

5
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES
TAL. DE QUÍMICA

"ESTUDIO GEOQUÍMICO DE LOS SEDIMENTOS
LITORALES DEL ESTADO DE VERACRUZ, MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Q U I M I C O

P R E S E N T A :

GASTON CASTILLO REYES



MÉXICO D.F.

1996

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

Presidente Prof. SILVIA BELLO GARCES

Vocal Prof. LETICIA ROSALES HOZ

Secretario Prof. HUMBERTO ARRIOLA SANTAMARIA

1er. suplente Prof. JOSE ALEJANDRO BAEZA REYES

2do. suplente Prof. PLINIO JESUS SOSA FERNANDEZ

Sitio donde se desarrollo el tema:

INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

UNAM

Asesor

Ma. Leticia Rosales H.

Dra. LETICIA ROSALES HOZ

Sustentante

G

GASTON CASTILLO REYES

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis mas sinceros agradecimientos a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de esta tesis.

A CONACYT por apoyar esta tesis a través del Proyecto de Investigación titulado "Investigación Composicional Sobre Arenas de Playas Mexicanas" (clave J477T).

A la Dra. Leticia Rosales Hoz por la dirección de esta tesis y su apoyo moral.

Al Dr. Arturo Carranza Edwards, Director del Proyecto "Investigación Composicional Sobre Arenas de Playas Mexicanas", por las facilidades otorgadas para la obtención de la beca y por sus comentarios que sirvieron para mejorar este trabajo.

A Susana (Santiago Pérez, Q.F.B.) por el asesoramiento técnico, sus consejos y su invaluable amistad.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, así como a su personal, por las facilidades prestadas en material y servicios.

CONTENIDO

CAPITULO	PAG.
1. INTRODUCCION.....	3
1.1 Objetivos	14
2. AREA DE ESTUDIO.....	15
2.1 Clima	16
2.2 Provincias geológicas y ríos	17
2.3 Corrientes	22
2.4 Nortes	24
3. METODO DE TRABAJO.....	26
3.1 Trabajo de campo	26
3.2 Trabajo de laboratorio	26
Cuarteado de la muestra	26
Eliminación de sales	27
Homogeneización y secado	27
Determinación de carbonatos	28
Eliminación de la fracción biogénica	30
Determinación de P_2O_5	31
Determinación de elementos mayores y elementos traza	33
Pérdida por ignición	38
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	39
4.1 Composición química	39
Zona A	41
Zona B	42
Zona C	44
Zona D	45
Zona E	47
4.2 Intemperismo	49
4.3 Regionalización geoquímica	51
Análisis de grupos	51
Análisis de factores	57
Regionalización geoquímica	60
5. CONCLUSIONES.....	63
6. APENDICE.....	66
A. Los minerales que forman las rocas	66
B. Absorción atómica	66
C. Cluster	76
D. Análisis de factores	80
E. Composición química de algunas rocas	83
F. Elementos traza en minerales y rocas sedimentarias	84
7. BIBLIOGRAFIA.....	86

INDICE DE TABLAS

TABLA	entre páginas
Tabla 1.1 Resistencia de minerales al intemperismo	8
Tabla 3.1 Desviación estándar del calcímetro	30 y 31
Tabla 3.2 Condiciones de trabajo en el análisis de absorción atómica	34 y 35
Tabla 3.3 Intercalibración	38 y 39
Tabla 4.1 Composición de los sedimentos	40 y 41
Tabla 4.2 Elementos mayores	40 y 41
Tabla 4.3 Elementos traza	40 y 41
Tabla 4.4 Correlaciones	49 y 50
Tabla 4.5 Análisis de factores	58 y 59
Tabla 4.6 Varianza acumulada	58 y 59

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	entre páginas
Figura 1.1 Perfil de Playa	3
Figura 1.2 Resistencia de minerales al intemperismo	6
Figura 2.1 Area de estudio	16 y 17
Figura 2.2 Climas	16 y 17
Figura 2.3 Provincias geológicas	17 y 18
Figura 2.4 Litología	17 y 18
Figura 2.5 Ríos	17 y 18
Figura 2.6 Corrientes	23
Figura 3.1 Calcímetro de Bernard	30
Figura 4.1 Agrupamiento de muestras	42 y 43
Figura 4.2 Arbol de jerarquías	51 y 52
Figura 4.3 Regionalización geoquímica	60 y 61
Figura 6.1 Transición energética en un átomo de Na	71
Figura 6.2 Curva de calibración	73
Figura 6.3 Esquema de un espectrofotómetro	74
Figura 6.4 Matrices empleadas en análisis de grupos	77

1. INTRODUCCION

La playa constituye un límite natural entre el aire, la tierra y el agua y se considera como una acumulación de material suelto en el límite de la acción del oleaje⁽¹⁾.

Las playas varían de un lugar a otro, pero se puede decir que todas tienen en común la existencia de un perfil (figura 1.1), el cual puede presentar diferentes características, según sean los procesos terrestres, acuáticos y atmosféricos que la afecten.

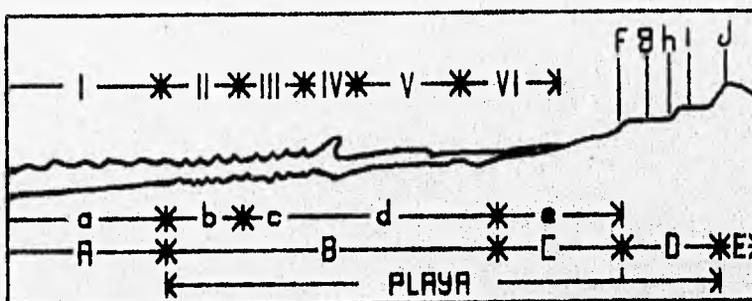


Figura 1.1.- Esquema idealizado del perfil de playa. A) Plataforma continental, B) infraplaya, C) mesoplaya, D) supraplaya, E) dominio terrestre, I) olas simétricas sin influencia en el fondo, II) olas simétricas con influencia en el fondo, III) olas asimétricas con influencia en el fondo, IV) zona de rompientes, V) zona de barrido, VI) zona de vaivén, a) piso liso sin risaduras, b) risaduras simétricas, c) risaduras asimétricas, d) barras y canales, e) frente de playa, f) cresta de berma, g) berma, h) escalón de playa, i) berma de tormentas, j) dunas. (Tomado de Carranza y Caso, 1994; ref. 2)

El límite inferior de la playa es el punto en el cual el material no consolidado del fondo entra en movimiento por la acción de las olas, y el límite superior puede estar dado por la vegetación o por algún cambio en la fisiografía, como pueden ser los acantilados o incluso construcciones u obras civiles⁽²⁾.

El límite inferior está controlado principalmente por el oleaje, las corrientes y las mareas, que incluye partes altas (expuestas al aire cuando el nivel del agua es bajo) y partes bajas (sumergidas todo el tiempo); por otro lado el límite superior puede ser modificado por la acción del viento, tormentas, ciclones, erosión y otros factores.

En el estudio de la composición química de los sedimentos de playa se consideran dos componentes principales: la fracción biogénica y la fracción terrígena.

La fracción biogénica o fracción carbonatada está constituida por conchas, residuos óseos, y carbonatos minerales. Por definición las rocas y los sedimentos carbonatados son aquellos que contienen más del 30% de carbonatos minerales, los cuales están compuestos de CO_3^{-2} y uno o más cationes, siendo la calcita (CaCO_3) el carbonato mineral más común. Estos carbonatos minerales precipitan de las aguas saturadas de carbonatos por procesos químicos y bioquímicos, y se acumulan en una gran variedad de formas; por ejemplo, restos óseos, núcleos inorgánicos que se desarrollan en las fases móviles de los mares poco profundos, capas entre suelos áridos y como precipitados laminares en las paredes de cuevas de caliza. En el caso de las playas el origen de esta fracción es principalmente marino. En otros ambientes, como las lagunas costeras, también abundan los organismos vivos, donde sus residuos junto con las condiciones fisicoquímicas facilitan la

formación de carbonatos minerales que son depositados en las playas a través de las corrientes y el oleaje⁽³⁾.

La fracción terrígena es, por lo general, la componente más frecuente en muchas playas, está formada por material procedente de rocas continentales, debido a la erosión y transporte ⁽⁴⁾; por lo que, el tipo de materiales que se encuentran en una playa depende del tipo de roca que se presenta en la porción continental. Las rocas continentales pueden ser volcánicas, sedimentarias y metamórficas y los minerales que las forman se clasifican como minerales primarios y secundarios.

Las rocas volcánicas se forman por el enfriamiento y la consolidación del magma, son las más abundantes en la corteza terrestre por volumen y están compuestas en su mayor parte por cuarzo, feldespato, mica, anfíbolita, piroxeno y olivino. Las rocas sedimentarias, que son las más abundantes en la superficie terrestre, se definen como cualquier roca formada por precipitación química o por sedimentación y cementación de granos minerales transportados al sitio de deposición a través del hielo, el agua o el viento. Las rocas metamórficas son rocas cuya textura y/o compuestos originales se han transformado a nuevas texturas y/o compuestos por reacciones en estado sólido como resultado de altas temperaturas, altas presiones o ambos⁽⁵⁾.

Se conoce como minerales primarios a los minerales que componen las rocas volcánicas y metamórficas, entre estos se pueden citar el cuarzo, el piroxeno, el granate, etc. Por

otro lado, los minerales secundarios, como la caolinita, son el resultado de las reacciones que sufren los minerales primarios en la superficie terrestre^(6,7,8).

En algunas áreas el fondo marino adyacente a la playa puede ser la mayor fuente de arena a la misma, y en otras áreas, el material se agrega por la erosión de las rocas que sobresalen en la costa; en estas fuentes, es el oleaje el factor que permite transportar los materiales hacia la playa. En otras zonas los ciclos temporales de oleaje hacen que una playa pierda material en una temporada y lo gane en otra⁽⁴⁾. Pero, normalmente, la mayor cantidad del material que compone una playa deriva de los procesos de intemperismo que afectan las rocas continentales⁽⁴⁾.

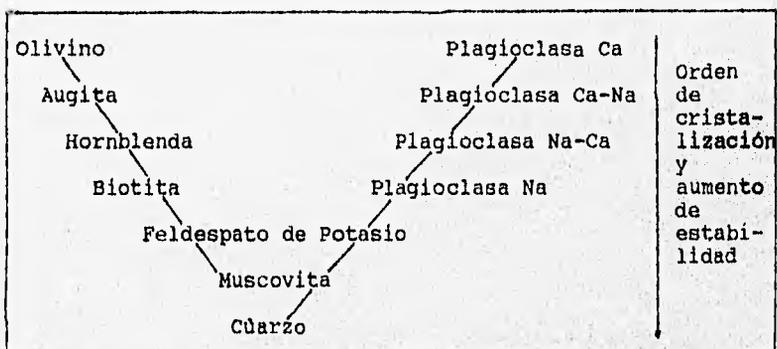


FIGURA 1.2. Resistencia relativa de minerales al intemperismo en la superficie de la Tierra. La susceptibilidad de los minerales formadores de rocas al intemperismo se encuentra en orden inverso al orden de cristalización de los minerales del magma. En otras palabras, los silicatos que cristalizan a las temperaturas más altas tienden a ser los que se intemperizan más fácilmente (entre estos se incluyen el olivino, así como los feldespatos ricos en calcio, los piroxenos y los anfíboles). La biotita y los feldespatos ricos en sodio son menos intemperizables porque ellos cristalizan a temperaturas más bajas. El cuarzo, que cristaliza a temperaturas más bajas, se encuentra entre los minerales más estables y presenta poco desgaste químico, sin embargo, con el tiempo, algunas cantidades de cuarzo pueden pasar lentamente a solución. (Tomado de Goldich, 1938; ref. 9)

El intemperismo es un proceso natural y se puede definir como la alteración y/o desintegración in situ de las rocas en el intervalo de temperaturas de la superficie terrestre⁽⁶⁾. Este desgaste de las rocas se lleva a cabo por procesos mecánicos y químicos, donde la fuerza motriz es la inestabilidad termodinámica de las rocas ígneas y metamórficas a las condiciones de la superficie terrestre⁽⁷⁾ (figura 1.2).

Entre los factores físicos que afectan a las rocas se encuentra el calor, que causa expansiones y contracciones en los minerales que tienen diferentes coeficientes de expansión térmica; las oscilaciones de temperatura en presencia de humedad; y, las alteraciones provocadas por la solidificación del agua almacenada en las fisuras de las rocas.

Por otro lado, los factores físicos que influyen en el intemperismo químico son: el clima, ya que en las regiones tropicales donde abunda la humedad las reacciones ocurren a mayor velocidad que en otras zonas de menor temperatura. La composición de las rocas es un factor importante, porque se alteran más rápido las rocas que contienen minerales más inestables a las condiciones de la superficie terrestre (tabla 1.1). La textura es otro de los factores que afectan el desarrollo del intemperismo, esta propiedad es la que permite el acceso de los agentes químicos de la atmósfera y la hidrósfera a las fases cristalinas a través de los poros

y los espacios intergranulares, lo que hace a una roca compuesta de granos finos más susceptible al ataque de la humedad que una de granos grandes, debido a que entre más finas sean las partículas que forman una roca es más grande el área superficial por unidad de volumen que está en contacto con las fases líquidas⁽⁶⁾.

