ppm)	6.86	6.07	4.64	4.02	3.66
Th (ppm)	0.57	0.77	1.35	1.61	0.49
Pb (ppm)	1.29	1.12	1.04	1.31	0.99

- la proporción $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ decrece desde la arena hasta el lodo lo que sugiere que existe una gran proporción de cuarzo libre en la fracción gruesa, que probablemente proviene de las arcillas minerales. Altamira (1998) determinó que las partículas gruesa ($\geq 4\phi$) de la fracción arenosa, de los sedimentos de la zona de estudio, está formada por 65.9 % de cuarzo.
- la proporción más alta de $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en la porción de lodo arenoso puede indicar el intemperismo de rocas basálticas (Nagender et al, 1989). Las rocas basálticas son las más abundantes de las rocas volcánicas, su origen puede ser continental u oceánico; los suelos oceánicos están cubiertos por grandes flujos de composición basáltica (Cornelius, 1985). También puede deberse a la presencia de algunos minerales accesorios de rocas graníticas (plutónicas) que han sido disgregadas: ilmenita, rutilo, esfeno, etc. (Cornelius, 1985).
- las proporciones de $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ y de $\text{Ba}/\text{Al}_2\text{O}_3$ son mayores en la fracción arenosa y denotan un enriquecimiento de feldespatos de bario y potasio
- la arena lodosa carbonatada está enriquecida en MgO . El magnesio quizá provenga de la siguiente reacción en equilibrio



Quizá la dolomita(*) se encuentra en muy bajas concentraciones en los sedimentos carbonatados, pues aunque no tiene una correlación significativa, si tienen una correlación positiva que nos hace suponer que existe una relación directa entre carbonatos y magnesio.

- un exceso de hierro, representado por la proporción alta de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0.71) en la arena lodosa carbonatada, podría indicar la presencia de algún mineral antigénico. La influencia de factores no detríticos sobre la composición de los sedimentos puede ser observada a partir de la distribución del Fe_2O_3 . La relación entre hierro y aluminio es complicada por la presencia de minerales autigénicos de hierro, tales como limonita, glauconita o illita reconstituida (donde la razón K/Fe es

baja). En sedimentos libres de estos minerales el cociente $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ es razonablemente constante (aprox. 0.52) y sugiere que el hierro se encuentra contenido en posiciones estructurales de los aluminosilicatos. Cualquier exceso de hierro puede ser usado, en una primera aproximación, como una medida de la cantidad de minerales autigénicos presentes en los sedimentos (Calvert, 1965). La formación de glauconita se da en los ambientes poco profundos y en donde la sedimentación es muy reducida, ésta se forma muy lentamente en la interfase agua/sedimento en donde está en contacto con materia orgánica en condiciones fluctuantes pero positivas de Eh (Leeder, 1982).

- También la presencia de algún componente metalífero puede ser representada por el valor alto de la relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$. En los sedimentos el hierro también puede presentarse como fases de óxido dispersas y están asociados con los óxidos de manganeso (Nagender, 1989; Calvert, 1965). De hecho, existe una correlación positiva entre la concentración de manganeso y el exceso de hierro. Resulta interesante resaltar que la fracción enriquecida en hierro esta también relativamente enriquecida en manganeso ($\text{MnO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0.004$). En la tabla 5.6 pueden observarse algunos coeficientes de correlación de Pearson para la fracción de arena lodosa carbonatada; la correlación significativa entre Fe-Mn nos podría indicar la presencia de óxidos de hierro y manganeso; la correlación, también significativa, de la susceptibilidad magnética con dichos metales indica que son éstos los responsables de ella. Los óxidos de hierro y manganeso tienen la capacidad de adsorber metales traza en sus superficies, ello explica su buena correlación con el Co y Va.

Tabla 5.6 Coeficientes de correlación Pearson de los sedimentos de textura arena lodosa carbonatada

	Fe_2O_3	MnO	CaCO_3	V	Co	SUSMAG
Fe_2O_3	1.00	0.70	-0.24	0.59	0.62	0.70
MnO	0.70	1.00	0.30	0.57	0.61	0.67
Susmag	0.75	0.57	0.21	0.65	0.60	1.00

Valores significativos con un nivel de confianza de 99.5 % > 0.61 (n=11)

- El enriquecimiento de Cr en la arena lodosa carbonatada, se debe en mucho a la asociación geoquímica que presenta éste con el hierro. Se ha reportado que el Cr^{3+} es removido del agua de mar, ello produce una acumulación de hierro y cromo en los sedimentos con una buena correlación en la concentración de esos metales (tabla 5.8) (Riley, 1985). En la figura 5.18 se ha identificado al Fe y Cr asociados en los óxidos de hierro.
- la arena lodosa rica en sílice tiene la más alta razón de Rb/Al e indica que la fracción está enriquecida en aluminosilicatos pues de acuerdo con (Calvert, 1965) esta relación es utilizada como una medida de la contribución de los aluminosilicatos en los sedimentos. También la razón Na/Al es alta e indicaría la riqueza en feldespatos de sodio. La presencia de minerales resistentes y pesados, como ya se había determinado, se pone de manifiesto en esta fracción.
- La fracción lodosa está enriquecida en V, Ni, Cu, Zn y Co. Al analizar la matriz de correlación de Pearson para esta fracción (tabla 5.7) observamos que ninguno de los elementos tiene correlación significativa con el aluminio que, *es per se*, considerado terrígeno. El hecho mencionado nos estaría indicando que los elementos en cuestión no son de origen continental; o bien, que el enriquecimiento de metales traza en los sedimentos lodosos es de origen marino y no continental. Los procesos hidrogénicos incluyen reacciones de co-precipitación, intercambio iónico y adsorción. De estas reacciones, la co-precipitación es de particular importancia y la incorporación de elementos en las fases que están directamente formadas del agua de mar es uno de los factores que influyen mayormente en la geoquímica de los elementos traza de los sedimentos marinos. Un gran número de autores han mostrado que varios minerales son capaces de absorber elementos traza y en particular se ha discutido el mecanismo por el cual estos elementos son adsorbidos sobre la superficie. Las capas de óxidos sobre las superficies minerales son importantes en las reacciones de adsorción; se ha observado que en contacto con el agua de mar, hay mucha menos desorción de ciertos elementos traza de los óxidos de hierro y manganeso que de las arcillas

minerales, por lo que se piensa que la adsorción de elementos traza por óxidos de hierro y manganeso es la principal ruta de suministro de componentes minoritarios. La materia orgánica (en forma de partículas discretas) en asociación con otras partículas (arcillas minerales) son adsorbentes extremadamente eficaces para muchos elementos traza (Riley, 1989). De lo anterior puede concluirse que los elementos traza pueden estar o en los óxidos de hierro y manganeso o en la materia orgánica o en las arcillas minerales. En la tabla 5.7 podemos observar que los elementos traza están mejor correlacionados con la cantidad de lodo que con el hierro o con la materia orgánica, esto podría significar que en la fracción textural: lodo mientras más partículas finas existan, habrá mayor enriquecimiento de metales traza. Sabemos también, que las partículas de tamaños más finos se acumulan en las zonas de mayor profundidad en donde los niveles energéticos son bajos y permiten la sedimentación de éstas. Por otro lado, sabemos que el tiempo que tardan las partículas en sedimentar (o estando en suspensión) depende de su forma, densidad, del tamaño y de las propiedades físicas del fluido; por ejemplo, una partícula esférica de grava (2 mm de diámetro) tardará 1.009 minutos para caer 200 metros en caída libre vertical, una arena fina (0.12 mm) tardará 4.304 horas y una arcilla (0.002 mm) 1.964 años (Altamira, 1998); así, las partículas más finas estarán más tiempo en contacto con la columna de agua adsorbiendo, absorbiendo o precipitando los elementos traza que se encuentran disueltos en ella.

Dentro del grupo textural: lodo existen muestras se encuentran en las partes más profundas de la zona de estudio y de hecho forman un subgrupo bien delimitado en el dendograma del análisis de clúster para casos (estaciones 8-82, figura 5.20).

Los valores más altos de V, Cu, Ni, Co y Zn que se observan en la relación metal/Al de la tabla 5.5 y que se encontraron en los sedimentos de mayor profundidad, sugiere el origen antigénico de estos metales.

Tabla 5. 7. Coeficientes de correlación de Pearson de los sedimentos de textura: lodo

	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mo	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	Prof.	Lodo
Al ₂ O ₃	1.00	0.35	-0.28	0.14	-0.05	-0.14	0.34	0.32	0.71	0.06	-0.04
Fe ₂ O ₃	0.35	1.00	0.31	0.58	0.43	0.47	0.65	0.80	0.46	0.13	0.38
TiO ₂	0.91	0.35	-0.44	0.00	-0.11	-0.23	0.16	0.15	0.37	-0.13	0.11
Mo	-0.28	0.31	1.00	0.64	0.68	0.69	0.48	0.41	0.11	0.38	0.55
V	0.14	0.58	0.64	1.00	0.85	0.91	0.87	0.81	0.46	0.61	0.76
Cr	-0.05	0.43	0.68	0.85	1.00	0.88	0.71	0.65	0.37	0.59	0.76
Ni	-0.14	0.47	0.69	0.91	0.88	1.00	0.78	0.71	0.31	0.59	0.77
Cu	0.34	0.65	0.48	0.87	0.71	0.78	1.00	0.88	0.55	0.69	0.71
Zn	0.32	0.80	0.41	0.81	0.65	0.71	0.88	1.00	0.48	0.44	0.70
Pb	0.71	0.46	0.11	0.46	0.37	0.31	0.55	0.48	1.00	0.34	0.16
Prof.	0.06	0.13	0.38	0.61	0.59	0.59	0.69	0.44	0.34	1.00	0.51
Lodo	-0.04	0.38	0.55	0.76	0.76	0.77	0.71	0.70	0.16	0.51	1.00

Valores significativos con un nivel de confianza de 99.5 % > 0.38 (n=27)

5.3.3.4 ANÁLISIS DE FACTORES

Puede observarse en la gráfica de valores propios (figura 5.17) que el mínimo número de factores que deben extraerse para obtener datos objetivos son 4. El análisis de factores de los datos obtenidos para los sedimentos superficiales de la plataforma continental de Punta Maldonado indica que, efectivamente, existen cuatro factores independientes que explican 23 variables y el 83 % del total de la varianza (tablas 5.8 y 5.9). Los factores fueron rotados usando el criterio Varimax.