Más resistente	8 Ilmenita	17 Zoisita
	9 Magnetita	18 Augita
1 Cuarzo	10 Estauroлита	19 Silimanita
2 Zircón	11 Kianita	20 Hiperstena
3 Turmalina	12 Epidota	21 Diopsida
4 Monazita	13 Hornblenda	22 Actinolita
5 Granate	14 Andalusita	23 Olivino
6 Biotita	15 Topacio	
7 Apatita	16 Esfena	Menos resistente

TABLA 1.1 Resistencia relativa de minerales al intemperismo. (Modificado de Ollier, 1975; ref. 7)

Para comprender el efecto de los factores físicos sobre las rocas se puede citar el caso de las rocas graníticas, en las que el cuarzo es atacado y fragmentado por las aguas freáticas donde a pesar de que permanece en los residuos de intemperismo más tiempo que los otros minerales primarios, es hidrolizado poco a poco. Otro ejemplo son las reacciones que ocurren con la biotita y los feldespatos, ya que en ambientes húmedos la biotita (una mica que forma parte de la roca continental) toma agua en su reticulado y se expande, particularmente a lo largo de las divisiones basales; estas fracturas se desarrollan y se extienden como microfisuras hacia los cristales adyacentes de feldespato y cuarzo. La

biotita se altera hacia hidrobiotita y forma interfases biotita/hidrobiotita que, dependiendo de las diferentes condiciones, se pueden transformar en vermiculita, clorita o caolinita⁽¹⁰⁾.

En los procesos químicos provocados por el intemperismo se alteran uno o más de los minerales que forman las rocas. El procedimiento para identificar la pérdida (o ganancia) de elementos, como resultado del intemperismo, se basa en el hecho de que elementos como Ca, Na y K (junto con Si, Al y O) forman feldespatos y plagioclasas, minerales fundamentales de las rocas ígneas que se alteran, provocando una disminución en la concentración de estos elementos, de los cuales el Al 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 que ocurren la mayoría de los procesos geoquímicos en la superficie terrestre⁽⁸⁾. Nesbitt y Young definieron el Índice Químico de Alteración⁽¹¹⁾ al cual sugieren aplicar en rocas volcánicas y plutónicas y que está dado por:

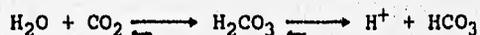
$$IQA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O} * 100 \quad (1.1)$$

EL IQA ha sido utilizado por Carranza-Edwards et al⁽¹²⁾ y por Rosales-Hoz y Carranza-Edwards⁽¹³⁾, en el estudio de arenas terrígenas recientes de playas mexicanas, obteniéndose resultados útiles en el análisis de muestras de sedimentos litorales.

El intemperismo químico es importante porque conduce en buena medida al reajuste de minerales en los ambientes de la superficie terrestre, así como al enriquecimiento de suelos y acuíferos con los elementos que son lixiviados de los minerales.

En el intemperismo, los agentes activos de la descomposición de las rocas consisten en soluciones acuosas químicamente activas (ácidos débiles) y vapor de agua⁽⁵⁾. Estos procesos se pueden comprender más claramente con el ejemplo de los siguientes párrafos.

Cuando la lluvia atraviesa la atmósfera, disuelve pequeñas cantidades de dióxido de carbono, produciendo el ácido carbónico que es un ácido débil. Al caer en la superficie terrestre, se mueve en todas direcciones y la fuerza de esta solución ácida se incrementa por la incorporación de más dióxido de carbono liberado por la descomposición de la vegetación. El ácido carbónico se ioniza para formar iones hidrógeno e iones bicarbonato:



Los iones hidrógeno son extremadamente eficaces en la descomposición de los minerales debido a que son tan pequeños que pueden entrar en un cristal y reemplazar a otros iones, cambiando la composición. Esta eficacia se puede ilustrar con un feldespato de potasio, como sigue:



En este caso, los iones hidrógeno entran en el feldespato y reemplazan a los iones potasio, que abandonan el cristal y se incorporan a la solución; y el agua se combina con la molécula remanente de feldespato para formar la caolinita, que es un mineral arcilloso. Este es uno de los procesos químicos más comunes en el desgaste químico de las rocas. La caolinita es un miembro común del grupo de los minerales muy insolubles que componen las arcillas, las cuales se acumulan y forman parte de la regolita, nombre con el que se conoce a los residuos del intemperismo que permanecen sobre la roca madre o parental⁽⁵⁾.

El ejemplo anterior, en el que el agua reacciona con los feldespatos para producir arcillas, ilustra los cambios de composición química que involucran la hidrólisis, proceso en el cual se combinan alta energía en los iones hidrógeno activos con su radio iónico pequeño, para dar lugar a la sustitución iónica⁽⁶⁾.

La mineralogía de las rocas es un factor dominante para el control de los elementos que se liberan de los minerales hacia la solución acuosa durante el ataque químico⁽⁶⁾. Por ejemplo, estudios de intemperismo en rocas graníticas muestran que calcio y sodio son algunos de los primeros elementos que se pierden con el intemperismo. Potasio, rubidio y torio son ejemplos de elementos movilizados durante los estados intermedios y finales de los procesos de intemperismo; mientras que litio, cobre, manganeso y cinc son algunos elementos que permanecen en los fragmentos

rocosos residuales y enriquecen la porción del suelo circundante⁽¹⁴⁾. La pérdida inicial de grandes cantidades de calcio y sodio se ha observado, también, en estudios de intemperismo sobre granitos, gneisses y otras rocas básicas⁽⁹⁾.

También se sabe que durante la degradación de arcillas, algunos cationes son lixiviados de los minerales primarios, pero que después algunos de estos mismos cationes se fijan por adsorción e intercambio en los minerales secundarios (arcillosos); en estos procesos calcio, estroncio y sodio son los elementos que se disuelven y migran más rápido junto con grandes cantidades de magnesio; mientras que, cantidades considerables de elementos como rubidio, cesio y bario permanecen en el perfil de intemperismo, fijados a las arcillas secundarias^(15,16).

Se desprende de lo anterior que el agua es un gran disolvente natural, pero también es un importante medio de transporte que se combina con el clima (temperatura y precipitación pluvial) y el relieve para que los minerales, primarios y secundarios, que se encuentran juntos en los perfiles de intemperismo puedan ser transportados por los ríos y corrientes de agua hacia el océano y, de ahí, ser depositados en las playas.

Debido a las fuerzas mecánicas (ríos, viento, oleaje, etc.) que depositan el material en las playas, se espera encontrar materiales que sean muy resistentes a los procesos de intemperismo mecánico y químico. Por ejemplo, no se

esperaría encontrar en una playa minerales solubles como la calcantita ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), o minerales de baja resistencia mecánica como el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), sino minerales de alta resistencia como el cuarzo (SiO_2), la apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{-(F,Cl,OH)}$), la biotita ($\text{K(Mg,Fe)}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), etc⁽⁴⁾.

Aunque los feldespatos, cuarzos y fragmentos de roca son los agregados más abundantes en las playas, también se pueden encontrar, en cantidades importantes, minerales como columbita ($[\text{Fe,Mn}]\text{Nb}_2\text{O}_6$), magnetita (Fe_3O_4), ilmenita (FeTiO_3), zircón (ZrSiO_4) y menos frecuentemente se encuentran el oro, los diamantes, casiterita (SnO_2), esquelita (CaWO_4), wolframita ($[\text{Fe,Mn}]\text{WO}_4$), monazita ($[\text{Ce,Lu,Y,Th}]\text{PO}_4$) y el platino. Estos últimos son minerales pesados que, generalmente, son resistentes al intemperismo químico y que se encuentran depositados en ambientes subacuáticos llamados "placeros", de donde son transportados hacia las playas. Otro mineral interesante es la glauconita, un aluminosilicato hidratado de hierro y potasio, que está ampliamente distribuido en las zonas poco profundas del océano⁽⁴⁾.

Probablemente los minerales comerciales más importantes, desde el punto de vista de una extracción extensa, sean la grava y la arena, usados en la industria de la construcción como parte del concreto o como material de relleno; estos materiales también son transportados hacia las playas de ambientes subacuáticos conocidos como agregados⁽⁴⁾.

Un proceso muy importante es la concentración de minerales pesados en algunas zonas de la playa, que se debe al movimiento constante de las arenas en la zona de vaivén por las olas, las mareas y la acción del viento, lo que permite la separación de los granos que la componen por sus diferentes densidades, concentrando generalmente los minerales pesados en el fondo de los horizontes arenosos⁽⁴⁾.

Entonces, las playas, debido a ese constante aporte de materiales del continente, pueden considerarse como potencial reserva mineral, donde se pueden aprovechar los procesos de desgaste, pulverización y concentración que son efectuados por la naturaleza, lo que podría favorecer una extracción mineral sencilla y barata⁽⁴⁾.

En un país como el nuestro (México) que cuenta con más de 10, 000 km de litoral es relevante establecer la composición química de los sedimentos litorales para conocer el tipo de recursos minerales que esta región ofrece para el futuro.

1.1 OBJETIVOS

El presente estudio forma parte del Proyecto de Investigación CONACYT 400356-S-3477T, titulado: Investigación Composicional Sobre Arenas de Playas Mexicanas , desarrollado con el objetivo de conocer las regiones de actividad geológica en el país, con posibles fuentes minerales, en el cual se utiliza la composición de las playas para establecer estas zonas de actividad geológica.

En esta tesis se pretende:

- Establecer la composición química de sedimentos litorales del suroeste del Golfo de México,
- Definir los factores físicos y geográficos que más influyen en la composición química de los sedimentos, y
- Definir zonas sedimentarias dentro de las distintas regiones del área de estudio en base en las características químicas de los sedimentos litorales.

2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en el Golfo de México, aproximadamente, entre los 22°60' y los 18°30' latitud norte los cuales comprenden la porción litoral del Estado de Veracruz, donde se muestrearon 30 playas. Se incluyen, además, dos muestras ubicadas en el Estado de Tamaulipas y tres muestras ubicadas en el Estado de Tabasco, que en total abarcan más de 760 km de litoral (figura 2.1)

2.1. CLIMA.

A esta zona le corresponde el clima cálido húmedo⁽¹⁶⁾, el cual se extiende por todo el Golfo de México (figura 2.2). Sus temperaturas son uniformemente altas, la temperatura media anual es superior a 24°C, situándose los valores mas bajos al norte del paralelo 22. La amplitud térmica es la más baja de la República, oscilando entre los 2 y 11°C.

En cuanto a la variación de las temperaturas en el curso del año, se sabe que enero es el mes más frío con temperatura media de 18°C. Junio presenta el valor máximo al sur de Veracruz y agosto en el norte⁽¹⁷⁾.

En esta zona la humedad relativa muestra valores altos con un índice mayor a 80% entre Tampico y Veracruz. Las precipitaciones anuales son superiores a 1,000 mm⁽¹⁷⁾.

El ritmo anual de las precipitaciones manifiesta un máximo característico concentrado en los meses estivales (junio a octubre); pero, una característica importante es que en el Golfo de México existen ciclones y huracanes tropicales que generalmente provienen del Mar Caribe y que



FIGURA 2.1. AREA DE ESTUDIO.

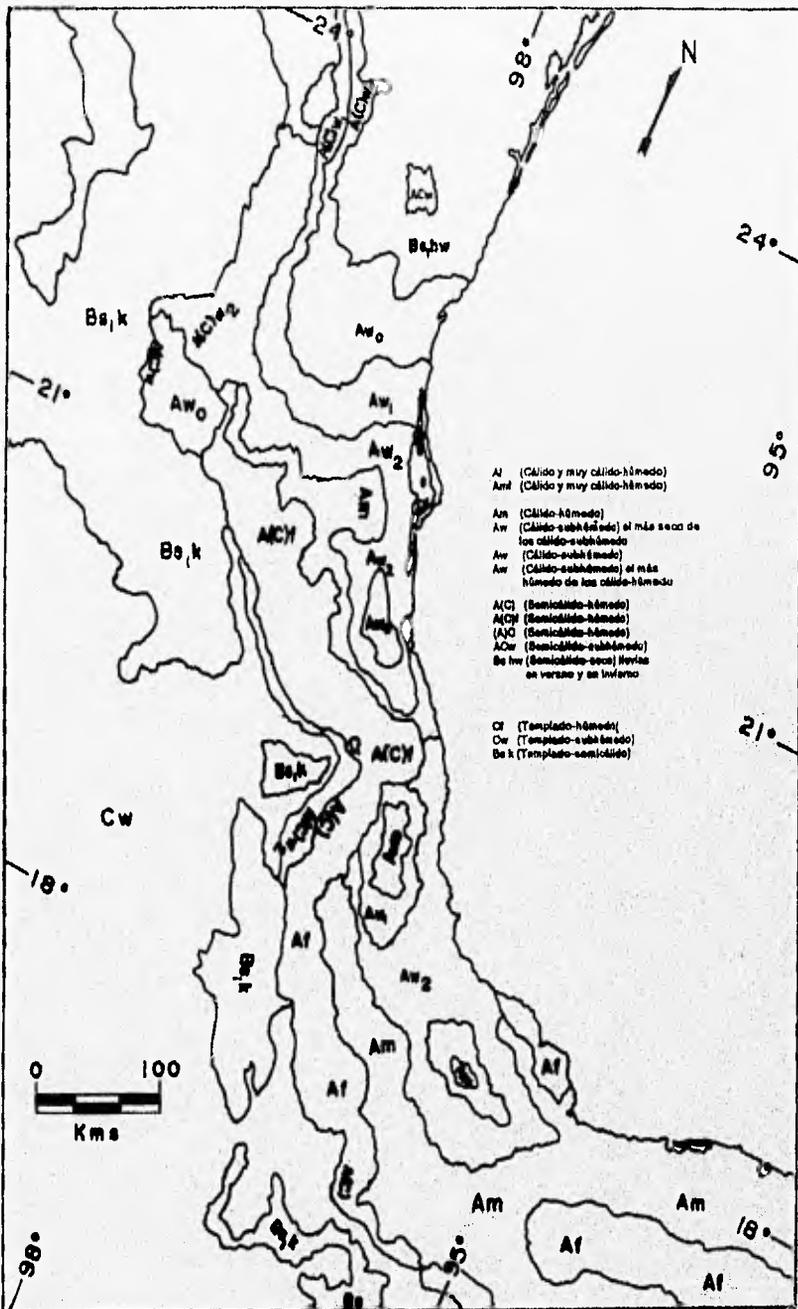


FIGURA 2.2. CLIMAS EN EL AREA DE ESTUDIO.
(Atlas Nacional de México)

son muy frecuentes de junio a noviembre, lo que genera un máximo pluviométrico en septiembre⁽¹⁷⁾.

2.2. PROVINCIAS GEOLOGICAS Y RIOS.

El área de estudio toca cinco provincias geológicas de la región del Golfo de México (figura 2.3): la cuenca Tampico-Misantla, el eje neovolcánico, la cuenca de Veracruz, la provincia de San Andrés Tuxtla y las Cuencas Terciarias del sureste⁽¹⁸⁾.

La Cuenca Tampico-Misantla se encuentra limitada al N por el río Guayalejo y la población de Xicoténcatl, Tamaulipas, y por el extremo Sur de la Sierra de Tamaulipas; al S por las poblaciones de Nautla y Misantla, Veracruz, y el Macizo de Teziutlán; al E por el Golfo de México y al W por la Sierra Madre Oriental⁽¹⁸⁾.

En general, en la Cuenca Tampico-Misantla se presentan los tres ciclos fisiográficos: juvenil, adulto y senil. El primero puede apreciarse en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental en el lugar de origen de los grandes ríos; el segundo en la llanura costera del Golfo de México, donde el gradiente se suaviza dando lugar a ríos de corrientes menos rápidas y a suaves pendientes y, el tercero se observa en los ríos cuando adquieren un carácter meándrico en las llanuras próximas a su desembocadura, como es el caso de los ríos Pánuco, Tamuín, Tuxpan y Tecolutla⁽¹⁸⁾.

Topográficamente, la cuenca sedimentaria de Tampico-Misantla es una parte de la llanura costera del Golfo de

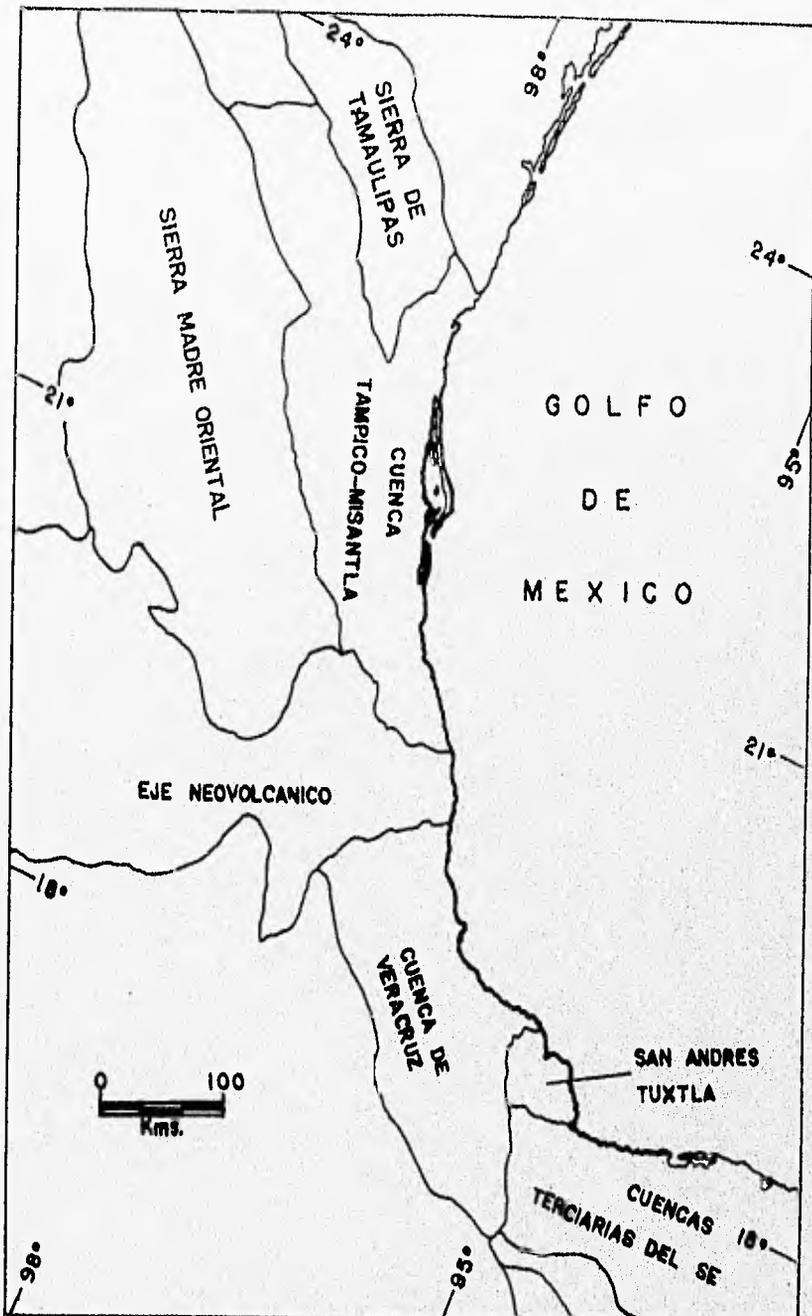


FIGURA 2.3 PROVINCIAS GEOLOGICAS. EN EL AREA DE ESTUDIO.
 (tomado de López, referencia 17)

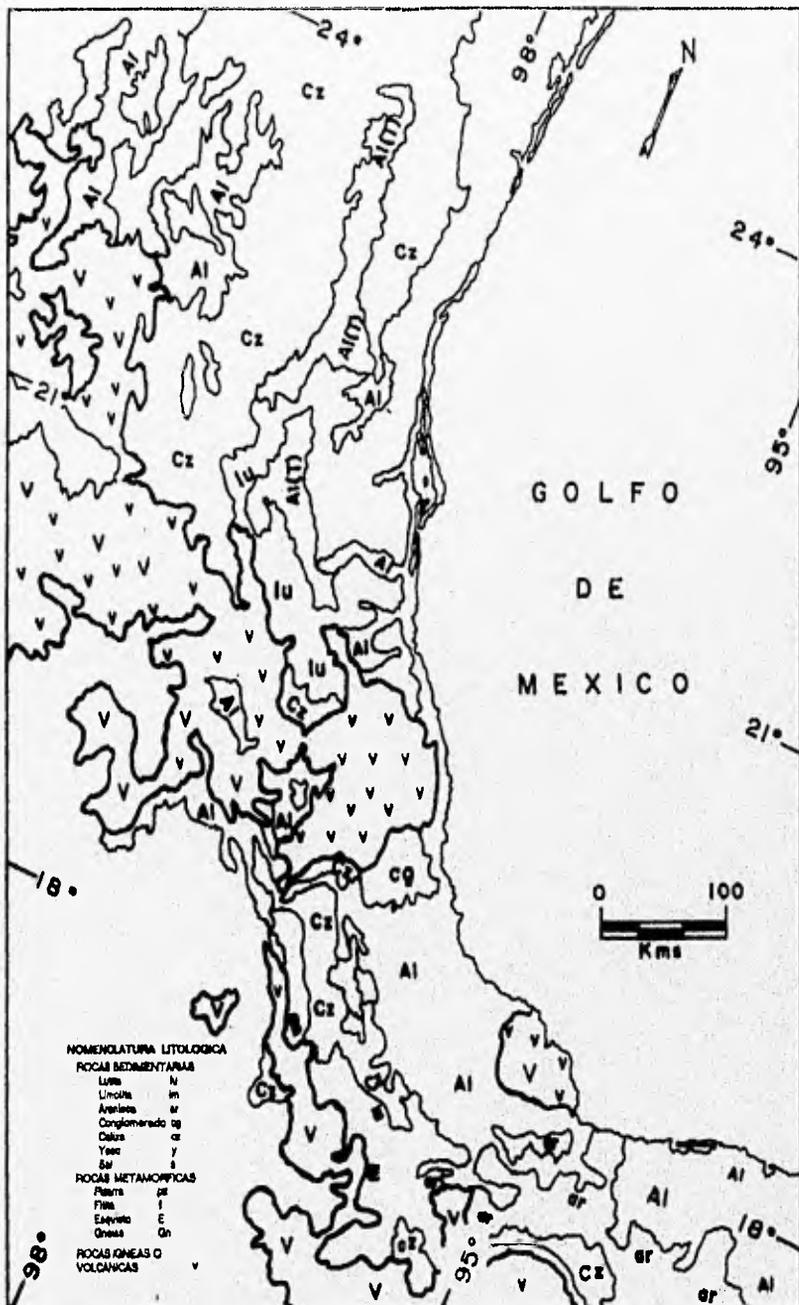


FIGURA 2.4 LITOLÓGIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.
(Atlas Nacional de México)

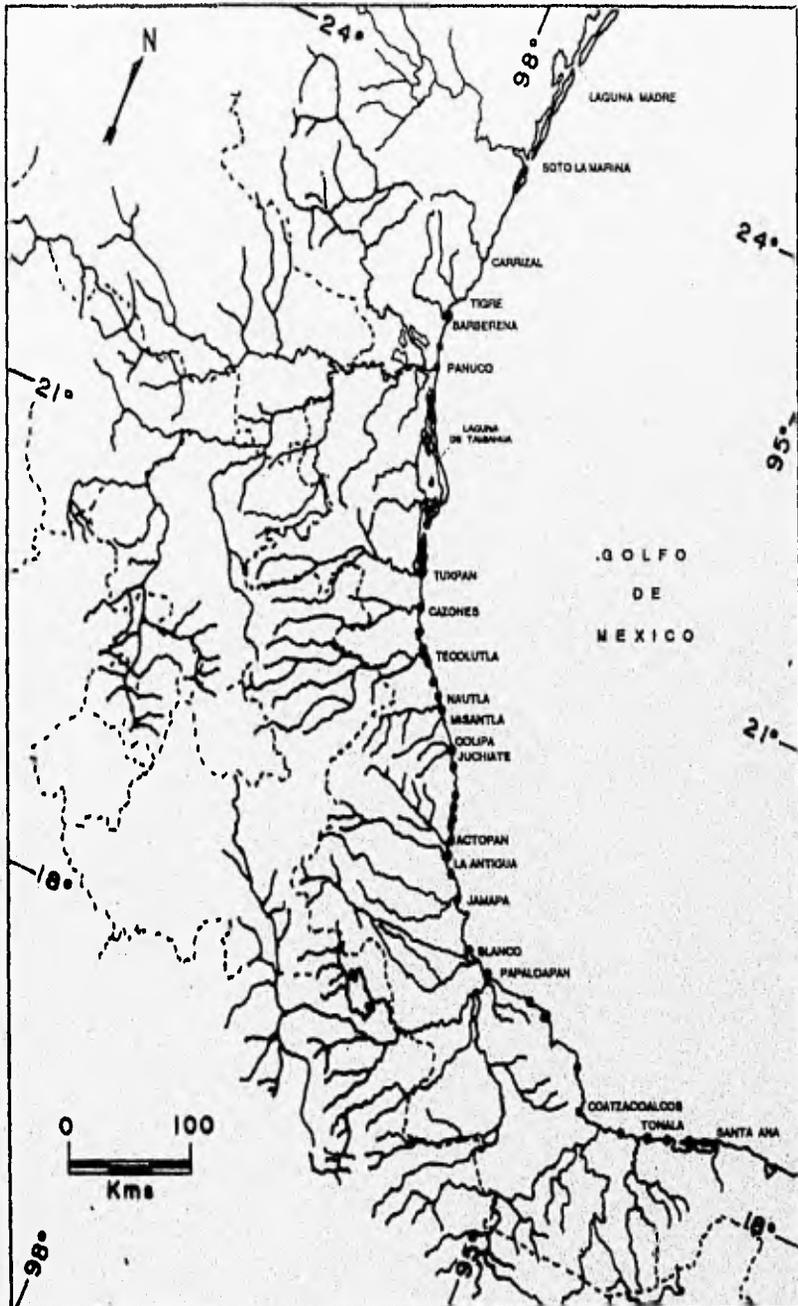


FIGURA 2.5. AREA DE ESTUDIO: Ríos. (Atlas Nacional de Mexico)

México y en conjunto, los valles, pequeños cerros y escarpes se elevan gradualmente desde la costa del Golfo de México hasta las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, alcanzando elevaciones del orden de los 800 m⁽¹⁸⁾.

La topografía está gobernada por la erosión diferencial de rocas calcáreas, areniscas, material tobáceo y de origen ígneo. Las elevaciones abruptas están compuestas generalmente por margas, calizas y derrames de lava o tapones ígneos (Figura 2.4). El relieve más notable dentro de la cuenca es la Sierra de Tántima, de origen ígneo y que tiene una elevación máxima de 1,200 m sobre el nivel del mar⁽¹⁸⁾.