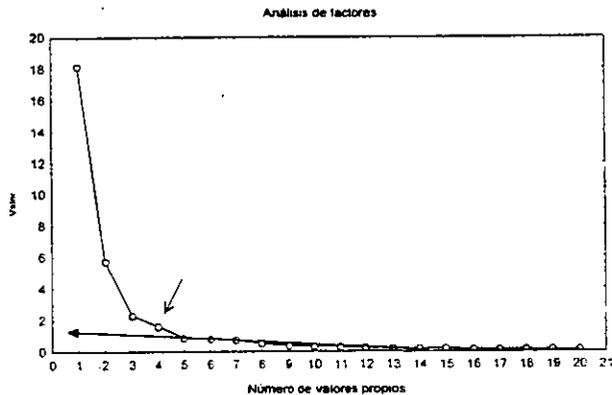


Figura 5.17 Gráfica de valores propios

Tabla 5.8 Análisis de factores: valores propios

Extracción: componentes principales				
Valor	Valores propios	Varianza total %	Valor propio Acumulado	Varianza total acumulada %
1	13	36	13	36
2	9	30	22	66
3	3	9	25	77
4	2	6	27	83

Tabla 5.9 Análisis de factores (Rotación Varimax)

Extracción: Componentes principales (Cargas significativas > 0.70)				
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
SiO ₂	-0.06	0.94	0.16	0.06
TiO ₂	0.66	0.47	0.30	0.25
Al ₂ O ₃	0.74	0.57	0.10	0.14
Fe ₂ O ₃	0.80	-0.03	0.03	0.49
MnO	0.19	0.25	0.24	0.83
MgO	0.51	-0.35	-0.16	-0.06
CaO	-0.46	-0.84	-0.10	-0.09
Na ₂ O	0.29	0.82	0.19	0.05
K ₂ O	0.34	0.85	0.14	0.17
P ₂ O ₅	0.48	0.50	0.24	0.07
PXC	0.01	-0.91	-0.22	-0.18
MO	0.88	-0.04	-0.12	-0.01
CaCO ₃	-0.47	-0.70	-0.17	-0.13
Rb	0.53	0.77	0.11	0.07
Sr	-0.52	-0.77	-0.07	-0.19
Ba	0.09	0.95	0.05	0.12
Y	0.13	0.33	0.88	0.07
Zr	-0.22	0.23	0.90	0.03
Nb	0.61	0.65	0.19	0.18
V	0.92	0.20	-0.10	0.16
Cr	0.90	0.08	0.03	0.05
Co	0.70	0.45	-0.16	0.25
Ni	0.88	0.32	-0.07	0.07
Cu	0.80	0.47	-0.03	0.09
Zn	0.90	0.32	0.02	0.12
Th	-0.07	0.07	0.93	0.01
Pb	0.73	0.51	0.04	0.07
Profundidad	0.77	-0.02	-0.10	-0.19
Grava	-0.48	-0.21	-0.36	-0.11
Arena	-0.87	-0.20	0.02	0.02
Lodo	0.89	0.22	0.04	0.00
SM	0.16	0.21	-0.16	0.73

El factor 1 explica 13 variables y el 38 % de la varianza de los datos: muestra cargas significativas de Al₂O₃, Fe₂O₃, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, materia orgánica, lodo y profundidad. La estructura de este factor sugiere que los sedimentos de textura lodosa están conformados por los metales mencionados, que tienen afinidad

con la materia orgánica y que se encuentran depositados en las mayores profundidades. Como el aluminio simboliza la contribución detrítica y el factor 1 tiene una carga significativa para el aluminio, este factor es determinado como el componente terrígeno, detrítico o continental. Los sedimentos de este factor han viajado grandes distancias y están altamente intemperizados. En la tabla 5.4 de textura este factor corresponde al grupo de lodo y es denominado como el *factor de minerales muy intemperizados*. Las cargas más significativas en este factor son para los metales traza (V, Cr, Ni) que aunque provengan de fuentes continentales, su origen en los sedimentos lodosos es autógeno.

Los mapas de límites promedio (figuras 5.8, 5.9 y 5.10) muestran la manera en la cual los sedimentos terrígenos son distribuidos/depositados en el área. La importancia de los ríos como contribuyentes mayores de sedimentos detríticos a la plataforma continental es ilustrada también por dichos mapas.

El factor 2 explica 10 variables y el 30 % de la varianza total; es un factor bipolar, muestra cargas significativas positivas para SiO_2 , Na_2O , K_2O , Rb, Ba y cargas significativas negativas para CaO, CaCO_3 , Sr.

El polo positivo del factor representa los productos del intemperismo de las masas de tierras adyacentes se encuentran principalmente en áreas cercanas a la costa y/o en zona no muy profundas. Los que se encuentran en las partes más profundas son usualmente depositadas ahí por la acción de trozos de hielo o por el intemperismo de las rocas locales (Riley, 1971). También existe la posibilidad de que sean sedimentos relictos. Los minerales en cuestión representan a los aluminosilicatos, pero más específicamente a los feldespatos (figura 5.18), puede pensarse que estos sedimentos no han viajado grandes distancias y que la mayor parte de sus cambios químicos y físicos se han llevado a cabo *in situ*.

El polo negativo del factor 2 es más probablemente un componente de carbonatos, controla la geoquímica de Ca y el Sr y representa al material de origen biológico. Los sedimentos biogénicos son resultado de la fijación de fases minerales por los organismos marinos. En las regiones cercanas a la costa, los moluscos y los

corales fijan cantidades significativas de carbonato de calcio en forma de aragonita y calcita (figura 5.18). La producción de sedimento biogénico, está sí, determinada por la productividad biológica del océano y controlada por el suministro de nutrientes disponibles. En regiones donde la productividad biológica es suficientemente alta, se acumulan sedimentos biogénicos (Davis, 1976).

Obsérvese que los elementos que conforman al factor 2 corresponden al grupo de las arenas lodosas según la tabla 5.4; el polo positivo del factor representa al subgrupo arena lodosa rica en sílice y el polo negativo al subgrupo arena lodosa carbonatada, de esta manera, es denominado como el *factor de minerales poco intemperizados*.

El Factor 3 explica 3 variables y el 9 % del total de la varianza total, tiene cargas significativas de Y, Th, y Zr; estos elementos son utilizados para definir áreas de enriquecimiento de minerales resistentes y pesados (figura 5.18), generalmente se les encuentra en zonas cercanas a la costa y donde la sedimentación terrígena es pobre y (Calvert, 1976). En la tabla 5.4 de clasificación por textura, las concentraciones más altas de estos minerales se ubican en los sedimentos del grupo arena lodosa, en las regiones más someras, pues estos minerales son capaces de depositarse aún en zonas de alta energía marina debido a su alta gravedad específica. El factor 3 será denominado como *factor de minerales resistentes y pesados*.

Tabla 5.10 Minerales pesados

Mineral	Gravedad específica (g/cm ³)
Rutilo	4.18 - 4.25
Ilmenita	4.70
Zircón	4.66
Hematita	4.8 - 5.3
Monazita	5.0 - 5.3
Magnetita	5.18

Tomado de Cornelius, 1985

El factor 4 explica 2 variables y el 6 % de la varianza total; las cargas significativas del Mn y de susceptibilidad magnética (SM) representan a este factor que será denominado *Factor de minerales magnéticos* (figura 5.18). Los mapas de manganeso y de susceptibilidad magnética (figura 5.21), ilustran el comportamiento

de este factor. Los valores más altos de susceptibilidad magnética se encuentran cerca de las desembocaduras de los ríos. Estos valores corresponden con la lengüeta arenosa de Punta Maldonado, lo que podría indicar que esta lengüeta sea de naturaleza terrígena.

El análisis cuidadoso de la tabla 5.9 muestra que existen varios elementos que están repartidos entre diferentes componentes sedimentarios. El aluminio, por ejemplo, es significativo en factor 1 y en el factor 2 tiene un peso *relativamente alto*; así, podemos inferir que el Al está contribuyendo de manera importante en la geoquímica de las arcillas, pero también se obvia su contribución en los feldespatos - representados en el polo positivo del factor 2. El Fe fundamentalmente se encuentra en el factor 1 conformando los óxidos de hierro (figura 5.18) y en el factor 2 como parte de los minerales ferromagnéticos (factor 4). El titanio es un caso particular y aunque en ninguno de los factores tiene un valor significativo, si tiene valores relativamente altos si lo comparamos con los elementos que conforman cada factor; de esta manera podemos decir: en el factor 1 que debido a su asociación con elementos conservativos (tabla 5.7 $r_{Al-Ti} = 0.91$) el Ti forma parte de los sedimentos que han viajado grandes distancias, en el factor 2 se encuentra en los minerales que provienen de la intemperización de la zona continental adyacente (disgregación de las rocas graníticas de amplia distribución en la zona costera), en el factor 3 se encuentra en la ilmenita y el rutilo contribuyendo con los minerales pesados y resistentes (zircón y monazita) y finalmente, en el factor 4 siendo parte de los minerales titaniferromagnéticos (titanomagnetita, derivada de las rocas volcánicas) (Meynadier, 1995).

5.3.3.5 MATRICES DE CORRELACIÓN

A través de los coeficientes de correlación de Pearson de las diversas fracciones se encontraron correlaciones importantes

La correlación (+) y altas entre:

- Al_2O_3 con SiO_2 , TiO_2 , K_2O , MnO , Rb , Ba , Y , Zr , Nb , Co y Pb (tabla 5.9) indica el origen detrítico de estos elementos. El Al es *per se* detrítico. En el dendograma para variables (figura 5.18) estos elementos se encuentran en el grupo 2 y conforman el *componente litogénico*
- SiO_2 con Al_2O_3 , Na_2O y Ba (tabla 5.11), indica la combinación de diversos feldespatos (Calvert, 1976), se concentran en la porción de arena lodosa y representan a los sedimentos poco intemperizados y que proviene de la erosión de las regiones continentales adyacentes (figura 5.18). Principalmente se manifiestan en el grupo de estaciones 41-23 en la figura de caracterización geográfica de sedimentos (figura 5.20)
- SiO_2 con Th , Y , Zr , P_2O_5 y TiO_2 (tabla 5.11) indica la *presencia de minerales resistentes y pesados* (figura 5.18) tales como la monazita, el rutilo y el zircón (Cornelius) y se encuentran principalmente en la fracción gruesa y en la figura 5.20 son representados por los grupos de estaciones denominados *r* y *p*.
- Al con TiO_2 , K_2O , Nb y Rb (tabla 5.12), indica la presencia de arcillas minerales (aluminosilicatos) y de *materiales muy intemperizados* (figura 5.18). La variación en el contenido de aluminio en los sedimentos refleja la abundancia de arcilla minerales (Calvert, 1976); un aumento en el contenido de aluminio implica mayor grado de intemperización de las arcillas, este incremento produce decremento en la capacidad de intercambio iónico de las arcillas minerales (Rosales et al, 1986). En la figura 5.18, este grupo de elementos es también denominado *arcillas minerales puras*. Se presume que estos componentes son de origen fluvial y se concentran en las estaciones 3-136 representados por el grupo fluviales en el diagrama de Cluster de caracterización geográfica (figura 5.18).
- materia orgánica (MO), Iodo y Fe con Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co y Pb (tabla 5.12) indica que metales traza están adsorbidos, absorbidos o co-precipitados en una u otra fase (arcillas, materia orgánica, óxidos de hierro). Los elementos citados se encuentran en el grupo 2 y se encuentran formando el *componente antigénico*

(figura 5.18) y en el diagrama de caracterización geográfica (figura 5.20) comprenden el grupo de estaciones 82-8

- Ca - CaCO_3 - Sr (tabla 5.11) indican la presencia de aragonita y estroncianita de origen biológico, toda vez que estos son negativos con los elementos caracterizados como terrígenos. Estos elementos están en el grupo 1 y conforman el *componente biogénico* (figura 5.18). En la figura 5.20 estos sedimentos están representados por el subgrupo que forman las estaciones 89-51.
- Fe-Ti (tabla 5.12) pueden sugerir la presencia de ilmenita, titanomagnetita, magnetita y rutilo. En el mapa de distribución de titanio se observa que las más altas concentraciones de titanio (1.6 %)- se encuentran en la zona Oeste de la zona de estudio (figuras 5.22); las más altas concentraciones de hierro (>7%) se encuentran también hacia la zona Oeste. En la figura 5.20 estos minerales están representados por el grupo de estaciones denominado *magnetita e ilmenita (me i)*.

De acuerdo a los análisis realizado ha podido identificarse la serie de grupos que resulta tanto del análisis de clúster para elementos (variables) y de su validación por medio del análisis discriminante múltiple (figura 5.19), como del análisis de clúster para las muestras (casos); como resultado logró inferirse la composición, procedencia y origen de los sedimentos de la plataforma continental de Punta Maldonado. La figura 5.18 representa la caracterización geoquímica de los sedimentos y la figura 5.20 representa la caracterización geográfica de los sedimentos. Con esta información se ha elaborado el mapa de dominios sedimentarios (figura 5.23).

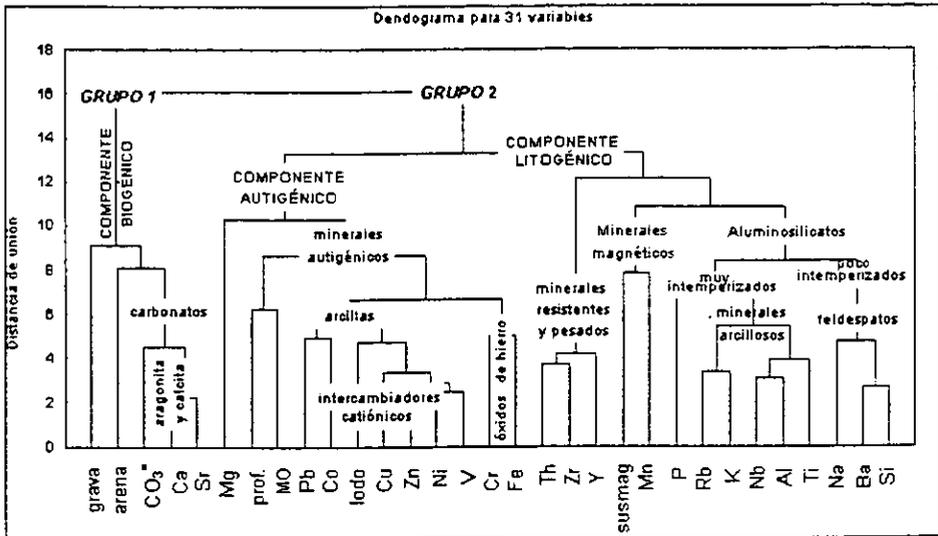


Figura 5.18 Análisis de clúster: caracterización geoquímica

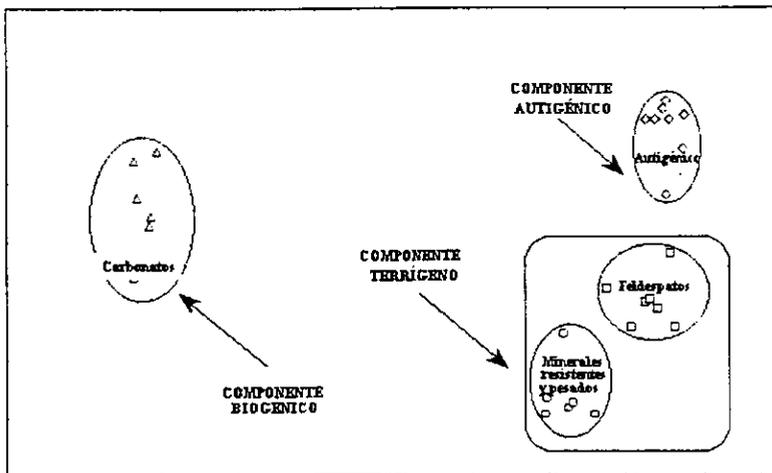


Figura 5.19 Análisis discriminante múltiple

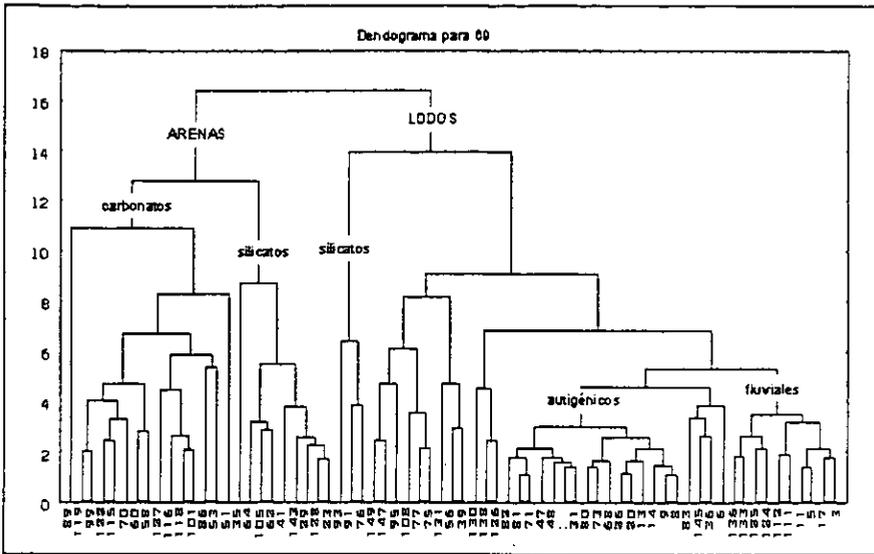


Figura 5.20 Análisis de clúster: caracterización geográfica

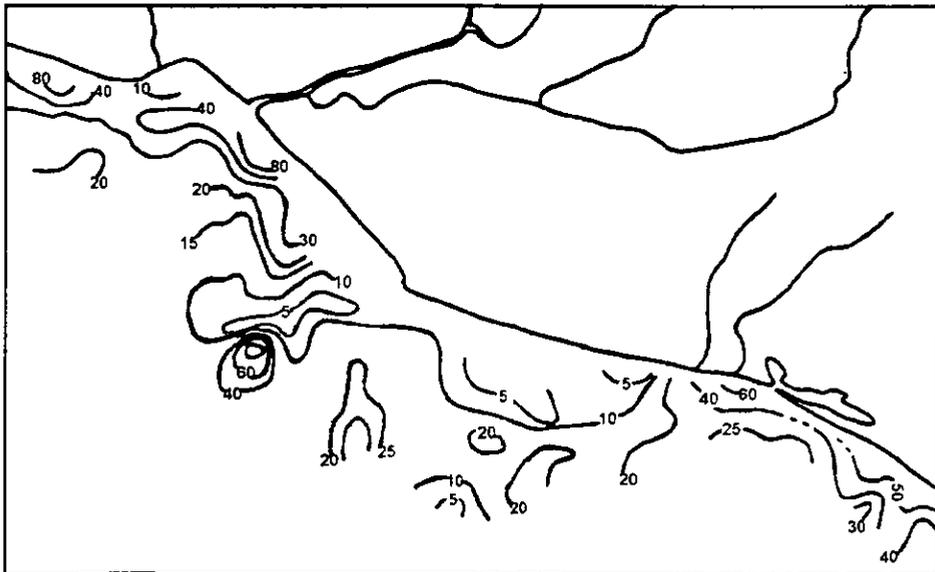


Figura 5.21 Isolines de susceptibilidad magnética

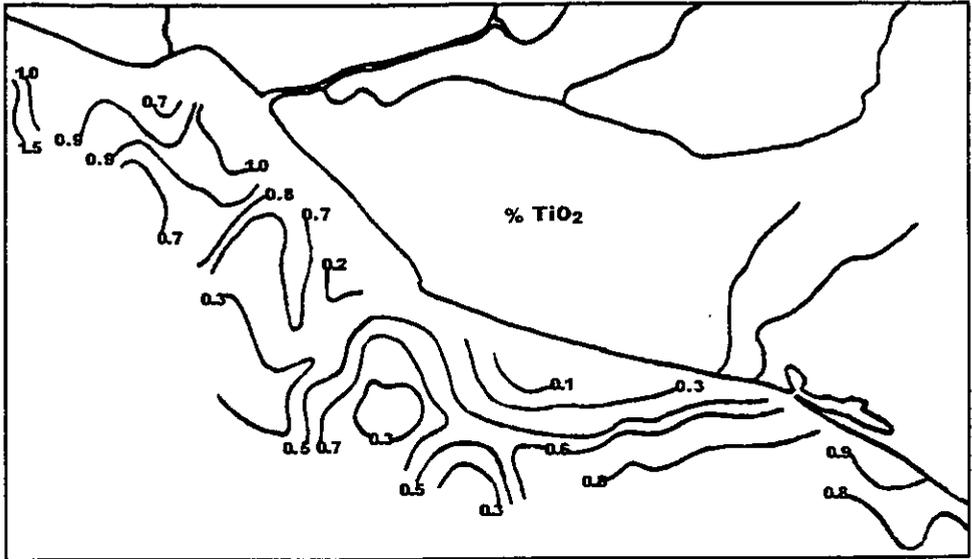


Figura 5.22 Distribución del titanio (%)