El Macizo de Teziutlán, constituye una unidad fisiográfica y tectónica que limita tanto al drenaje como parte de la sucesión estratigráfica entre las cuencas sedimentarias de Tampico-Misantla y Veracruz⁽¹⁸⁾.

Esta provincia está drenada en su mayor parte por 7 grandes ríos (Figura 2.5): Los ríos Tamesí y Pánuco que confluyen a 13 km de su desembocadura. El río Pánuco está formado por tres ríos tributarios, el Moctezuma, el Tamuín y el Tempoal; entre ríos menores pueden mencionarse los de San Rafael, Barbera, Esteros, Topila, Cucharas, Tancochín y Tempache, que se encuentran entre el Río Pánuco y el Río Tuxpan. Los ríos Tuxpan y Cazones se encuentran al N de Poza Rica y tienen numerosos afluentes. Una de las corrientes más caudalosas es el Río Tecolutla, que desemboca en la población del mismo nombre y, finalmente, deben

citarse, los Rios Nautla y Misantla en el extremo sur de la región⁽¹⁸⁾.

Todas estas corrientes tienen carácter consecuente y siguen la inclinación regional de las formaciones hacia el E. Ocasionalmente se desvía el curso de algunos ríos por el efecto de masas o rocas ígneas o de algunos cerros formados casi exclusivamente por calizas. Estos ríos tienen casi siempre drenaje dendrítico, cambiando su aspecto cuando cortan distintas clases de rocas⁽¹⁸⁾.

La provincia del eje neovolcánico es una de las más espectaculares, debido a su prominencia topográfica que se encuentra a lo largo de unos 950 km desde la región del Volcán de Ceboruco, Nayarit, al Poniente, hasta el Volcán Citlaltépetl, al Oriente⁽¹⁸⁾. Su anchura varía de 50 a 150 km, pero la que aquí se considera está limitada aproximadamente entre los paralelos 19° y 20° latitud norte, y los paralelos 97° y 100° longitud este (Figura 2.3).

El eje neovolcánico es una cadena montañosa compuesta principalmente de lavas y materiales piroclásticos de aluvión (Figura 2.4). Colinda al N con la mesa central, siendo el límite la línea en que la superficie de meseta cede su lugar a las vertientes de las montañas. Sus contactos occidental, meridional y oriental son la franja en que los materiales volcánicos encuentran a los sedimentos de las provincias adyacentes (figura 2.4), la Sierra Madre del Sur, las Cuencas Morelos-Guerrero y Cuenca de Tlaxiaco. Esta línea rodea al Volcán de Colima y avanza hacia el E en un

curso sinuoso cortando las cabeceras de los tributarios septentrionales del Río Balsas y la parte oriental del Pico de Orizaba⁽¹⁸⁾.

En esta provincia no hay ríos que atraviesen la zona, pero debido a sus innumerables elevaciones (de origen volcánico) y al clima de la región, es el lugar de origen de ríos importantes que desembocan en el Golfo de México: Pánuco, Tula, Moctezuma, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla, Colipa y Suchiate que corren a través de la cuenca Tampico-Misantla; y, los ríos Actopan, La Antigua y Jamapa que corren por la Cuenca de Veracruz.

La Cuenca de Veracruz se encuentra limitada al NW por el Eje Neovolcánico, al W por la provincia de Tlaxiaco, al S por la Sierra Madre del Sur y el Altiplano Oaxaqueño, al E por las provincias de San Andrés Tuxtla y las subprovincias de las Cuencas Terciarias del Sureste y al NE por la actual cuenca del Golfo de México⁽¹⁸⁾ (Figura 2.3).

Si se hiciera una sección entre la Sierra Madre hasta la planicie costera que constituye la cuenca de Veracruz se observaría que desde Acultzingo hasta Cuitláhuac, Ver. existen cuerpos montañosos con alturas que varían de 500 a 3,000 m, dispuestos paralelamente y en forma escalonada y siguiendo una orientación NW-SE, con un suave descenso hacia el NE, hasta confundirse con la planicie costera del Golfo de México⁽¹⁸⁾.

Después de cruzar las cumbres de Acultzingo, la carretera México-Veracruz se interna en un valle transversal que se

extiende hasta la población de Santa Rosa, donde se le une otro valle secundario que proviene de la región de Maltrata. En ambos lados de la carretera las prominencias bordean el amplio valle de Orizaba que unido al de Córdoba se prolongan por varios kilómetros hacia el E. El drenaje de esta zona montañosa está regido principalmente por los ríos Blanco y Jamapa que desembocan en el Golfo de México⁽¹⁸⁾ (Figura 2.5).

Al pasar por Córdoba pueden verse pequeños cerros en bancos de caliza a veces marmorizada, que forman las últimas estribaciones de la sierra para entrar a la amplia planicie costera al E y SE. Respecto a su fisiografía, corresponde a una topografía más o menos plana, sin elevaciones notables y con porciones bajas inundables o pantanosas. La topografía es interrumpida sólo por pequeñas elevaciones, las cuales alcanzan unos 200 m sobre el nivel del mar, y están situadas en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. El Macizo de San Andrés Tuxtla, situado al S de la planicie, es la única forma topográfica con una elevación considerable, llegando a alcanzar unos 1658 m sobre el nivel del mar⁽¹⁸⁾.

Esta provincia se encuentra afectada por la red hidrográfica del Río Papaloapan; los ríos que atraviesan el área son: el Río San Juan y el Río Papaloapan y sus afluentes que se unen al anterior antes de desembocar en el Golfo de México⁽¹⁸⁾ (Figura 2.5).

La provincia de San Andrés Tuxtla se encuentra situada hacia el extremo SE de la cuenca de Veracruz y su topografía corresponde a una forma positiva dentro de la planicie

costera del Golfo de México, dando la impresión de un relieve accidentado y drenado por ríos y arroyos dispuestos radialmente. Las elevaciones más importantes corresponden al Volcán San Martín con 1,658 m y el Vigía de Santiago que se eleva alrededor de 800 m. Esta provincia litológicamente representa una zona de roca volcánica⁽¹⁸⁾ (Figura 2.4).

La última zona pertenece a la provincia de las Cuencas Terciarias del Sureste. Esta provincia está situada en una gran porción del sureste de México junto con la provincia de la plataforma Yucatán-Campeche. Su límite al norte lo constituye el Golfo de México, al sur el Océano Pacífico; al oeste la República de Guatemala y una línea aproximadamente norte-sur al oriente de Ciudad del Carmen, Campeche; al oeste la cuenca de Veracruz y las provincias Sierra Madre del Sur y Altiplano de Oaxaca y la pequeña provincia del Macizo de San Andrés Tuxtla (Figura 2.3). Esta zona de aluvión es atravesada por importantes ríos como el Coatzacoalcos, alimentado por los ríos Jaltepec y Uxpanapa, el Tonalá, el Grijalva, el Macuspana y el imponente río Usumacinta⁽¹⁸⁾ (Figura 2.5).

2.3. CORRIENTES.

La corriente del Lazo y el gran giro anticlónico dominan con su régimen semi-permanente la circulación del Golfo de México. La corriente de Lazo tiene sus orígenes en el agua del Mar Caribe, con alto contenido de sal y calor, que entra al Golfo por el Canal de Yucatán generando una corriente con

dirección anticiclónica que se une a la corriente de Florida en la parte E del Golfo ⁽¹⁹⁾(figura 2.6). Por su parte, el gran giro anticiclónico se desprende de la corriente de Lazo y se propaga hacia el suroeste o hacia el oeste como ondas solitarias hasta que interactúan con la frontera continental, donde el talud continental impide su propagación y en la plataforma continental se desintegra formando giros menores ⁽¹⁹⁾ (figura 2.6).

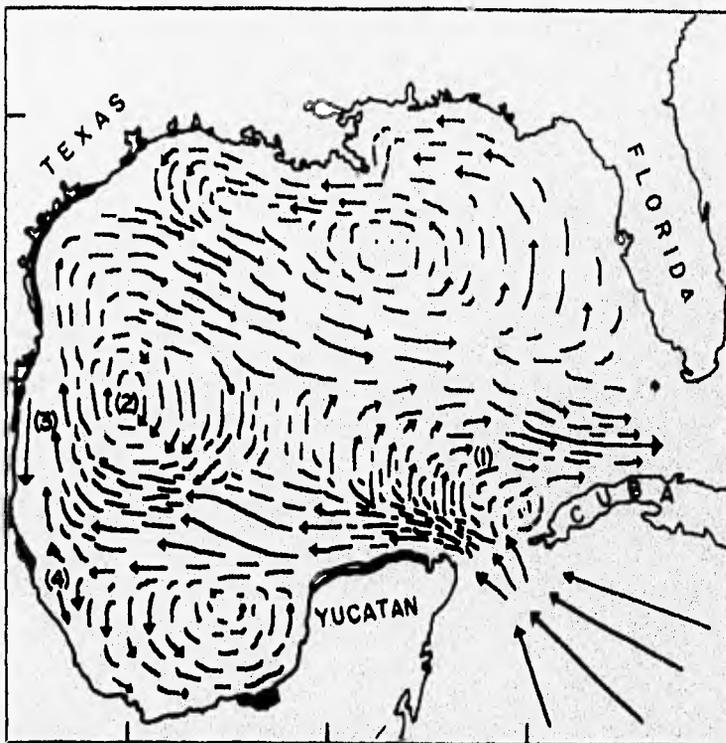


FIGURA 2.6. CORRIENTES EN EL AREA DE ESTUDIO. (1) corriente de lazo, (2) gran giro anticiclónico, (3) corriente con dirección S frente a Tamaulipas, (4) corriente con dirección SE al sur de Tamiahua. (modificado de Monreal y Salas, referencia 19)

Dentro del área de estudio existe una zona de colisión del gran giro anticiclónico con la plataforma continental, localizada al Este de Tamiahua. En esta zona de colisión el gran giro cede un tercio de la masa de agua que transporta y transfiere momento angular hacia el agua que se encuentra en la orilla (del gran giro anticiclónico) induciendo: (a) un influjo de agua oceánica hacia la plataforma continental y hacia la región costera de esta zona, (b) la ganancia de vorticidad por las corrientes hacia el Norte y (c) la formación de un giro ciclónico al sur de la zona de colisión que se traslada paralelamente al talud continental y rodea la Bahía de Campeche⁽¹⁹⁾ (figura 2.6).

La circulación del giro anticiclónico es tan energética que a su paso origina giros ciclónicos en su periferia. Esto es evidente por la ocurrencia de la circulación ciclónica sobre la plataforma continental al E de la Laguna Madre y al S de la zona de colisión del gran giro anticiclónico⁽¹⁹⁾ (figura 2.6).

2.4. NORTES.

Una de las características sobresalientes del Golfo de México es la predominancia y gran intensidad de los vientos incidentes del norte, denominados Nortes. La formación de Nortes se debe al gradiente térmico que se origina entre la cálida masa oceánica del Golfo de México y el invierno continental de Norte América, los cuales originan la formación de centros de alta presión continental y baja

presión oceánica, inestabilidad que es equilibrada vía la formación de frentes, de origen continental, que inciden del norte sobre el Golfo de México⁽²⁰⁾.

El esfuerzo tangencial que ejercen los Nortes sobre la masa superficial oceánica del Golfo de México origina capas de mezcla de hasta 150 m de espesor vertical. Este mecanismo convectivo, que es un factor importante en la formación de corrientes, homogeniza la distribución térmica y salina dentro de la región oceánica del Golfo de México⁽²⁰⁾.

Dentro de la plataforma continental, en la región NO del Golfo de México y durante el invierno, se identifican aguas costeras de baja temperatura y baja salinidad originadas por el aporte fluvial, las cuales junto con los Nortes y las aguas oceánicas originan intensos gradientes de mezcla a lo largo de la plataforma y del talud continental. Esta mezcla convectiva se maximiza cuando inciden sobre la región occidental del Golfo giros anticiclónicos provenientes de la corriente de Lazo⁽²⁰⁾.

Dentro de nuestra área de estudio el régimen anemométrico de los Nortes acusa un influjo de agua oceánica hacia la plataforma continental y hacia la región costera de esta zona⁽²⁰⁾.

3. METODO DE TRABAJO

3.1. TRABAJO DE CAMPO

Para la toma de muestra de arena, se toma una porción de la superficie de la playa que esté libre de actividades antropogénicas; es decir, donde no crucen los pescadores, los turistas, etc.

Las muestras estudiadas fueron tomadas de la mesoplaya (figura 1.1), colectando los sedimentos con una cuchara de material plástico en el primer centímetro de la superficie de la arena. El material colectado se guarda en bolsas de plástico hasta el momento del análisis.

3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

En la manipulación de la muestra se evita el uso de materiales metálicos para disminuir la posibilidad de contaminación.

Cuarateado de la muestra.

Es importante que la muestra analizada sea representativa, para ello la muestra se homogeniza dentro de la bolsa con una cuchara de plástico y se vierte sobre una hoja de papel blanco, procurando que se forme un cono, después con un pistilo se distribuye la muestra sobre el papel moviéndola en círculos sobre el cono; esto se hace hasta que los granos de la muestra formen una película delgada sobre el papel. Esta película se divide en cuatro partes con una cuchara o espátula de plástico (cuarteado), de las cuales se toma una porción para los siguientes pasos del análisis de las

muestras. Este procedimiento se realiza cada vez que se quiere analizar una muestra de sedimento.