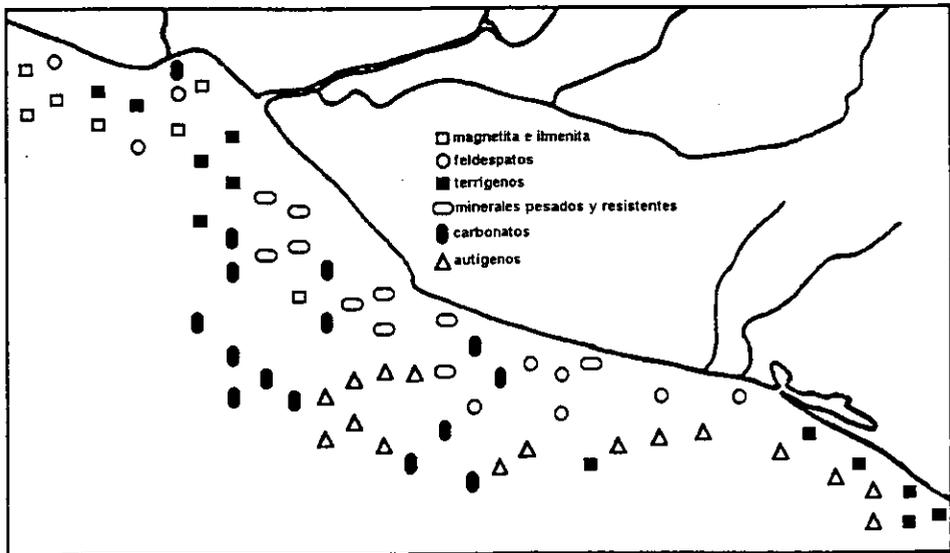


Figura 5.23 Dominios sedimentarios

Tabla 5.12 Coeficientes de correlación de Pearson del sedimento total

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MO	CO ₂	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb	G	A	L	SM			
SiO ₂	1.0																																
TiO ₂	0.4	1.00																															
Al ₂ O ₃	0.5	0.88	1.00																														
Fe ₂ O ₃	-0.0	0.71	0.71	1.00																													
MnO	0.3	0.55	0.42	0.57	1.00																												
MgO	-0.3	0.11	0.16	0.36	-0.02	1.00																											
CaO	-0.8	-0.77	-0.88	-0.43	-0.43	0.04	1.00																										
Na ₂ O	0.8	0.62	0.74	0.25	0.34	-0.14	-0.90	1.00																									
K ₂ O	0.8	0.78	0.80	0.40	0.52	-0.10	0.94	0.84	1.00																								
P ₂ O ₅	0.5	0.76	0.67	0.46	0.42	0.08	-0.68	0.55	0.75	1.00																							
MO	-0.0	0.48	0.60	0.69	0.12	0.44	-0.37	0.19	0.21	0.37	1.00																						
CO ₂	-0.7	-0.76	-0.82	-0.46	-0.42	0.05	0.87	-0.77	-0.80	-0.62	-0.34	1.00																					
Rb	0.7	0.83	0.90	0.48	0.43	-0.07	-0.94	0.81	0.91	0.71	0.42	-0.84	1.00																				
Sr	-0.7	-0.79	-0.88	-0.51	-0.52	-0.02	0.95	-0.83	-0.90	-0.72	-0.43	0.85	-0.91	1.00																			
Ba	0.9	0.59	0.66	0.15	0.42	-0.33	-0.86	0.85	0.90	0.57	0.03	-0.76	0.84	-0.83	1.00																		
Y	0.4	0.51	0.39	0.13	0.37	-0.20	-0.44	0.48	0.43	0.41	0.02	-0.45	0.42	-0.43	0.37	1.00																	
Zr	0.4	0.24	0.07	-0.15	0.27	-0.31	-0.22	0.32	0.28	0.21	-0.30	-0.20	0.18	-0.15	0.25	0.89	1.00																
Nb	0.6	0.89	0.93	0.60	0.49	0.06	-0.86	0.78	0.86	0.71	0.45	-0.83	0.82	-0.87	0.74	0.45	0.20	1.00															
V	0.1	0.71	0.84	0.84	0.37	0.39	-0.64	0.46	0.52	0.53	0.84	-0.61	0.68	-0.69	0.32	0.11	-0.24	0.73	1.00														
Cr	0.0	0.67	0.76	0.81	0.29	0.35	-0.52	0.35	0.38	0.54	0.83	-0.57	0.56	-0.58	0.20	0.18	-0.20	0.62	0.89	1.00													
Co	0.4	0.69	0.83	0.71	0.44	0.17	-0.76	0.59	0.66	0.50	0.62	-0.68	0.77	-0.80	0.56	0.15	-0.14	0.74	0.83	0.69	1.00												
Ni	0.2	0.76	0.85	0.74	0.34	0.36	-0.71	0.53	0.61	0.68	0.80	-0.65	0.74	-0.77	0.40	0.17	-0.18	0.77	0.95	0.86	0.79	1.00											
Cu	0.4	0.71	0.89	0.67	0.40	0.26	-0.81	0.64	0.71	0.66	0.69	-0.77	0.83	-0.85	0.55	0.25	-0.08	0.83	0.91	0.77	0.86	0.95	1.00										
Zn	0.2	0.82	0.94	0.81	0.37	0.35	-0.73	0.66	0.62	0.62	0.77	-0.70	0.78	-0.78	0.42	0.27	-0.08	0.82	0.94	0.87	0.83	0.94	0.92	1.00									
Th	0.2	0.23	0.07	-0.04	0.22	-0.27	-0.14	0.23	0.15	0.17	-0.18	-0.20	0.14	-0.08	0.12	0.85	0.90	0.15	-0.14	-0.04	-0.11	-0.10	-0.02	-0.04	1.00								
Pb	0.4	0.79	0.88	0.65	0.36	0.14	-0.80	0.69	0.72	0.84	0.82	-0.74	0.84	-0.81	0.61	0.31	0.01	0.83	0.82	0.72	0.82	0.83	0.87	0.85	0.04	1.00							
PF	-0.1	0.40	0.48	0.49	0.03	0.26	-0.28	0.17	0.14	0.32	0.70	-0.34	0.36	-0.34	0.01	0.00	0.30	0.35	0.70	0.72	0.49	0.68	0.64	0.63	-0.11	0.57	1.00						
G	-0.2	-0.55	-0.58	-0.42	-0.25	-0.13	0.44	-0.49	-0.36	-0.38	-0.35	0.48	-0.36	0.42	-0.28	-0.42	-0.19	-0.54	-0.47	-0.52	-0.28	-0.46	-0.46	-0.54	-0.23	-0.43	-0.30	1.00					
A	-0.1	-0.69	-0.81	-0.71	-0.20	-0.39	0.61	-0.45	-0.48	-0.44	-0.77	0.50	-0.67	0.64	-0.30	-0.19	0.12	-0.69	-0.87	-0.76	-0.78	-0.84	-0.82	-0.90	0.05	-0.77	-0.62	0.38	1.00				
L	0.1	0.73	0.64	0.73	0.22	0.38	-0.64	0.50	0.50	0.47	0.77	0.54	0.68	0.66	0.32	0.24	-0.08	0.72	0.88	0.79	0.77	0.85	0.83	0.82	0.00	0.79	0.62	-0.51	-0.99	1.00			
SM	0.2	0.34	0.36	0.42	0.62	0.01	-0.35	0.35	0.30	0.10	0.16	-0.36	0.27	-0.40	0.30	0.05	-0.07	0.37	0.36	0.19	0.44	0.31	0.36	0.36	-0.09	0.32	0.08	-0.22	-0.26	0.28	1.00		

Valores significativos con un nivel de confianza de 99.5 % > 0.25 (n = 67)

Tabla 5.11 Coeficientes de correlación de Pearson de los sedimentos de textura: arena lodosa

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MO	CO ₂	Rb	Sr	Ba	Y	Zr	Nb	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Th	Pb	PF	G	A	L			
SiO ₂	1.00																																
TiO ₂	0.67	1.00																															
Al ₂ O ₃	0.68	0.93	1.00																														
Fe ₂ O ₃	-0.28	0.22	0.20	1.00																													
MnO	0.30	0.37	0.22	0.53	1.00																												
MgO	-0.50	-0.28	-0.32	0.05	-0.25	1.00																											
CaO	-0.96	-0.80	-0.83	0.11	-0.30	0.42	1.00																										
Na ₂ O	0.92	0.85	0.84	-0.05	0.36	-0.35	-0.95	1.00																									
K ₂ O	0.92	0.74	0.74	-0.10	0.34	-0.42	-0.94	0.91	1.00																								
P ₂ O ₅	0.87	0.74	0.66	-0.25	0.29	-0.27	-0.84	0.87	0.84	1.00																							
MO	-0.48	-0.13	-0.01	0.43	-0.06	0.25	0.36	-0.35	-0.50	-0.46	1.00																						
CO ₂	-0.80	-0.74	-0.73	0.09	-0.21	0.42	0.82	-0.80	-0.71	-0.69	0.32	1.00																					
Rb	0.94	0.71	0.75	-0.20	0.24	-0.53	-0.95	0.86	0.92	0.82	-0.36	-0.81	1.00																				
Sr	-0.93	-0.75	-0.79	0.05	-0.40	0.47	0.96	-0.90	-0.89	-0.80	0.28	0.79	-0.92	1.00																			
Ba	0.97	0.65	0.71	-0.16	0.30	-0.54	-0.95	0.91	0.93	0.81	-0.46	-0.77	0.94	-0.92	1.00																		
Y	0.55	0.77	0.54	-0.01	0.39	-0.31	-0.55	0.59	0.49	0.68	-0.15	-0.59	0.51	-0.55	0.41	1.00																	
Zr	0.57	0.72	0.46	-0.06	0.41	-0.30	-0.56	0.60	0.59	0.72	-0.34	-0.53	0.52	-0.51	0.44	0.99	1.00																
Nb	0.80	0.88	0.86	0.02	0.33	-0.39	-0.88	0.93	0.84	0.79	-0.35	-0.82	0.79	-0.81	0.79	0.63	0.53	1.00															
V	-0.03	0.42	0.53	0.84	0.39	0.01	-0.17	0.23	0.10	-0.02	0.46	-0.20	0.06	-0.21	0.09	0.00	-0.12	0.31	1.00														
Cr	-0.16	0.31	0.38	0.57	0.02	0.06	0.01	0.04	-0.19	-0.14	0.59	-0.23	-0.06	-0.04	-0.12	0.17	-0.05	0.11	0.72	1.00													
Co	0.46	0.42	0.49	0.45	0.49	-0.31	-0.55	0.45	0.56	0.31	-0.07	-0.42	0.56	-0.64	0.55	0.13	0.11	0.38	0.50	0.22	1.00												
Ni	0.51	0.70	0.82	0.16	0.18	-0.11	-0.66	0.70	0.55	0.49	0.03	-0.63	0.58	-0.67	0.56	0.27	0.13	0.73	0.59	0.41	0.42	1.00											
Cu	0.77	0.80	0.82	0.01	0.34	-0.32	-0.86	0.83	0.80	0.77	-0.24	-0.80	0.83	-0.86	0.77	0.52	0.49	0.87	0.34	0.12	0.53	0.83	1.00										
Zn	0.32	0.80	0.88	0.41	0.14	-0.03	-0.52	0.55	0.41	0.38	0.32	-0.51	0.43	-0.52	0.35	0.41	0.26	0.61	0.71	0.64	0.42	0.81	0.87	1.00									
Th	0.42	0.64	0.35	0.01	0.36	-0.26	-0.41	0.45	0.37	0.58	-0.27	-0.50	0.38	-0.38	0.27	0.93	0.95	0.52	-0.09	0.07	0.03	0.06	0.95	0.21	1.00								
Pb	0.68	0.67	0.73	0.13	0.28	-0.24	-0.75	0.75	0.68	0.71	-0.09	-0.66	0.72	-0.75	0.71	0.40	0.35	0.67	0.44	0.25	0.51	0.73	0.79	0.62	0.25	1.00							
PF	-0.42	-0.08	0.07	0.26	-0.33	0.16	0.30	-0.36	-0.48	-0.41	0.78	0.10	-0.27	0.22	-0.39	-0.15	-0.39	-0.26	0.44	0.74	-0.03	0.20	-0.07	0.42	-0.27	0.64	1.00						
G	-0.12	-0.61	-0.57	-0.28	-0.15	0.04	0.21	-0.36	-0.11	-0.26	-0.23	0.38	-0.08	0.16	-0.10	-0.50	-0.37	-0.47	-0.44	-0.47	0.21	-0.41	-0.29	-0.61	-0.42	-0.24	-0.22	1.00					
A	-0.13	-0.41	-0.48	-0.25	0.12	0.05	0.28	-0.19	-0.26	-0.16	-0.29	0.04	-0.31	0.25	-0.17	-0.19	-0.15	-0.19	-0.33	-0.31	-0.42	-0.23	-0.23	-0.52	-0.07	-0.24	-0.27	0.00	1.00				
L	0.17	0.69	0.72	0.37	0.00	-0.09	-0.35	0.37	0.27	0.29	0.37	-0.27	0.29	-0.29	0.20	0.46	0.35	0.44	0.53	0.53	0.21	0.44	0.35	0.79	0.31	0.33	0.35	-0.62	-0.78	1.00			