Eliminación de sales.

Por otro lado la porción elegida se coloca en una cápsula de porcelana donde se lava tres veces con abundante agua bidestilada, con lo cual se eliminan compuestos iónicos de Na, K, Ca, Mg, Fe y otros metales que son depositados en las playas por la evaporación del agua de mar.

Este paso es importante porque los elementos Na, K y Ca se utilizan en el cálculo del Índice Químico de Alteración (ecuación 1.1), y que de no ser eliminados modificarían el resultado del cálculo.

Homogeneización y secado.

La muestra, libre de sales, se coloca en un mortero donde es fraccionada en partículas más pequeñas: con un pistilo se realizan movimientos circulares en el fondo del mortero, con lo cual también se logra una mejor homogeneización. Posteriormente la muestra, en la misma cápsula de porcelana, se coloca dentro de una estufa a 110°C durante 24 horas. Al concluir el tiempo se saca la cápsula de la estufa y se deja alcanzar la temperatura ambiente en un desecador para tomarle el peso. Con esta muestra se determinan carbonatos y se analiza la fracción terrígena.

Determinación de carbonatos.

El calcímetro de Bernard⁽²¹⁾ (modificado) fué el método empleado para la determinación de Carbonatos. Este método mide en forma volumétrica el CO₂ desprendido por la reacción:



Técnica- Se colocan 0.1 g de CaCO₃ seco o de sedimento en un matraz seco, este matraz se coloca en un sistema cerrado (figura 3.1); por medio de la bureta se agregan 10 mL de HCl 1:1 al matraz que reacciona con los carbonatos de la muestra liberando CO₂ en estado gaseoso. El CO₂ que se desprende va desplazando la solución saturada de NaCl en la columna de vidrio graduada. Cuando han reaccionado todos los carbonatos de la muestra se detiene el desplazamiento en la columna y se puede leer el volumen desplazado.

Se mide el volumen desprendido de CO₂ igualando el menisco de la burbuja con el menisco de la solución de NaCl en la columna graduada. Debido a que la determinación es visual se hace necesario auxiliarse con una tarjeta que permite corroborar que ambos meniscos se encuentran a la misma altura.

Para calcular el porcentaje de carbonato de calcio en la muestra es necesario restar el volumen desplazado en la columna que se produce cuando el matraz se embona en el sistema (V_g), así como el volumen desplazado por el HCl adicionado al matraz (V_{HCl}), que a la vez sirve como testigo.

Entonces el volumen real de CO₂ (V_{CO2}) generado en la reacción del HCl con el sedimento se calcula como:

$$V_{CO_2} = V_s - V_{HCl} - V_m \quad (3.1)$$

Las condiciones de temperatura y presión en las que se realizan las determinaciones son las de la Ciudad de México: P_{media}=0.769 atm y T_{media}=292.15 K, valores que se utilizan para la transformación de volumen de CO₂ a moles de CO₂. El cálculo se realiza mediante la ecuación de Berthelot para un gas real⁽²²⁾:

$$V^3 - (b+RT/P)V^2 + (a/PT)V - ab/PT = 0 \quad (3.2)$$

que se resuelve para el volumen molar V, considerando:

$$a_{CO_2} = 3.61 \text{ atm}\cdot\text{K}/\text{l}$$

$$b_{CO_2} = 0.429 \text{ atm}\cdot\text{l}/\text{mol}$$

$$P = P_{media} = 0.769 \text{ atm}$$

$$T = T_{media} = 292.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$R = 0.082 \text{ l}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

el resultado es V=31.1949 L/mol. Por tanto una muestra de 0.1 gramos, compuesta sólo de CaCO₃ (PM=100.00 g/mol), que contiene 1*10⁻³ moles, desplazara un volumen de 0.0311949 L ó 31.1949 mL. De esta manera se puede calcular, directamente, el porcentaje de CaCO₃ en una muestra, con volumen desplazado V_{CO2}, al considerar que el volumen desplazado por 0.1 g de CaCO₃ representa el 100%:

$$31.1949 \text{ ml} \text{ --- } 100\%$$

$$V_{CO_2}(\text{ml}) \text{ --- } X_{CaCO_3}(\%) \quad (3.3)$$

$$X_{CaCO_3}(\%) = 0.3119 V_{CO_2} \quad (3.4)$$

Debido a que el volumen desplazado está en función de la cantidad de carbonatos de la muestra, se hace necesario aumentar la cantidad de materia en las muestras que tienen poca cantidad de carbonatos para disminuir el error de precisión en las determinaciones; es decir, de una muestra que presente concentración de carbonatos menor a 15% se pesan 0.5 gramos, o hasta 1 gramo si la concentración es muy baja.

NOTA. Se debe calcular el factor (volumen:porcentaje) cada vez que se hace una determinación, de acuerdo con las condiciones de temperatura del laboratorio.

Con el objeto de validar los resultados del Calcímetro de Bernard (modificado), se estimó la precisión y la exactitud de este método utilizando CaCO_3 seco como estándar (tabla 3.1).

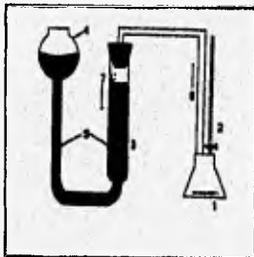


FIGURA 3.1. Calcímetro de Bernard. 1. Es el matraz de reacción donde se coloca la muestra, 2. Bureta con que se adiciona el volumen de HCl 1:1 al sistema cerrado, 3. columna graduada con que se mide el CO_2 , generado en el matraz al agregar HCl, que desplaza la solución saturada de NaCl, 4. Burbuja con NaCl que sirve para nivelar la solución de NaCl con la columna graduada y así tomar la lectura del volumen desplazado de CO_2 , 5. Dirección en la que el CO_2 desplaza a la solución saturada de NaCl.

Eliminación de la fracción biogénica.

La muestra seca se coloca en un vaso de precipitados de 250 mL y se le agrega, con una pipeta, HCl al 10% hasta la desaparición de efervescencia (CO_2); después, se lava con agua bidestilada hasta obtener $\text{pH}=7$. La muestra, que ahora sólo consta de su fracción terrígena, se seca en una estufa

**TABLA 3.1 DESVIACION ESTANDAR
DEL CALCIMETRO DE BERNARD
EN LA DETERMINACION DE CARBONATOS.**

LECTURA	CALCIMETRO
1	103.46
2	101.54
3	101.54
4	100.25
5	100.04
6	99.81
7	99.81
8	99.08
9	97.90
10	97.79
11	95.75
12	94.98
13	93.04
14	100.25
15	
Promedio	98.93
Dev. Est.	2.61
C.V.	2.64

Dev. Est: Desviacion estandar, al 95% de confianza.

C.V: Coeficiente de variacion.

a 110°C durante 24 horas, después se pasa a un desecador donde se enfría a la temperatura ambiente y se le toma el peso.

Este paso es importante porque la fracción biogénica esta constituida por conchas, residuos óseos y carbonatos minerales que generalmente diluyen la concentración del resto de los minerales; además, hay que añadir que la fracción biogénica está compuesta en su mayor parte por carbonato de calcio, y que el calcio es un elemento involucrado en el cálculo del Índice Químico de Alteración (IQA), por lo que es pertinente separar las especies químicas que permiten realizar un estudio de intemperismo de las que no.

Con esta muestra se trabaja la determinación de elementos mayores, elementos traza, P_2O_5 y pérdida por ignición.

Determinación de P_2O_5 ⁽²³⁾.

Se coloca aproximadamente un gramo de sedimento seco, libre de fracción biogénica, en un vaso de precipitados de 250 mL y se le agregan 10 mL de HCl conc. El vaso se tapa con un vidrio de reloj y se lleva a sequedad en una parrilla de calentamiento. Al enfriarse la muestra se añaden 30 mL de agua regia (20 mL de HNO_3 y 10 mL de HCl) y se calienta hasta la desaparición de vapores nitrosos (gases color pardo rojizo que se desprenden de la solución). La solución obtenida se filtra y el filtrado se recibe en un matraz

aforado de 100 mL, la materia insoluble se lava con agua caliente sobre el matraz y al enfriarse se afora.

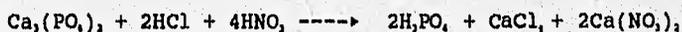
De la solución, aforada a 100 mL, se toma una alícuota de 25 mL y se pone en un vaso para precipitados de 250 mL, donde se le agregan 20 mL de solución de nitrato de amonio al 20%. El vaso, con la muestra, se pone en un baño de temperatura constante, en el intervalo de 40 a 50°C, durante 15 minutos donde se le añaden 50 mL de molibdato de amonio. Se saca el vaso del baño y se induce la precipitación de unos cristales amarillos.

El precipitado se lava con agua destilada hasta obtener un pH=7, se afora a 50 mL y se regresa al vaso en donde se le agrega un pequeño exceso de NaOH 0.1N después de disolver el precipitado y obtener una solución incolora. El exceso de NaOH es titulado con HNO₃ 0.1N en presencia de fenolftaleína.

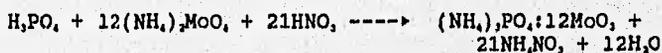
Las muestras se corrieron contra una muestra certificada de 1.97% de P₂O₅, la precisión del método es de ±0.3 unidades de por ciento.

Las ecuaciones químicas involucradas en la determinación de fósforo son las siguientes:

a) Ataque ácido al mineral



b) En la precipitación



c) En la titulación



Determinación de elementos mayores y elementos traza⁽²²⁾.

Lavado de material. Todo el material empleado para la manipulación de la muestra en esta determinación se mantuvo en ácido nítrico 6N durante tres días, al término de los cuales se lava con agua bidestilada eliminando al máximo la presencia de contaminantes metálicos.

Se colocan 0.3 gramos de sedimento seco, libre de fracción biogénica, en una bomba de teflón, y se le adicionan 10 mL de agua bidestilada, 5 mL de HNO₃ conc., 4 mL de HF conc. y 1 mL de HCl conc. Se cierra la bomba herméticamente con su camisa de fibra de vidrio y se digiere la muestra en un horno de microondas CEM MDS 2000, bajo las siguientes condiciones:

Potencia 100

Presión 120 PSI

Tiempo 30 min

TAP (tiempo necesario para alcanzar la presión) 25 min

FAN (potencia a la que trabaja el extractor) 100

Al terminar la digestión, se deja a las bombas alcanzar la presión atmosférica, se abren en la campana donde se escapan los últimos vapores ácidos, y se deja enfriar la solución a la temperatura ambiente.

El contenido de la bomba es transferido a un matraz aforado de 50 mL con 2.8 gramos de ácido bórico que se lleva

a la marca de aforo con agua bidestilada. En este paso es importante que el matraz no sea de vidrio porque la solución contiene HF, por lo que se recomienda usar matraces de plástico. Por último, la muestra es centrifugada a 1200 rpm durante 5 minutos y por decantación se recupera la muestra en solución en unos frascos de plástico, los cuales se conservan a baja temperatura hasta el momento de su análisis para evitar que se concentren los elementos por la evaporación del agua.

Con la muestra en solución se determinaron los elementos: Si, Fe, Al, Na, K, Mg, Ca, Ti, Mn, Sr, Ba, Zn, Pb, Ag, Ni, Cr, Cu y Cd por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica^(A) por Flama Varian EspectraA 10 Plus, utilizando lámparas unielementales. Las condiciones usadas en el análisis de cada elemento se muestran en la tabla 3.2.

En la determinación de cada elemento se prepara una curva de calibración, la cual consta de un testigo ó blanco que contiene el disolvente (y si es el caso el supresor de ionización) y estándares en un intervalo de concentración (tentativa) tal que la concentración del elemento a determinar en las muestras se ubique entre el primero y el último estándar.

Para la lectura se ajusta la lámpara en la longitud de onda de la línea espectral más intensa, la cual se puede consultar en tablas o en el manual del equipo. Esta longitud de onda se puede desplazar algunos nanómetros por algún corrimiento de la banda en el equipo, sin embargo se puede

TABLA 3.2. Condiciones de trabajo en el análisis de absorción atómica.

ELEMENTO	LONGITUD DE ONDA (nm)	APERTURA (nm)	CORRIENTE DE LAMPARA (mA)	INTERVALO DE TRABAJO (mg/l)	SENSIBILIDAD (mg/l)	LIMITE DE DETECCION (mg/l)	FLAMA
Si	251.6	0.2	10	20 - 200	2.480	0.300	N-A
Fe	248.3	0.2	5	2 - 10	0.059	0.005	N-A
Al	309.3	0.5	10	20 - 150	0.900	0.040	N-A
Mn	279.5	0.2	5	0.5 - 4	0.028	0.003	A-A
Ti	354.3	0.5	20	20 - 200	1.800	0.100	N-A
Mg	285.2	0.5	4	0.2 - 1.0			A-A
Cs	422.1	0.5	10	0.2 - 3.0			N-A
Na	589.0	0.5	5	0.2 - 1.0			A-A
K	766.5	1.0	5	0.5 - 2.0	0.011	0.003	A-A
Br	480.7	0.5	10	0.25 - 2.0			A-A
Ba	553.6	0.5	20	2.0 - 10	0.220	0.010	N-A
Pb	217.0		5	1 - 10			A-A
Zn	213.9	1.0	5	0.5 - 2.0	0.025	0.002	A-A
Cr	357.9	0.2	7	0.5 - 3.0	0.096	0.005	A-A
Cu	324.7	0.5	4	0.5 - 2.0			A-A
Ni	232.0	0.2	4	0.5 - 4.0			A-A
Ag	328.1	0.5	4	0.5 - 3.0	0.025	0.003	A-A
Cd	228.8	0.5	4	0.5 - 2.0			A-A

A-A: Aire/acetileno.