Valores significativos con un nivel de confianza de 99.5 % > 0.40 (n = 24)

CONCLUSIONES

- ⇒ El análisis geoquímico y mineralógico de los sedimentos superficiales de la plataforma continental adyacente a Punta Maldonado permite concluir lo siguiente:
- ⇒ La deposición/distribución de los sedimentos está controlada, en gran medida, por la morfología de la plataforma continental.
- ⇒ La distribución de la textura sedimentaria sobre la plataforma continental es función de la dirección, la magnitud del medio de transporte.
- ⇒ El sedimento de la plataforma continental está constituido, principalmente, de lodos. La distribución del tamaño de partícula está en función del área transportada, es decir, el sedimento lodoso se encuentra depositado en las mayores profundidades y alejado de la línea de costa (cuando no hay desembocaduras de los ríos); las partículas arenosas se encuentran depositadas en áreas de profundidad somera y cerca de la línea de costa.
- ⇒ Existe un muy importante suministro de sedimentos terrígenos por parte de los ríos que drenan el área, particularmente el río Ometepec y el Río La Arena que son relativamente largos y de gran caudal.
- ⇒ La materia orgánica de la plataforma continental es principalmente aportada por los ríos; así, por lo tanto es de origen detrítico.
- ⇒ En general, existen en los sedimentos, grandes concentraciones de carbonatos de origen marino que son diluidos por el suministro de sedimentos fluviales.
- ⇒ Existe un control textural muy importante sobre la geoquímica de los sedimentos
- ⇒ El análisis estadístico ha revelado que existen tres importantes fuentes de suministro de elementos a la plataforma: biogénico, terrigénico, y autigénico.
- ⇒ El Ca y el Sr son parte de los carbonatos y conforman el componente biogénico, se concentran en la fracción gruesa, en áreas someras donde el aporte fluvial es nulo, los minerales en que están involucrados los elementos son la aragonita y la calcita.
- ⇒ El Si, Ba y Na son de origen terrígeno y producto de la erosión de las masas adyacentes continentales, se encuentran en sedimentos de tamaño grueso, se les

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Conclusiones

- encuentra cerca de la línea de costa y se les ha llamado sedimentos poco intemperizados, estos elementos se encuentran formando diversos feldespatos.
- ⇒ El Al, Ti, K, P, Rb y Nb son terrígenos y son incorporados a la plataforma por vía fluvial, los sedimentos que contienen estos elementos han viajado grandes distancias y están muy intemperizados, se concentran en los sedimentos lodosos y se depositan en zonas relativamente profundas, los elementos se encuentran presentes en arcilla minerales puras cuya estructura es la de aluminosilicatos.
 - ⇒ El Fe y Mn son elementos terrígenos aportados también por los ríos, las altas concentraciones de estos elementos están asociadas con la susceptibilidad magnética y forman minerales magnéticos, también se les encuentra formando óxidos de hierro y manganeso.
 - ⇒ El Y, Th y Zr son elementos terrígenos de origen fluvial, se les encuentra en las partículas gruesas cerca de la línea de costa, estos elementos se encuentran formando parte de los minerales pesados y resistentes al ataque fisicoquímico.
 - ⇒ El Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co y Pb son autigénicos, se encuentran adsorbidos, absorbidos o co-precipitados sobre la materia orgánica, las arcillas minerales y/o los óxidos de hierro, se concentran en los sedimentos más finos y las más grandes profundidades.
 - ⇒ No se encontraron concentraciones sobresalientes de minerales de importancia económica, debido a la dilución de los sedimentos por parte de los carbonatos.

BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Álvarez R. U. et al (1986). Heavy metals in blanco in river sediments, Veracruz , México, An. ICMYL, 13 (2): 1 - 10.
- ◆ Arche, A. (1992). Sedimentología, V. I y II, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ◆ Atlas Nacional de México (1991). V.II, UNAM, México.
- ◆ Birch G.F. (1996). Sediment-bound metallic contaminants in Sidney's Estuaries and adjacent offshore, Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 42:31-44.
- ◆ Boillot S. (1984). Geología de los márgenes continentales. México: Manson S.A.
- ◆ Bruce F. M (1974). A rapid accurate method for the analysis of the analysis of calcium carbonate in small samples. Journal of sedimentary petrology, 44 (2):589-590.
- ◆ Calvert S.E. (1976). The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. Cap. 33, en Riley and Chester (1976). Chemical Oceanography V.6, London: Academic.
- ◆ Carta de climas, Hoja 14Q-VIII, escala 1:500,000, Com. Ees: del Territorio Nacional, México.
- ◆ Carranza E.A. (1980). Ambientes sedimentarios recientes de la llanura costera del Istmo de Tehuantepec. An. ICMYL, UNAM, 7(2):13-66.
- ◆ Carranza E.A. (1989). Investigation of phosphorite deposits in the Gulf of Tehuntepec, Mexico. Marine Mining, 8:317-323.
- ◆ Carranza E.A. (1997). La granulometría y su uso en estudios geoquímicos y ambientales. Actas INAGEQ, 3: 235-243.
- ◆ Carranza E.A. et al. (1988). Estudio sedimentológico de las playas del estado de Oaxaca, México. An. CCMYL, UNAM, 15(2):23-38.
- ◆ Carranza E. A. et al (1986). Estudio de sedimentos de la plataforma continental del estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos minerales del mar. An. ICMYL, UNAM, 13(3):241-262.
- ◆ Carranza E. A. y Morales G. E. (1998). Informe Técnico de la Campaña Oceanográfica Sedimento I. ICMYL, UNAM.

- ◆ Carranza E. A., et al (en preparación). Investigación sobre indicadores terrigenos en un sector de la plataforma continental del sur de México.
- ◆ Cornelius S.H. (1974). Manual de mineralogía de Dana. Barcelona: Reverté.
- ◆ Cornelius K. (1985). Manual of mineralogy. USA: Adison Wesley and Sons.
- ◆ Crutchfield J., A. (1982). A perspective on ocean resources. In: Economic of oceans reources, a research agenda, G. M., Brown Jr. and Crutchfield, Eds.
- ◆ Chester R. (1990). Marine geochemistry. London: Unwyn Hyman.
- ◆ Dabrio, C. J. (1992). Plataformas siliciclásticas. En: Arche, A. (1992). Sedimentología, V. I, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ◆ Davies A. T. (1976). Oceanic sediment and sedimentary processes. Cap. 24. En: Riley and Chester. Chemical Oceanography, V.5. London: Academic.
- ◆ Flashka
- ◆ Froelich P. N. (1980). Analysis of carbon in marine sediments. Limnol. Oceanogr., 25(3):564-572.
- ◆ Galiana M., T. (1987). Gran diccionario de las ciencias. V. 6, Larousse, Barcelona.
- ◆ García E. (1988). Modificaciones de clasificación climáticas de Koppén. Para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana.
- ◆ Gaudette H.E. et al (1974). An inexpensive titration method for the determinaton of organic carbon in recent sediments. Jour. Sed. Petrol., 44(1):249-253.
- ◆ Gupta L. P. y V. Subramanian (1994). Enviromental geochemistry of the River.
- ◆ Gomti: A tributary of Ganges River. Enviromental Geology, 24:235-243.
- ◆ Heruk B. et al (1997). Sources and distribution of trace and minor elements in the western Dead Sea surface sediments. Applied Geochemistry, 12: 497 - 505.
- ◆ Hesse P. R. (1971). Soil Chemical Analysis. EUA: John Murray.
- ◆ Lanza E. G. (1986). Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. An. ICMYL, 13 (1): 251-286.

- ◆ Jeffery G.H. et al (1984). Vogel's. Text Book of quantitative chemical analysis, V.64, Buenos Aires: Ed. Karpelusz.
- ◆ Lecuanda R. T. (1996). El límite exterior de la plataforma continental: una revisión terminológica y conceptual. *Geografía y Desarrollo*, 13:56-62.
- ◆ Leet L. D. and S. Hudson (1993). *Fundamentos de Geología Física*, México: Limusa.
- ◆ Libes M. S. (1992). *Marine Geochemistry*, Singapur: John Wiley and Sons.
- ◆ López R.E. (1981). *Geología de México*. V.I y V.II, México.
- ◆ Lozano S. C., R. et al (1995). Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos mayores en rocas ígneas. *Actas INAGEQ*, 1: 203 - 208.
- ◆ Lozano S. C., R. Y Girón G., P. (en preparación). Determination of thirteen trace and ten major elements in thirty - nine igneous geochemical reference samples by X - ray fluorescence spectrometry.
- ◆ Manjuata B. R. y Shankar R. (1995). The influence of the river on the geochemistry of the shelf sediments, southwestern coast of India. *Environmental Geology*, 31 (1/2): 107-115.
- ◆ Márquez G. A. y Morales G. E. (1984). *Sedimentología de la plataforma continental del estado de Guerrero, México*. Tesis De Licenciatura, Fac. De Ingeniería-UNAM.
- ◆ Mas j. R. y A. Alonso (1992). La sedimentación carbonatada en mares someros En: Arche, A. (1992). *Sedimentología*, V. II, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- ◆ Méndez J. C. (1998). *Dinámica química del estuario del Río Coatzacoalcos*. Tesis de maestría, DEPFI, UNAM.
- ◆ Nagender N. B. et al (1989). Geochemical evidence of terrigenous influence in deep-sea sediments up to 8° S in the Central Indian Basin. *Marine Geology*, 87:301-313.
- ◆ Neter J: et al (1996). *Applied linear regression models*, 3ª ed., USA: Ed. Irwing.