A-A: Oxido nitroso/acetileno

buscar esta señal algunos nanómetros hacia arriba o hacia abajo, en un intervalo congruente. Después se ajusta la dirección del haz de luz a que pase sobre la posición de la flama en el quemador y que incida sobre el sistema óptico del equipo. Se optimiza la señal del fotomultiplicador y se deja calentar la lámpara 15 minutos. Se enciende el quemador y se deja calentar durante 5 minutos. Con el estándar de menor concentración se optimiza la señal que determina el aparato moviendo la posición de la flama (arriba, abajo, izquierda o derecha), modificando el flujo de absorción del aparato (entre 6 y 8 mL/min), modificando el flujo del gas combustible (mayor o menor flujo) y, si es el caso, se puede rotar la posición del quemador.

Con la señal optimizada se lee la curva completa: blanco, estándares y las muestras. Se hace una gráfica con los datos de la curva de calibración y se interpolan las lecturas de las muestras.

Si la lectura de una muestra se encuentra abajo del primer estándar, se hace otra curva de calibración con concentración de estándares más bajos y se interpola la lectura en esta curva; esto debe hacerse sin bajarse del límite de detección del equipo, si esto ocurre se dice que no se detectó el elemento en esa muestra. Si la lectura de alguna muestra cae por arriba del estándar de concentración más alta, se hace una dilución de la muestra y se interpola en la primera curva.

La validación de esta metodología⁽²²⁾ se realizó mediante un ejercicio de intercalibración organizado en 1985 por el Laboratorio de Radiactividad Marina del Organismo Internacional de Energía Atómica, ubicado en Mónaco. En este ejercicio participaron 69 laboratorios y los resultados se clasificaron en tres categorías: A (satisfactorio), B (aceptable) y C (no certificado).

El material empleado en este ejercicio fue sedimento natural de tamaño fino colectado en los primeros 30 cm. de la zona costera del estuario Scheldt, en el Mar del Norte, cuya composición aproximada es de 60% cuarzo, 20% calcita, 10% minerales arcillosos, 6% feldespatos, 3% cloruro de sodio y 1-2% pirita.

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

1- Para un intervalo de concentración dada, la incertidumbre relativa de la mediana total, a un nivel de confianza de 0.05 no debe exceder los siguientes límites:

100 - 500 μ /g \pm 20%

10 - 100 μ /g \pm 30%

0.1 - 10 μ /g -50% a +60%

< 0.1 μ /g -50% a +100%

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

3- Más de la mitad de las medianas de todas las medias de los grupos de laboratorios obtenidas por los diferentes métodos analíticos, y calculados con base en cuando menos

tres métodos diferentes, están comprendidos dentro de los límites de confianza de la mediana total.

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

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

La concentración de un elemento se clasificó de acuerdo con los siguientes criterios:

Clase A- Cuando reúne los primeros tres criterios y el criterio 4b y 5a, se considera un valor con un grado de confianza satisfactorio.

Clase B- Cuando un análisis reúne los criterios 1, 2, 3, 4b y 5b ó 1, 2, 3, 4a y 5a, se considera como un valor con un grado de confianza aceptable.

Clase C- Cuando el análisis reúne los criterios 4a y 5c ó 4c y 5b y su intervalo de confianza es razonable en función del nivel de concentración al que se trabajó, se le considera un análisis no certificado.

De acuerdo con los resultados de esta intercalibración: 14 elementos corresponden a la clase A; 13 elementos a la clase B y 16 elementos a la clase C.

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

A pesar de todo, se analizó la muestra de sedimentos SD-N-1/2 en este laboratorio y se encontró que Ni, Co, Pb, Zn, Cd, Al y Mg caen dentro del intervalo de confianza de 0.05 (tabla 3.3), y aunque Cu, Cr, Mn y Fe están fuera del intervalo de confianza de 0.05 se encuentran dentro del intervalo de concentración aceptado en esta intercalibración (tabla 3.3).

Pérdida por ignición⁽²⁴⁾.

Aproximadamente 1 gramo de sedimento seco se puso en un crisol, al cual se dejó alcanzar una temperatura de entre 500 y 600°C y se mantuvo durante 2 horas en ese intervalo. Se dejó a la muestra alcanzar la temperatura ambiente en un desecador y se le tomó el peso. Se calcula la pérdida como porcentaje en peso.

**TABLA 3.3. RESULTADOS DE LA INTERCALIBRACION
OBTENIDOS CON LA MUESTRA SD-N1/2, PROPORCIONADA
POR EL LABORATORIO DE RADIOACTIVIDAD MARINA DEL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA.**

ELEMENTO	INTERVALO DE CONC. ACEP. (g/g)	CONCENTRACION PROMEDIO ESTABLECIDA (g/g)	INTERVALO DE CONFIANZA (±0.05)	RESULTADO
Cu	53.4 - 93.0	72.2	83.1 - 75.2	A
Ni	21.0 - 44.98	31.0	27.0 - 34.0	A
Co	7.48 - 14.50	12.1	11.2 - 12.7	A
Cr	51.0 - 213.98	149.0	125 - 181	A
Pb	85.5 - 154.0	120.0	112 - 132	A
Zn	342.0 - 549.0	430.0	432 - 452	A
Cd	7.8 - 13.3	11.0	10.0 - 12.0	A
Mn	459.9 - 927.0	777.0	728 - 801	A
Fe	2.5 - 4.3	3.64	3.53 - 3.78	C
Al	3.36 - 4.01	3.75	3.58 - 3.95	B
Mg	0.67 - 0.92	0.76	0.74 - 0.79	A
Si	28.10 - 29.23	28.05	28.10 - 28.23	A
Tl	0.20 - 0.35	0.27	0.24 - 0.31	C

Los resultados se clasifican como:

(A) satisfactorio, (B) aceptable y (C) no certificado.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Los pasos para el estudio de las muestras fueron: primero, hacer una breve descripción de su composición química, con base en el tipo de roca que compone las provincias geológicas del área de estudio; segundo, con el Índice Químico de Alteración (IQA) establecer semejanzas y diferencias en las distintas zonas; tercero, hacer un análisis de grupos con la composición química (semejanzas y diferencias) para estimar la influencia de los factores físicos en las distintas zonas del área de estudio; cuarto, utilizar los elementos (SiO_2 , Fe_2O_3 , CO_3 , etcétera) para asociarlos, cuando sea posible, con algún factor físico que determine la composición de las muestras (análisis de factores) y quinto, combinar todos los pasos anteriores para establecer una regionalización geoquímica dentro del área de estudio.

4.1. COMPOSICION QUIMICA.

El estudio de la composición de las muestras considera dos componentes principales: la fracción biogénica y la fracción terrígena.

La fracción biogénica está constituida por conchas, residuos óseos y minerales de carbonatos. El origen de esta fracción es principalmente el océano, y en ciertas áreas otros ambientes semejantes como las lagunas costeras⁽¹⁾. En el análisis de esta fracción se determinaron los carbonatos que se expresan como por ciento en peso de carbonato de

calcio (tabla 4.1), esto, debido a que es el componente que se encuentra en mayor cantidad en esta fracción.

La fracción terrígena que, por lo general, es la componente más grande de las playas, está formada por el material que deriva de las rocas continentales debido a los procesos de erosión y, que, es depositado en la costa por el drenaje de ríos y arroyos. En algunas áreas la mayor fuente de arena puede ser el fondo marino adyacente a la playa, pero también puede agregarse material de la erosión de las rocas que sobresalen a lo largo de la costa⁽⁴⁾.

Para el análisis de la fracción terrígena se eliminó la fracción biogénica porque ésta diluye la concentración de los otros minerales; además de que la fracción biogénica está constituida principalmente por carbonato de calcio, y el calcio es un elemento importante en el análisis del Índice Químico de Alteración (IQA), lo que justifica su eliminación. Los componentes determinados en esta fracción fueron los elementos mayores: Si, Fe, Al, Mn, Ti, Mg, Ca, Na, K y P expresados como porcentajes de sus óxidos (tabla 4.2); los elementos traza: Sr, Ba, Pb, Zn, Cu, Ni, Ag, y Cd expresados en partes por millón (tabla 4.3); y la pérdida por ignición (tabla 4.2).

Para analizar la composición de las muestras se dividió el área de estudio en cinco zonas (figura 4.1) con base en los tipos de roca que componen las diferentes regiones geológicas en la porción continental del Golfo de México. Las zonas A, C y E corresponden a regiones con rocas

TABLA 4.1. COMPOSICION DE LOS SEDIMENTOS.

ZONA	MUESTRA	%CaCO ₃	%TERRIGENOS
A	1	94.14	5.86
	2	7.40	92.6
	20	27.31	72.69
	21	25.22	74.78
	22	22.81	77.19
	23	24.58	75.42
	24	8.67	91.33
	25	6.43	93.57
	26	8.51	91.49
	27	13.82	86.18
	28	90.13	9.87
29	30.85	69.15	
30	43.09	56.91	
B	32	25.49	74.51
	9	15.25	84.75
	10	10.28	89.72
	11	19.60	80.4
	12	17.99	82.01
	13	7.71	92.29
	14	24.74	75.26
	15	25.66	74.34
	16	30.85	69.15
	17	34.22	65.78
18	43.37	56.63	
19	39.52	60.48	
C	6	2.25	97.75
	7	8.35	91.65
	8	13.49	86.51
D	4	1.61	98.39
	5	9.96	90.04
	31	2.57	97.43
E	3	2.57	97.43
	33	3.21	96.79
	34	3.21	96.79
	35	4.42	95.58

TABLA 4.2. COMPOSICION DE LOS SEDIMENTOS.

FRACCION TERRIGENOS.Elementos mayores.

ZONA	MUESTRA	%SiO2	%Fe2O3	%Al2O3	%MnO	%TiO2	%MgO	%CaO	%Na2O	%K2O	%P2O5	P.IGN	IGA	
A	1	85.73	1.99	6.70	0.02	1.42	0.24	0.57	1.54	1.11	0.14	0.53	67.49	
	2	74.79	9.40	6.68	0.09	2.27	0.40	2.20	2.46	0.63	0.01	0.97	53.30	
	20	72.38	9.49	7.72	0.08	2.52	1.10	2.74	2.44	0.69	0.04	0.79	56.82	
	21	86.65	0.64	6.37	0.01	0.81	0.13	0.66	1.71	1.00	0.01	2.20	65.23	
	22	90.20	0.52	5.44	0.01	0.66	0.12	0.57	1.39	0.85	0.01	0.23	63.00	
	23	83.10	2.79	7.91	0.01	0.75	0.31	0.80	1.82	1.44	0.01	1.06	66.06	
	24	85.50	0.97	7.81	0.01	0.37	0.13	0.66	1.97	1.66	0.01	0.02	64.60	
	25	87.52	1.03	7.63	0.01	0.72	0.16	0.64	1.37	0.61	0.02	0.31	74.47	
	26	88.49	1.05	4.88	0.01	0.45	0.10	0.73	1.85	1.78	0.02	0.65	52.87	
	27	87.08	1.33	6.78	0.09	0.42	0.10	0.60	1.69	1.61	0.01	0.29	63.49	
	28	87.77	1.61	6.83	0.02	1.15	0.13	0.47	1.35	1.17	0.01	0.51	66.13	
	29	85.83	1.26	6.50	0.02	1.19	0.12	0.97	1.82	1.97	0.01	0.79	59.29	
	30	86.89	0.82	6.91	0.01	0.95	0.15	0.60	1.66	1.51	0.05	0.42	63.35	
		PROM.	84.76	2.92	6.70	0.03	1.04	0.24	0.96	1.75	1.23	0.03	0.74	63.16
	D.E.	5.05	3.01	6.90	0.03	0.66	0.26	0.68	0.35	0.44	0.03	0.49	5.55	
B	9	60.71	23.32	5.21	0.20	0.53	0.04	7.06	1.27	0.88	0.01	0.75	36.06	
	9	49.00	24.44	3.53	0.19	9.67	4.10	6.88	1.26	0.30	0.06	0.48	29.48	
	10	48.04	25.13	8.04	0.13	6.64	3.63	6.65	1.81	0.26	0.02	1.85	51.01	
	11	66.74	11.58	6.81	0.10	2.78	4.07	6.78	1.60	0.35	0.04	0.39	46.06	
	12	63.50	16.50	6.42	0.09	4.22	1.77	5.81	2.34	0.54	0.11	0.70	38.41	
	13	73.15	6.95	6.23	0.06	2.03	1.48	3.37	2.48	0.96	0.22	0.63	57.77	
	14	77.97	5.92	7.78	0.05	1.68	0.96	2.43	1.96	0.91	0.04	0.41	59.38	
	15	64.46	16.10	3.06	0.14	4.64	1.66	4.62	1.46	1.26	0.07	0.61	29.26	
	16	43.52	22.95	8.59	0.18	6.73	6.42	10.10	1.20	0.83	0.09	0.40	41.44	
	17	74.24	6.04	10.06	0.04	1.53	0.79	2.20	2.63	1.03	0.03	1.39	63.18	
	18	76.93	2.78	10.99	0.08	1.56	0.62	2.36	2.81	1.59	0.03	0.57	61.81	
	19	78.23	3.86	10.26	0.04	1.63	0.77	2.69	2.64	1.00	0.37	0.60	61.96	
		PROM.	64.65	13.64	7.39	0.11	3.46	2.16	4.92	1.96	0.62	0.06	0.66	47.96
		D.E.	11.59	8.36	2.53	0.06	2.50	1.85	2.33	0.58	0.36	0.10	0.99	12.32
C	6	90.66	2.60	3.34	0.02	0.47	0.17	0.55	1.15	0.63	0.16	0.23	68.99	
	7	78.78	3.81	10.06	0.03	1.24	0.36	1.99	2.06	1.35	0.02	1.67	62.71	
	8	73.42	5.15	10.19	0.03	1.41	0.26	1.54	2.09	2.20	0.01	3.06	61.23	
		PROM.	80.29	3.85	7.87	0.06	1.04	0.27	1.36	2.17	1.39	0.07	1.96	60.94
	D.E.	7.49	1.04	3.20	0.01	0.41	0.06	0.60	0.72	0.64	0.08	1.16	1.67	
D	4	80.30	8.34	3.83	0.07	1.50	0.05	3.97	1.05	0.43	0.11	0.35	41.29	
	5	76.56	4.28	6.72	0.03	0.97	0.55	1.61	2.42	1.20	0.12	1.65	62.83	
	31	64.06	14.15	3.72	0.11	4.59	6.66	3.60	1.36	0.96	0.61	0.93	38.43	
		PROM.	74.31	8.92	5.42	0.07	2.36	2.43	3.06	1.62	0.87	0.06	0.84	47.42
	D.E.	7.25	4.85	2.33	0.03	1.64	3.02	1.04	0.59	0.32	0.06	0.51	10.75	
E	3	77.77	8.29	5.52	0.09	4.73	0.35	1.65	1.24	0.64	0.16	0.15	65.30	
	33	85.11	2.14	7.01	0.02	0.66	0.12	0.70	1.56	1.29	0.20	1.16	66.97	
	34	82.12	1.06	9.51	0.01	0.86	0.20	1.06	1.67	1.75	0.01	1.74	67.96	
	35	84.66	0.88	8.36	0.01	0.62	0.13	1.06	1.64	1.63	0.03	0.67	66.20	
		PROM.	82.41	3.09	7.60	0.03	1.72	0.20	0.97	1.50	1.39	0.10	0.96	66.24
	D.E.	2.91	3.04	1.49	0.03	1.73	0.09	0.15	0.16	0.48	0.09	0.57	1.10	