- ◆ Olivera S.A. (1997). Estudio geoquímica de los sedimentos litorales del Pacífico México. Tesis, FI, UNAM, México.
- ◆ Ortega R., F., et al (1992). Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana escala 1:2'000,000, México: UNAM-SEMIP.
- ◆ Ortiz (2000). Análisis de la contaminación en sedimentos y bentos en el Bajo Río Coatzacoalcos, Veracruz, DEPEC, UNAM.
- ◆ Paez O.S. y M.L. Fung-Lee (1984). Comparación de tres técnicas para analizar materia orgánica en sedimentos. An. ICMYL, UNAM, 11(1):25-264.
- ◆ Paiva P. et al (1997). Elemental distribution in a sedimentary deposit on the shelf off the Tagus Estuary (Portugal). Water, air and soil Pollution 99: 507-514.
- ◆ Press F. and R. Siever (1994). Understanding Earth. New York, W.H. Freeman and Company.
- ◆ Reforma (2 de junio 2000). Salvemos nuestro petróleo en el Golfo. Sección: Nacional, p. 12A.
- ◆ Reforma (4 de junio 2000). Salvemos nuestro petróleo en el Golfo. Sección: Nacional, p. 11A.
- ◆ Riley and Chester (1989). Introducción a la química marina. México: AGT editor.
- ◆ Riley and Chester (1976). Chemical Oceanography V.6, London: Academic.
- ◆ Rosales H. L. (1980). Manual de Laboratorio de Oceanografía Química, México: ICMYL, UNAM.
- ◆ Rosales H. L. et al (1986). Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México, An. ICMYL, 13(3):19-28.
- ◆ Rosales H. L. y Carranza E.A. (1993). Geochemistry of deep sea sediments from the pacific manganese nodule province near Clairon Island, México. Marine Georesources and Geotechnology, 11: 201-211
- ◆ Santiago P. (1990). Estudio químico de los sedimentos de una porción de la plataforma continental de Baja California Norte. Tesis, FQ, UNAM, México.
- ◆ Sevilla M. L. (1977). Introducción a la ecología marina, México: IPN.

- ♦ Shumilin et al (1988). Características litológico-geoquímica de los sedimentos superficiales de la Bahía Concepción, B.C.S, INAGEQ, 2:79-84.
- ♦ Skoog D.A. (1996). Fundamentos de Química Analítica, 4ª ed., España: Reverté.
- ♦ Slomp C.P. et al (1997). Iron and manganese cycling in different sedimentary environments on the North Sea continental margin. *Continental Shelf Research*, 17 (9):1083-1117.
- ♦ Tamayo J.L. (1949). Geografía general de México, V.I, México: Talleres Gráficos de la Nación.
- ♦ Shapiro S. (1975). Rapid analysis of silicate, carbonates and phosphates rocks. U.S.G.S., Bull. 1401, USA.
- ♦ Verma P., S. et al (1996). Calibración preliminar de fluorescencia de rayos X para análisis cuantitativo de elementos traza en rocas ígneas. *Actas INAGEQ*, 2: 237 - 242.
- ♦ Vogel A. (1969). Química analítica cuantitativa. V.II, 2ª ed., Ed. Karpelusz, Buenos Aires.

APÉNDICE

Determinaciones en blanco. Una determinación en blanco se realiza exactamente en las mismas condiciones que el análisis principal, pero sin la introducción en ella de una muestra de la sustancia objeto del análisis. Con ello se determina, en las volumetrías, el exceso de disolución valorada necesario para alcanzar el punto final en las mismas condiciones que el análisis de la muestra problema. Con los resultados de la determinación en blanco se puede establecer la corrección oportuna del resultado del análisis de la muestra.

Determinación de control: Es posible corregir o confirmar los resultados de un análisis cuantitativo llevando a cabo, en las mismas condiciones que el análisis principal, una determinación del componente que interesa sobre una muestra de concentración conocida que contenga aproximadamente la misma cantidad de componente que la muestra problema. El peso del componente en la muestra problema, x , puede ser calculado por la relación:

$$x = \frac{\% \text{ del componente en la muestra}}{\% \text{ componente en control}} * \text{ peso del componte en el control}$$

La dificultad principal de la aplicación de este método es la de encontrar sustancias de contenido conocido en el componente cuyo tanto por ciento interesa controlar en un análisis determinado. La manera más corriente de solventar esta dificultad es utilizar sustancias o sales puras de composición centesimal conocida; sin embargo, en los análisis de muchos productos naturales y sobre todo de los artificiales, se ha encontrado que es más conveniente el preparar una muestra lo más semejante posible al material a analizar y deducir su composición centesimal por medio de un cierto número de análisis practicados de manera independiente y por diferentes métodos. Las muestras así preparadas se conocen como *muestras patrón* o *muestras tipo*, y su uso es muy útil sobre todo en la determinación de la precisión y exactitud de un método nuevo, y resulta imprescindible en la practica de todos los métodos instrumentales de análisis. La precisión del método por la

desviación media de una determinación aislada o por la desviación típica. El error constante del mismo viene dado por la diferencia entre la media y al tanto por ciento de la sustancia conocida o muestra tipo (Bermejo, 1991).

A. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.

Existen diversos métodos para determinar materia orgánica; los más comunes son: pérdida por ignición, gasómetro LECO y el de titulación.

De los fines del análisis y características de las muestras; dependerá la técnica que se usará. En sedimentos no arcillosos el carbono orgánico total puede determinarse por ignición, para sedimentos de condiciones redox similares y, en una misma área es aconsejable la técnica de titulación; cuando se tienen muestras de sedimentos arcillosos con características redox variable, el analizador de carbono LECO, resulta el método de referencia más confiable.

La materia orgánica en el sedimento de la zona de estudio fue determinada por la técnica de titulación redox.

El método de titulación utiliza calentamiento exotérmico y oxidación con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 concentrado, el exceso de dicromato de potasio es titulado con $FeSO_4 \cdot NH_4$ o $FeSO_4$ 0.5 N.

El método fue propuesto por Walkley-Black (1934), que a su vez fue adoptado y modificado por Jackson (1958); este método diferencia materia húmica de fuentes externas de carbono orgánico, tales como grafito y carbón.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Los resultados obtenidos por este método se refieren en términos de carbono de glucosa. El verdadero contenido de carbono en el material orgánico se aproximaría a este valor si todo el carbono estuviera presente en la forma de carbohidratos; normalmente los resultados serán altos o bajos según sea la naturaleza de la materia orgánica, pero la composición promedio del fitoplancton y

detritos es tal que el valor verdadero de contenido de carbono difiere del 10 al 20 % del valor de oxidación obtenido por el presente método. El carbono oxidable es una medida real de la energía almacenada en la biomasa del sistema

Interferencias: el método presenta algunas desventajas, por la presencia de compuestos inorgánicos que consumen dicromato tales como CaCO_3 y Cl^- solubles, Fe^{3+} , carbón elemental y óxidos de manganeso.

Los efectos de estas interferencias fueron evaluados por Walkley (1947) y Okuda (1964) (citados por Rosales, 1980), quienes demostraron que el ion cloruro interfiere en la oxidación de la materia orgánica con el dicromato, reduciendo el cromato y originando un error positivo; y propusieron el uso de ácido fosfórico (H_3PO_4) el cual volatiliza la mayoría de los iones cloruro como HCl y reduce los halógenos restantes a un nivel aceptable (<0.1 mg de Cl^-).

La interferencia por iones férricos se elimina con la adición de NaF o Ag_2SO_4 en la mezcla de digestión.

Los óxidos de manganeso se eliminan con ácido fosfórico.

El no-calentamiento externo por el método de titulación, excluye el carbón elemental. Por otra parte, Walkley en 1947 sugiere que cantidades menores de carbonato de calcio no producen variabilidad significativa en la determinación de carbono orgánico.

Se ha encontrado evidencia de que algo de la fracción de materia orgánica en sedimentos esta íntimamente asociada con la calcita biogénica y es solubilizada (y frecuentemente descartada), durante un proceso de descalcificación ácida. La fracción de carbono orgánico soluble es más grande en sedimentos calcáreos, esta fracción ácida soluble, probablemente este constituida por una mezcla compleja de compuestos marinos húmicos. Si se descarta el sobrenadante del lavado ácido, probablemente se este perdiendo del 5 al 10 % de carbono orgánico en sedimentos con bajo contenido de carbonatos y arriba del 45 % en sedimentos ricos en carbonatos y pobres en materia orgánica (Hesse, 1971).

Procedimiento:

- Pesar 0.5 g de sedimento seco y molido.
- Colocarlo en un matraz erlenmeyer de 500 mL.
- Adicionar 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N y mezclar.

Disolver 49.4 g de dicromato de potasio en agua destilada y aforar a un litro.

- Agregar 20 mL de H_2SO_4 conc. y mezclar por un minuto (para que el sedimento entre en contacto con los reactivos).
- Dejar en reposo 30 min.
- Diluir con agua destilada a un volumen de 200 mL.
- Adicionar 10 mL de H_3PO_4 conc., 0.2 g de NaF (cristales) grado analítico reactivo
- Adicionar 15 gotas de difenilamina como indicador

Color de la forma oxidada: violeta

Color de la forma reducida: verde brillante

Disolver 5 g de difenilamina ($C_{12}H_{10}NH$) grado reactivo en 20 mL de agua y 100 mL de ácido sulfúrico concentrado.

- Titular con sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2 \cdot 6H_2O$ (el color cambia de café verdoso a azul oscuro y en el punto final cambia a verde brillante).
Disolver 196.1 g de sulfato ferroso amoniacal en 800 mL de agua destilada conteniendo 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. Aforar a un litro.
- Correr una determinación en blanco

Para estandarizar el método se utiliza glucosa como muestra control. En el cálculo se debe considerar que el valor teórico reportado para un mg es 39.99 % de carbón orgánico.

Cálculos:

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \left(1 - \frac{I}{S}\right) \left(\frac{V * N * 0.003}{W}\right) * 100$$

Donde:

T = volumen en mL de FeSO_4 usados en la titulación de la muestra.

S = volumen en mL de FeSO_4 usados en la titulación del blanco.

V = volumen de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

W = peso de la muestra en g.

0.003 = 12 / 400 = peso meq del carbón.

1.0 N = normalidad del $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

10 = volumen de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en mL adicionado.

El factor T/S cancela el efecto de la normalidad del sulfato ferroso (Rosales, 1980; Paez, 1984; Libes, 1992; Gaudette et al 1974; Froelich, 1980).

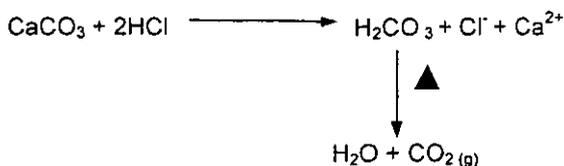
B. DETERMINACIÓN DE CARBONATOS.

Existen varios métodos para la determinación de carbonatos en sedimentos, sin embargo 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 en la muestra con HCl.

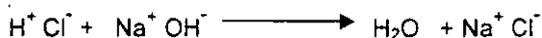
En el método gasométrico se cuantifica en un calcímetro el CO_2 desprendido mediante el desplazamiento en una columna graduada; es necesario considerar la temperatura y presión del sistema al equilibrar la columna con la presión manométrica pues es un análisis manométrico. La desventaja de este método es que no se logra atrapar el 100% de CO_2 desprendido y se subestiman las concentraciones de carbonatos.

Una titulación ácido-base es usada como una alternativa para la determinación de carbonatos.

La técnica se basa en el principio de una titulación por retroceso, donde a la muestra de sedimento se le agrega un exceso de ácido clorhídrico de concentración conocida. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



El exceso de ácido clorhídrico que no fue consumido por los carbonatos se titula con una solución de hidróxido de sodio valorada de acuerdo a la siguiente reacción:



Al restar la cantidad de ácido que no reaccionó de la cantidad que adicionamos, obtendremos la cantidad de ácido que fue consumida por el total de los carbonatos existentes en la muestra de sedimento (Hesse, 1971; Bruce, 1974; Shapiro, 1975; Rosales, 1980)

Las interferencias que pueden presentarse son por la reacción el ácido clorhídrico con diversos compuestos:

- ~ hidróxidos, óxidos o sales básicas, pueden ser neutralizadas con el HCl; por ejemplo, al tratar Ni(OH)₂, MgO, OBiCl se obtiene agua y la sal correspondiente.
- ~ produce la formación de ácidos poco disociado que pueden o no ser estables: el oxalato de calcio se disuelve y forma ácido oxálico.
- ~ reduce algunos agentes oxidantes fuertes: MnO₂ que produce cloruro de manganeso (II) y desprendimiento de cloro.
- ~ produce la formación de cloruros complejos (H₂PtCl₄, H₂AgCl) al disolver halogenuros metálicos
- ~ produce la formación de productos volátiles (CO₂, HS, Cl₂ y SO₂) por la reacción con sulfitos y sulfatos.
- ~ Produce la formación de precipitados si existen metales: Pb, Ag, Hg⁺ o TI⁺ (Ayres, 1970; Bermejo, 1991).

Las reacciones que pueden llevarse a cabo en una matriz tan compleja como a de un sedimento son múltiples; sin embargo, los componentes con los que puede reaccionar el HCl, si se encuentran, están en concentraciones muy pequeñas -sea del orden de las ppm o incluso de las ppb- y por lo tanto el error debido a ellos no es grave.

Procedimiento:

- Pesar, por diferencia en un pesafiltros, de 0.25 - 2.00 gramos muestra molida

Si la pérdida por calcinación es (%):	Peso de la muestra (g):
<10	2
10-20	1
20-40	0.5
>40	0.25

- Pasar a un Erlenmeyer de 250 mL y agregar con pipeta volumétrica 50 mL de HCl 0.1 N
- Agitar para mojar todas las partículas de la muestra
- Calentar a ebullición durante 2 minutos se deja enfriar a temperatura ambiente para eliminar de esta forma el dióxido de carbono.
- Agregar 3 gotas de indicador
 Azul de bromotimol: Intervalo de transición de pH: 6.0 - 7.6
 Color de la forma ácida: amarillo
 Color de la forma básica: azul
 Preparación de la solución: disolver 0.02 gramos del indicador en 3.5 mL de NaOH 0.01 N y 50 mL de agua destilada.
 Rojo de fenol: Intervalo de transición de pH: 6.4 - 8.0
 Color de la forma ácida: amarillo
 Color de la forma básica: rojo
 Preparación de la solución: disolver 0.1 gramos del indicador en 28.2 mL de NaOH 0.01 N y 225 mL de agua destilada

Rojo neutro: Intervalo de transición de pH: 6.0 - 7.6

Color de la forma ácida: rojo

Color de la forma básica: naranja

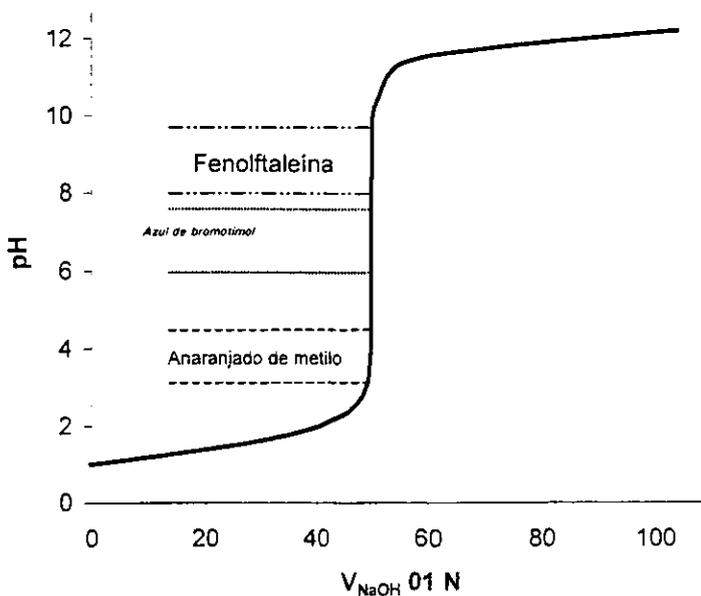
Preparación de la solución: disolver 0.01 gramos del indicador en 50 mL de EtOH y 50 mL de agua destilada.

- Titular con solución valorada de hidróxido de sodio 0.1 N el exceso de ácido, usando para determinar el punto final (pH=7) un potenciómetro.
- Correr una determinación en blanco

La reacción de neutralización es la siguiente:



La gráfica de titulación del HCl con NaOH 0.1N es la siguiente:



Cálculos:

En la determinación se están cuantificando todos los carbonatos, pero como los de calcio son los que se encuentran en mayor concentración, se reportan y calculan como si fuese carbonato de calcio.

$$\% \text{ CaCO}_3 = \frac{(V - v) \cdot N \cdot \text{eq}}{W} \cdot 100$$

Donde: V = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la determinación en blanco (mL)

v = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la muestra (mL)

N = normalidad de la solución de NaOH

eq = miliequivalentes de carbonato de calcio = 0.050

W = peso de la muestra de sedimento (g)

Para validar el método se utiliza, como muestra control, carbonato de calcio con una pureza del 99% secado a 110 °C.

⊗ Preparación de la solución de NaOH 0.1 N

- Hervir por 5 minutos 2 litros de agua destilada para eliminar el CO₂ proveniente de la atmósfera, el cual puede formar ácido carbónico y conferirle cierta acidez al agua destilada:



Permitir que se enfríe antes de usarse.

- Preparar una disolución acuosa de hidróxido de sodio al 50 % (p/p). El carbonato de sodio es insoluble en este medio y precipita.
- Transferir a un recipiente de polietileno y tapar. Dejar en reposo por una semana para que los carbonatos sedimenten.

- Se toman aproximadamente 12 mL de la disolución cristalina y se diluyen en aproximadamente 2 L de el agua hervida.

⊗ Normalización de NaOH

Se utiliza biftalato ácido de potasio como patrón primario

- Pesar entre 1.2 - 1.4 gramos de biftalato de potasio en un pesafiltro. Registrar el peso de la muestra más el pesafiltro).
- Secar el biftalato de potasio durante 2 horas a 110 °C
- Transferir el biftalato, sin pérdida, a un matraz erlenmeyer de 250 mL . Pesar el pesafiltros vacio: registrar por diferencia el peso exacto de la muestra.
- Disolver con 50 mL de agua destilada hervida. Calentar sí en necesario.

- Agregar, como indicador, 3 gotas de fenolftaleína al 0.1 %

Intervalo de transición de pH: 8.0 - 9.6

Color de la forma ácida: incoloro

Color de la forma básica: rosa

Preparación de la solución 0.1 %: disolver 0.025 gramos de fenolftaleína en 12.5 mL de etanol y 12.5 mL de agua destilada.

- Enjuagar la bureta con el titulante
- Titular con la solución de hidróxido de sodio hasta que aparezca el color rosa y persista por 20 segundos.



P.M = 204.223 g/mol

- Correr la muestra por quintuplicado.
- Correr tres determinaciones en blanco.

Cálculos:

$$\frac{F_{\text{g ftalato}}}{V_{\text{mL sin}}} * \frac{\text{eq ftalato}}{204.22\text{g de ftalato}} * \frac{\text{eq NaOH}}{\text{eq ftalato}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = \frac{\text{eq NaOH}}{\text{L sin.}} = N_{\text{NaOH}}$$

Donde: F = peso del biftalato de potasio (g)

V = volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la titulación del biftalato - volumen de NaOH gastado al punto de equivalencia de la determinación en blanco (mL)

⊗ Preparación de una solución de ácido clorhídrico 0.1 N

- Hervir 2 litros de agua destilada.

- Medir con pipeta 18 mL de HCl concentrado

$\rho = 1.18 \text{ g/mL}$

P.M = 36.5 g/mol

Pureza = 36 % (p/p)

Concentración = 11.6 mol/L

- Diluir en 2 L de agua destilada

C. FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La espectrometría de fluorescencia de Rayos X (FRX) suele ser la mejor solución cuando se necesita conocer con rapidez la composición elemental en muestras sólidas, en polvos y en líquidos, pues permite la detección de casi todos los elementos del sistema periódico -desde el flúor hasta el uranio- en un amplio intervalo de concentraciones (desde partes por millón (ppm) hasta el 100%).

Adicionalmente, la EFRX posee ciertas características analíticas que son particularmente valiosas para el análisis rutinario. Con excepción de análisis por activación neutrónica esta técnica es uno de los pocos métodos analíticos que en los cuales las determinaciones son normalmente hechas sobre las muestras natural, evitando con ello la digestión o disolución que es un prerrequisito en la mayoría de las técnicas de espectroscopia atómica de sensibilidad comparable (Potts y Webb, 1992).

Los instrumentos modernos de FRX, son capaces de proporcionar análisis cualitativos de materiales complejos, con una precisión que iguala o supera la de los otros métodos instrumentales. Sin embargo para que la precisión alcance este nivel se requiere de estándares de calibrado que se aproximen lo más a las muestras,

tanto en composición química como física, o bien de métodos adecuados para considerar los efectos de matriz -si se corrigen adecuadamente los efectos de matriz, la espectrometría de FRX es quizá una de las herramientas más poderosas al alcance del químico para las determinaciones tanto cualitativas como cuantitativas (Skoog, 1996).

Esta técnica tiene un sinnúmero de aplicaciones; por ejemplo, se utiliza para analizar aleaciones, minerales, rocas, catalizadores, recubrimientos (pinturas, barnices, esmaltes), elementos traza en productos petrolíferos, conservas alimenticias, residuos industriales y urbanos, etc.

La técnica de FRX es una espectroscopía basada en el fenómeno de fluorescencia de rayos X. El fundamento físico de este fenómeno consiste en la excitación de los electrones presentes en las cercanías del núcleo del átomo mediante una fuente de rayos X. Cuando una muestra es bombardeada por electrones de energía apropiada, se produce la emisión de rayos X cuyas energías y abundancia relativa dependen de la composición de la muestra.