PROM: Promedio.

D.E: Desviacion estandar.

TABLA 4.3. COMPOSICION DE LOS SEDIMENTOS.
FRACCION TERRIGENOS. Elementos traza (mg/Kg).

ZCNA	MUESTRA	Sr	Ba	Pb	Cr	Zn	Ni	Cu	Ag	Cd
A	1	102.50	368.33	93.33	83.33	25.00	31.67	ND	9.00	ND
	2	177.50	200.83	96.67	58.33	50.00	ND	ND	4.83	ND
	20	181.67	200.83	103.33	33.33	45.83	61.67	0.0017	25.83	ND
	21	95.83	288.33	103.33	ND	ND	ND	ND	23.67	ND
	22	88.33	282.50	96.67	16.67	ND	ND	ND	30.00	ND
	23	104.17	318.33	110.00	41.67	ND	ND	ND	15.33	ND
	24	111.67	361.67	116.67	ND	ND	ND	ND	27.83	ND
	25	99.17	199.17	96.67	16.67	ND	ND	ND	13.17	ND
	26	119.17	345.83	103.33	ND	ND	ND	ND	21.67	ND
	27	79.17	369.17	110.00	ND	ND	ND	ND	6.83	ND
	28	101.67	296.67	103.33	41.67	ND	3.33	ND	15.33	ND
29	103.33	369.17	103.33	ND	ND	ND	ND	19.50	ND	
30	114.17	340.83	103.33	ND	ND	ND	ND	19.50	ND	
B	32	65.00	98.33	123.33	258.33	229.17	35.00	0.0017	19.50	ND
	9	161.67	128.33	113.33	318.87	195.83	46.67	0.0017	11.00	16.88
	10	227.50	222.50	106.67	383.33	154.17	51.67	0.0017	ND	ND
	11	143.33	185.00	106.67	258.33	25.00	38.33	0.0017	21.67	ND
	12	278.33	228.33	113.33	308.33	104.17	41.67	0.0017	15.33	ND
	13	240.83	268.33	110.00	125.00	ND	1.67	0.0017	16.33	ND
	14	167.50	250.00	116.67	75.00	ND	ND	0.0017	13.17	ND
	15	118.67	181.67	103.33	300.00	75.00	33.33	0.0017	9.00	ND
	16	206.67	155.00	116.67	225.00	170.83	43.33	0.0017	17.33	ND
	17	211.67	272.50	110.00	16.67	25.00	ND	0.0017	9.00	ND
18	187.50	260.83	103.33	0.00	ND	ND	0.0017	15.33	ND	
19	225.00	235.83	110.00	8.33	ND	ND	0.0017	11.00	ND	
C	6	48.33	128.67	100.00	ND	ND	ND	ND	9.00	ND
	7	231.67	296.67	113.33	16.67	ND	ND	ND	6.83	ND
	8	175.83	283.33	113.33	16.67	25.00	ND	0.0017	ND	ND
D	4	145.00	126.67	103.33	300.00	ND	198.33	0.0008	16.33	ND
	5	175.00	307.50	100.00	33.33	ND	ND	ND	9.00	ND
	31	149.17	187.50	123.33	416.67	45.83	258.33	0.0017	23.67	ND
E	3	130.00	233.33	106.67	50.00	ND	ND	ND	11.00	ND
	33	132.50	327.50	116.67	ND	ND	ND	ND	25.83	ND
	34	170.00	393.33	103.33	ND	ND	ND	0.0008	23.67	ND
	35	45.83	354.17	116.67	ND	25.00	ND	0.0033	25.83	ND
ACT. ppm		375	426	125	70	100	55	75	0.07	0.2

ND = No detectado.

ACT = Abundancia en la corteza terrestre. (referencia 29)

sedimentarias y las zonas B y D se componen principalmente por afloramientos de rocas volcánicas.

ZONA A. Esta zona es la más extensa, comprende aproximadamente 275 kilómetros de litoral de la cuenca Tampico-Misantla que está compuesta principalmente por rocas sedimentarias⁽²⁵⁾; 13 muestras estudiadas corresponden a esta zona en la que desembocan los ríos Tigre, Guayalejo, Pánuco, Tuxpan, Cazones y Tecolutla (figura 4.1).

El comportamiento de la fracción biogénica en esta zona es variado. Se encuentran muestras compuestas prácticamente de carbonatos (1 y 28); concentraciones de carbonatos entre 15 y 50% en las muestras 20, 21, 22, 23, 29 y 30; y concentraciones bajas, menores al 15%, en las muestras 2, 24, 25, 26 y 27.

En el análisis de los elementos mayores (tabla 4.2) destacan los valores de SiO_2 , que son muy altos en esta zona, con porcentajes arriba del 70. Los valores de Fe_2O_3 son bajos, menores al 5%, con excepción de las muestras 2 y 20. Los porcentajes de Al_2O_3 son intermedios, entre 4 y 8%, y los más homogéneos de esta zona. En cuanto a los componentes MnO^a , TiO_2 , CaO y Na_2O los valores más altos se encuentran en las muestras 2 y 20.

En los elementos traza de esta zona (tabla 4.3) se encuentra que todos los valores de Sr están abajo de su Abundancia en la Corteza Terrestre (ACT)⁽⁷⁾, con valores más

a En análisis de suelos se acostumbra expresar la cantidad de Mn como MnO y no como MnO_2 , de aquí en adelante se usará esta notación.

altos en las muestras 2 y 20. Todos los valores de Ba están abajo de su ACT, con valores bajos en las muestras 2, 20 y 25. Los valores de Pb son homogéneos y superiores a su ACT.

Por otro lado, todos los valores de Ag son superiores a su ACT. Los valores de Cr en las muestras 2, 20, 22, 23, 25 y 28 son inferiores a su ACT, con valores más bajos en las muestras 22 y 25; no se detectó en las muestras 21, 24, 26, 27, 29 y 30. Se detectó Ni en las muestras 1 y 28 abajo de su ACT, y en la muestra 20 arriba de su ACT. Se detectó Zn abajo de su ACT en las muestras 1, 2 y 20. El Cu sólo se detectó abajo de su ACT en la muestra 20. No se detectó Cd en esta zona.

ZONA B. Esta zona comprende aproximadamente 165 kilómetros de litoral; 12 muestras estudiadas corresponden a esta zona situada bajo la influencia de las rocas ígneas del Eje Neovolcánico a través de los ríos Nautla, Misantla, Colipa, Juchiate, Actopan y La Antigua (figura 4.1).

El análisis de la fracción biogénica en esta zona refleja mucha variación; las muestras 9, 10, 11, 12 y 13 tienen valores inferiores a 20%, y las muestras 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 32 con valores entre 20 y 40%.

El análisis de la fracción terrígena muestra que en los porcentajes de SiO_2 se encuentran tanto valores altos, de entre 40 y 70%, en las muestras 32, 9, 10, 11, 12, 15 y 16, como valores muy altos, arriba del 70%, en las muestras 13, 14, 17, 18 y 19. En los porcentajes de Fe_2O_3 los valores más bajos de la zona se encuentran en las muestras 13, 14, 17,

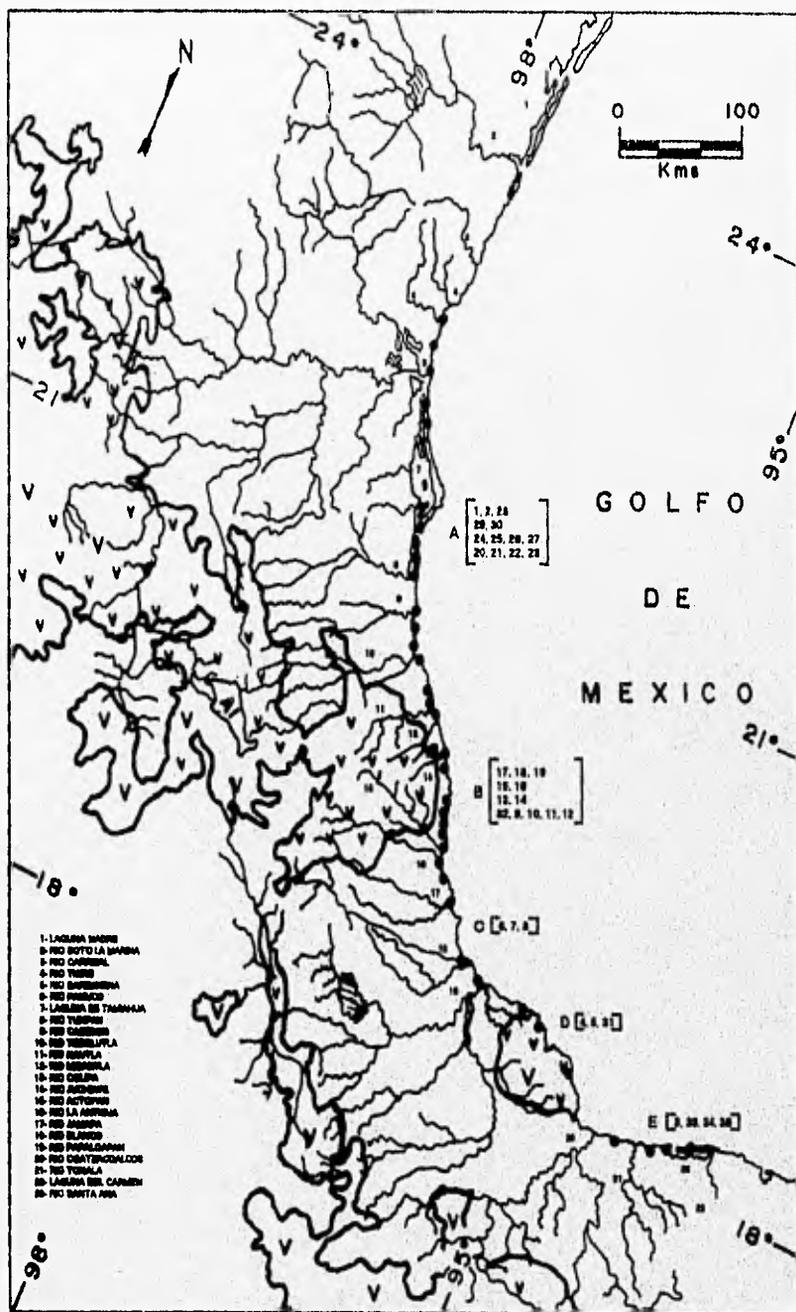


FIGURA 4.1. FACTORES FISICOS Y AGRUPAMIENTO DE MUESTRAS.