El proceso de la emisión de rayos X se muestra esquemáticamente en la figura C.1. Inicialmente, un electrón expulsa a un electrón de una capa interna de un átomo de la muestra. La vacante resultante es ocupada por un electrón de una capa más energética del átomo. Al "caer" a un estado de menor energía, este electrón que pasa a ocupar dicha vacante debe ceder parte de su energía, la cual aparece en forma de radiación electromagnética. La energía de la radiación emitida es exactamente igual a la diferencia de energía entre los dos niveles electrónicos involucrados en el proceso. Ya que esta diferencia de energía es grande para capas internas, la radiación aparece como rayos X (figura C.1).

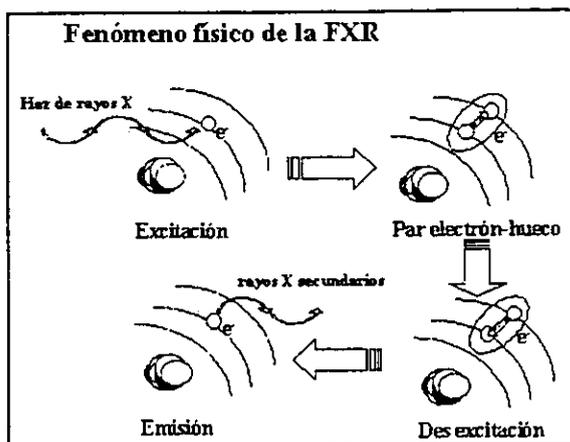


Figura C.1 El fenómeno de XRF paso a paso.

Hay varios niveles de energía -y por tanto varios mecanismos potenciales de rellenar vacantes- dentro de cada átomo. Como consecuencia de esto último, un mismo elemento emitirá rayos X de distintas energías (figura C.2). Usualmente las líneas de rayos X características reciben el nombre de la capa en la que tiene lugar la vacante inicial, con un subíndice que indica la capa de la que procede el electrón que pasa a ocupar dicha vacante. Por ejemplo, si la vacante tiene lugar en la capa K y el electrón que pasa a ocupar la vacante cae desde la capa adyacente (L) se dice que se emiten rayos X K_{α} . Si el electrón cae desde la capa M los rayos X emitidos son K_{β} , y así sucesivamente (figura C.2). La respuesta más sensible es obtenida por la fluorescencia de las líneas K.

El resultado de la excitación y desexcitación de los átomos presentes en un sólido es un espectro de dispersión de longitud de onda, donde aparecen simultáneamente todas las transiciones asociadas a los elementos químicos presentes.

Como puede verse en la figura C.3, un espectro de FRX se presenta usualmente como un histograma en donde el eje horizontal representa la longitud de onda (en ángstroms, Å°), y el eje vertical número de fotones detectados o intensidad

(en Kilocuentas/segundo). En este espectro en particular, se representan las líneas fluorescentes más sensibles que resultan de bombardear con rayos X una muestra de acero inoxidable cuya composición es: Si = 0.4%; Cr = 18%; Ni = 8%; Fe = 73.6%.

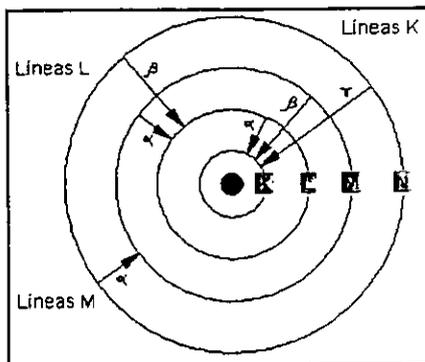


Figura C.2 Líneas espectrales

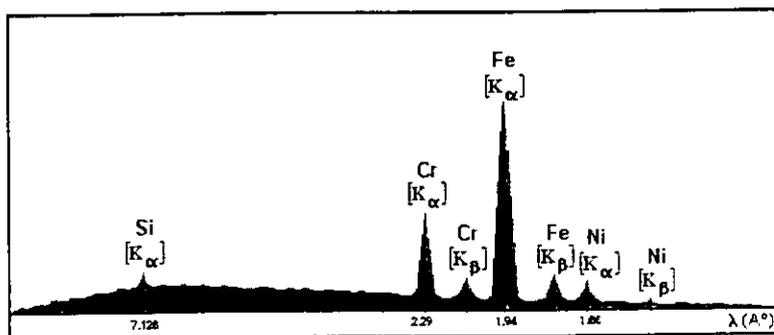


Figura C.3 Espectro característico de un análisis de XRF. Acero inoxidable de composición.

La longitud de onda (λ) de las diferentes líneas tiene un valor determinado, por ejemplo, la línea alfa del Fe corresponde a 6.403 KeV o un valor de un ángulo 2θ que dependerá del tipo de cristal analizador que se este utilizando y que esta relacionado con la λ . por medio de la ley de Bragg.

Las cuentas que forman el resto del pico a uno y otro lado de la energía teórica de la línea corresponden a variaciones aleatorias en la cantidad de carga que los RX generan en el detector y al ruido que el circuito electrónico introduce en la señal. La anchura de los picos a mitad de su altura da una indicación de la resolución del detector que será tanto mejor cuanto menor sea esta anchura. La multitud de pequeños picos por encima de todo el espectro representan fluctuaciones estadísticas.

Finalmente, todas estas características están superpuestas a un ruido de fondo que decae lentamente de izquierda a derecha.

Además, para unas condiciones de análisis dadas, el número de rayos X emitidos para cada elemento aparece más o menos relacionado con la concentración del elemento. Estos rayos X se separan por longitudes de onda mediante un cristal de difracción y posteriormente se detectan y se miden (figura C.4).

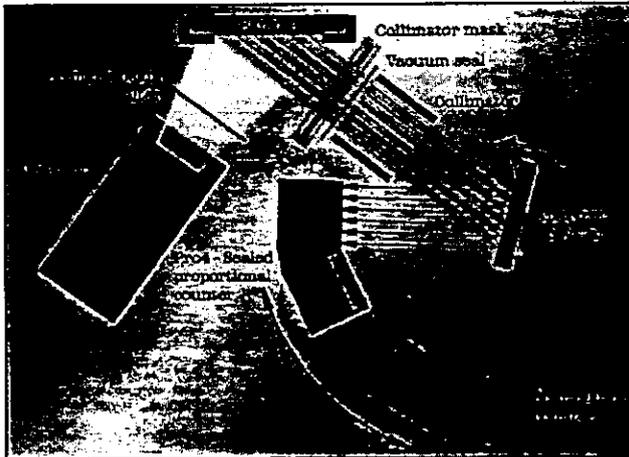


Figura C.4 Principales componentes de un espectrómetro de dispersión longitud de onda

Para el análisis de los espectros de rayos X se utilizan los espectrómetros de Bragg, en los que la longitud de onda (λ) se mide de acuerdo con la conocida ley de Bragg, para la reflexión de un haz de RX por las caras de un cristal:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

siendo: n = orden de reflexión

d = distancia o espaciado entre los planos reticulares que reflejan la radiación

θ = ángulo de incidencia formado por la dirección del haz de rayos X y la cara del cristal

Analizando la posición de los máximos de intensidad, se identifican los elementos presentes (Análisis Cualitativo), deconvolucionando e integrando cada uno de los perfiles elementales obtenemos las proporciones másicas de los elementos presentes (Análisis Semicuantitativo) y añadiendo un elemento patrón de concentración conocida se obtiene la cuantificación absoluta de dichos elementos (Análisis Cuantitativo).

La magnitud de la absorción de RX por la materia para un haz de RX monocromático, se rige por una ley análoga a la de Lambert-Beer para la absorción de la luz en un medio no transparente. La ley de Beer es tan aplicable a los procesos de absorción de rayos X como a otros tipos de radiación electromagnética; así, se puede escribir:

$$\ln (P_0/P) = \mu\chi$$

Donde: χ es el grosor de la muestra en centímetros, P y P_0 son las potencias de los haces transmitidos e incidente. La constante μ se llama coeficiente de absorción lineal y es característico del elemento al igual que el número de átomos en la trayectoria del haz. Una manera adecuada de escribir la ley de Beer es:

$$\ln (P_0/P) = \mu_M \rho \chi$$

donde ρ es la densidad de la muestra, μ_M es el coeficiente de absorción másico, un parámetro que es independiente de los estados físico y químico, tiene unidades de cm^2/g .

Por último, una vez adquirido el espectro, con la ayuda de patrones o sin ellos y mediante el software adecuado se puede realizar de forma automática el análisis

cualitativo, es decir, la identificación de picos y el análisis cuantitativo o cálculo de la concentración de los diferentes elementos.

Típicamente, entonces, el análisis cuantitativo de un espectro adquirido comprende cinco pasos: (1) reconocimiento de picos espúreos, (2) identificación de los elementos presentes en la muestra a partir de los picos que aparecen en el espectro, (3) extracción del ruido de fondo, (4) resolución de los picos espectrales, y (5) cómputo de la concentración de elementos, proceso éste que implica tener en cuenta los efectos de unos elementos sobre otros en la muestra. A pesar de estas aparentes dificultades los sistemas modernos pueden adquirir y analizar un espectro complejo de rayos X en pocos minutos.

Procedimiento:

La determinación de elementos mayores y traza se lleva a cabo en un pastilla prensada.

- Pesado de 4 g de muestra y 0.4 g de aglutinante wax-c micropolvo de Hoechst
- Mezclado en un en un mortero de ágata o por medio de un molino *Spex 8000 Mixer/Mill* en vial de Tugsteno Carbide.
- Prensado a 30 ton/cm² durante 30 s en un prensa automática *Graseby/Specac* con un dado de 4 cm de diámetro. La prensa cuenta con la posibilidad de evacuación de aire, lo cual permite extraer el gas presente y así evitar irregularidades en la superficiales en la pastilla.
- Medición de muestras en un espectrómetro secuencial de FRX marca *Siemens SRS 3000*. Las condiciones de medición fueron fijadas considerando la necesidad de obtener la mayor intensidad posible de las líneas analíticas para cada momento (Verma et al, 1996).

D. DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA POR CALCINACIÓN

Cuando se calienta una muestra a una temperatura entre 1000 y 1100 °C existe una pérdida de compuestos debido a la combustión, esta suele llamarse pérdida por calcinación y en ella van englobados el agua combinada, el dióxido de carbono y la materia orgánica (Vogel, 1969; Bermejo, 1991).

La pérdida por calcinación se utiliza para hacer un ajuste al 100% de la determinación de elementos mayores por medio de la FRX y para saber la cantidad de muestra que ha de pesarse en la determinación de los carbonatos.

Procedimiento:

- Secar las cápsulas o crisoles de porcelana a 530 °C por 3 horas en la mufla
- Secar a temperatura ambiente en un desecador
- Llevar las cápsulas a peso constante
- Pesarse de 2-3 gramos de muestra
- Calcinarse la muestra en la mufla a 900 °C por una hora
- Enfriarse a temperatura ambiente en un desecador
- Pesarse

Cálculos:

$$\% \text{PPC} = \frac{M - (MCC - C)}{M} * 100$$

Donde:

% PPI = % de pérdida por calcinación

M = peso de la muestra

CMC = peso del crisol y la muestra calcinados

C = peso del crisol