18 y 19, que en general se encuentran más alejadas de las desembocaduras de los ríos, en las muestras 11 y 12 hay valores altos de entre 10 y 15%; los valores más altos se encontraron en las muestras 32, 9, 10, 15 y 16 que se encuentran en lugares adyacentes a desembocaduras de ríos, estos últimos también son los valores más altos de toda el área de estudio. Los valores de Al_2O_3 son más dispersos, se encontraron valores bajos, menores al 4%, en las muestras 9 y 15; valores intermedios, de entre 4 y 8%, en las muestras 32, 10, 11, 12, 14 y 16; y, valores más altos, superiores al 8%, en las muestras 13, 16, 17, 18 y 19. En cuanto al resto de los componentes, MnO , TiO_2 , MgO y CaO presentan los valores más altos de la zona y de toda el área de estudio en las muestras 9, 10, 11, 12, 15 y 16; con excepción de los valores de TiO_2 y MgO en la muestra 32, el resto de las muestras presentan valores bajos en estos componentes. Los valores de Na_2O son más altos en las muestras 12, 13, 17, 18 y 19 con respecto a las demás. En los valores de K_2O los más bajos, inferiores a 0.6%, se encuentran en las muestras 9, 10, 11 y 12; valores intermedios, de entre 0.6 y 1.0%, en las muestras 32, 13, 14, 16, 17 y 19; y, valores más altos en las muestras 15 y 18.

En los elementos traza de esta zona es, también, muy evidente la influencia de la roca volcánica, sobre todo en las muestras con alto contenido de Fe_2O_3 . Todos los valores de Sr están abajo de su ACT, el valor más bajo se encuentra en la muestra 32. Todos los valores de Ba están abajo de su

ACT, el valor más bajo lo tiene la muestra 32. Todos los valores de Pb son homogéneos y superiores a su ACT. Todas las concentraciones de Cu son homogéneas e inferiores a su ACT.

Las concentraciones de Ag son homogéneas y superiores a su ACT, pero no se detectó en la muestra 10. Las concentraciones de Ni son inferiores a su ACT, con valor más bajo en la muestra 13, pero no se detectó en las muestras 14, 17, 18 y 19. En Cr se encuentran concentraciones superiores a su ACT en casi todas las muestras, concentraciones inferiores a su ACT en las muestras 17 y 19, y no se detectó en la muestra 18. Se encuentran concentraciones de Zn superiores a su ACT en las muestras 32, 9, 10, 12 y 16; concentraciones inferiores a su ACT en las muestras 11, 15 y 17, y no se detectó en las muestras 13, 14, 18 y 19. El Cd sólo se detectó en la muestra 9 en toda el área de estudio.

ZONA C. Esta zona comprende aproximadamente 100 kilómetros de litoral de la cuenca de Veracruz en la cuál se estudiaron muestras de tres playas; la influencia de la roca sedimentaria de esta cuenca se debe a los aportes de los ríos Jamapa, Blanco y Papaloapan (figura 4.1).

La fracción biogénica de las muestras de esta zona, que fueron tomadas en playas adyacentes a desembocaduras de ríos, presenta valores bajos, inferiores al 15%.

En los porcentajes de SiO_2 , de la fracción terrígena, se observa diferencia de las muestras 7 y 8 con respecto a la

muestra 6, que tiene una concentración más alta. Los porcentajes de Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , Na_2O y K_2O también reflejan esa diferencia, ya que los valores de estos componentes son más altos en las muestras 7 y 8, que se puede atribuir a su cercanía con las muestras de la zona B. Por otro lado los porcentajes de Fe_2O_3 , MnO y MgO son homogéneos y bajos en esa zona.

En estas muestras las concentraciones de Sr están por debajo de su ACT, pero no son homogéneas. Las concentraciones de Ba están abajo de su ACT, con valor más bajo en la muestra 6. Pb presenta valores homogéneos y superiores a su ACT. Las concentraciones de Cr en las muestras 7 y 8 son homogéneas y superiores a su ACT, pero no se detectó en la muestra 6. Zn y Cu se detectaron en la muestra 8 con valores inferiores a su ACT. Las concentraciones de Ag son superiores a su ACT, pero no son homogéneas. Ni y Cd no se detectaron en estas muestras.

ZONA D. Esta zona comprende la influencia volcánica de la región de San Andrés Tuxtla sobre una extensión litoral de aproximadamente 140 kilómetros. En esta región, donde no corren ríos importantes, se analizaron muestras de tres playas (figura 4.1).

Los porcentajes de la fracción biogénica son inferiores al 15%, con valor un poco más alto en la muestra 5 con respecto a las muestras 4 y 31.

En el análisis de la fracción terrígena se encuentra que los porcentajes de SiO_2 son altos pero no son homogéneos. En

los componentes Fe_2O_3 , MnO y TiO_2 la muestra 31 tiene los porcentajes más altos de la zona, la muestra 4 tiene valores intermedios y la muestra 5 presenta los valores más bajos; comportamiento que se invierte en los valores de K_2O . En los porcentajes de Al_2O_3 y Na_2O los valores bajos se encuentran en las muestras 4 y 31, y en los porcentajes de CaO los valores altos se encuentran en estas mismas muestras.

En cuanto a los elementos traza, las concentraciones de Sr son homogéneas e inferiores a su ACT. Las concentraciones de Ba son inferiores a su ACT con valores más bajos en las muestras 4 y 31 con respecto a la muestra 5. Las concentraciones de Pb son homogéneas y superiores a su ACT.

En estas muestras las concentraciones de Cr, Ni y Ag (superiores a su ACT respectivo) presentan concentraciones más altas en las muestras 4 y 31 con respecto a la muestra 5; las concentraciones de Cu también son más altas en las muestras 4 y 31 pero inferiores a su ACT. Zn sólo se detectó en la muestra 31 con valor abajo de su ACT y Cd no se detectó en las muestras de esta zona.

Las diferencias más importantes en esta zona entre la muestra 5 con respecto a las muestras 4 y 31 se pueden atribuir a su localización geográfica, es decir, las muestras 4 y 31 se encuentran bajo la influencia directa de la zona volcánica, mientras que la muestra 5 se encuentra un poco más al oeste, alejada de esta influencia. Lo anterior se combina con la corriente costera en esta región, la cual tiene dirección este (figura 2.6), por lo que es factible

considerar a la muestra 5 dentro de la influencia costera de la Cuenca de Veracruz.

ZONA E. En esta zona, que comprende aproximadamente 90 kilómetros de la porción litoral de las Cuencas Sedimentarias del Sureste y donde desembocan los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, se estudiaron muestras de 4 playas (figura 4.1).

La fracción biogénica de esta zona presenta el cuadro más homogéneo de toda el área de estudio, todas las muestras con porcentajes muy bajos, abajo del 5% de carbonato de calcio.

En la fracción terrígena los porcentajes de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O y K_2O son homogéneos, con valores ligeramente más bajos en la muestra 3; esta diferencia es más clara en las concentraciones de Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 y MgO .

En estas muestras las concentraciones de Sr son inferiores a su ACT con valor más bajo en la muestra 35. Las concentraciones de Ba son superiores a su ACT con valor más bajo en la muestra 3. Las concentraciones de Pb son homogéneas en esta zona con valores arriba de su ACT. El Cr sólo se detectó en la muestra 3 con valor abajo de su ACT. El Zn sólo se detectó en la muestra 35 con valor abajo de su ACT. El Cu se detectó en la muestra 34 y 35 con valores abajo de su ACT. Las concentraciones de Ag son homogéneas, con valores abajo de su ACT. Ni y Cd no se detectaron en las muestras de esta zona.

La fracción biogénica es tan importante en las muestras ubicadas al norte de la Laguna de Tamiahua que los

sedimentos de esta región son sedimentos carbonatados, considerando que arriba de 30% de CaCO_3 se define a un sedimento como carbonatado ⁽³⁾, al sur de la misma laguna y hasta la porción litoral del Eje Neovolcánico esta fracción es alta, lo que nos habla de la influencia del océano sobre esta región donde el flujo de agua que llega a la costa se debe a las corrientes que se desprenden del gran giro anticiclónico⁽¹⁹⁾; y por último, a proximadamente desde el río Actopan hasta la Laguna del Carmen, la fracción biogénica es muy baja (tabla 4.1 y figura 4.1), es decir, la influencia del océano disminuye en esta región.

En la fracción terrígena se observa que las muestras ubicadas en las zonas sedimentarias presentan mayor contenido de SiO_2 , que las ubicadas en las zonas volcánicas. El contenido de Fe_2O_3 es más elevado en muestras ubicadas cerca de las desembocaduras de ríos; es decir, en la zona A de las muestras 2, 29 y 30 la muestra 2 adyacente a la desembocadura del Río Pánuco presenta mayor contenido de Fe_2O_3 ; de las muestras 20, 21, 22 y 23, la muestra 23 cercana al Río Cazonas y la 20 cercana al Río Tecolutla presentan mayor contenido de Fe_2O_3 ; en la zona B las muestras 15 y 16 cercanas a los ríos Colipa y Juchiate y las muestras 9, 10 y 32 cercanas a los ríos Actopan y La Antigua presentan alto contenido de Fe_2O_3 . Estos valores altos de Fe_2O_3 se asocian con concentraciones altas de otros elementos como el TiO_2 , el CaO , el Cr y el Ni .

Elementos traza. De acuerdo con los valores de las tablas 4.2 y 4.3, los elementos Fe, Cr y el Zn presentan concentraciones importantes en las playas del Eje Neovolcánico cercanas a donde desembocan los ríos Colipa, Juchiate, Actopan y La Antigua y en las playas de la provincia de San Andrés Tuxtla, donde las concentraciones de estos elementos superan el promedio de abundancia en la corteza terrestre. El Cr y el Ni son muy importantes en las playas de la provincia San Andrés Tuxtla, donde superan con mucho el promedio de abundancia en la corteza terrestre (tabla 4.3).

4.2 INTEMPERISMO

El análisis del intemperismo en las muestras se realizó en dos pasos: (1) Cálculo del Índice Químico de Alteración y (2) Correlación estadística entre los elementos de la composición química.

En el primer paso se hizo el cálculo del Índice Químico de Alteración (IQA) mediante la ecuación 1.1. En los resultados del cálculo (tabla 4.2) se encuentra, dentro del área de estudio, que la alteración química de las muestras de las zonas A, C y E (con roca continental de tipo sedimentaria) es, en general, mayor que en las muestras de las zonas B y D (con roca continental de tipo volcánica).

En el segundo paso, a través de los coeficientes de correlación de Pearson, con valor aceptable arriba de 0.42, a un nivel de significación del 99% para 35 muestras (tabla

4.4) se encontraron relaciones importantes que se analizan a continuación:

El SiO_2 tiene relación directa con IQA y K_2O , y relación inversa con Fe_2O_3 , CaO , MnO , TiO_2 , Zn , MgO , Cr , Cu y Sr . La relación directa de SiO_2 con CIA sugiere que a mayor porcentaje de SiO_2 en una muestra, la alteración química es mayor; este resultado es congruente con la tabla 1.1 y la figura 1.1 en donde se observa que los compuestos más resistentes al intemperismo son silicatos, que tienen valores altos de la relación molar Si/O (cuarzo 0.50, feldespatos 0.40 y micas 0.36)⁽²⁶⁾. También se observa que los minerales más resistentes contienen preferiblemente potasio sobre otros cationes como Na y Ca, lo que es congruente con la relación directa entre SiO_2 y K_2O en estas muestras.

El Fe_2O_3 tiene relación directa con MnO , CaO , TiO_2 , MgO , Zn , Cr y Cu y relación inversa con SiO_2 , IQA, Ba y K_2O . La relación directa de Fe_2O_3 con MnO , CaO , TiO_2 y MgO es importante porque estos elementos forman parte de la composición química en minerales como el olivino, el granate, la augita y la biotita, por lo que la presencia o ausencia de Fe_2O_3 va acompañada de presencia o ausencia de MnO , CaO , TiO_2 y MgO ; también son importantes las relaciones con los metales traza, los cuales forman tipos de enlace similares a Fe, Ca, Mg y Ti, y por lo tanto se asocian a los elementos mayores en los mismos minerales debido a los procesos de coprecipitación⁽²⁶⁾. La relación inversa de Fe_2O_3

4.4) se encontraron relaciones importantes que se analizan a continuación:

El SiO_2 tiene relación directa con IQA y K_2O , y relación inversa con Fe_2O_3 , CaO , MnO , TiO_2 , Zn , MgO , Cr , Cu y Sr . La relación directa de SiO_2 con CIA sugiere que a mayor porcentaje de SiO_2 en una muestra, la alteración química es mayor; este resultado es congruente con la tabla 1.1 y la figura 1.1 en donde se observa que los compuestos más resistentes al intemperismo son silicatos, que tienen valores altos de la relación molar Si/O (cuarzo 0.50, feldspatos 0.40 y micas 0.36)⁽²⁶⁾. También se observa que los minerales más resistentes contienen preferiblemente potasio sobre otros cationes como Na y Ca, lo que es congruente con la relación directa entre SiO_2 y K_2O en estas muestras.

El Fe_2O_3 tiene relación directa con MnO , CaO , TiO_2 , MgO , Zn , Cr y Cu y relación inversa con SiO_2 , IQA, Ba y K_2O . La relación directa de Fe_2O_3 con MnO , CaO , TiO_2 y MgO es importante porque estos elementos forman parte de la composición química en minerales como el olivino, el granate, la augita y la biotita, por lo que la presencia o ausencia de Fe_2O_3 va acompañada de presencia o ausencia de MnO , CaO , TiO_2 y MgO ; también son importantes las relaciones con los metales traza, los cuales forman tipos de enlace similares a Fe, Ca, Mg y Ti, y por lo tanto se asocian a los elementos mayores en los mismos minerales debido a los procesos de coprecipitación⁽²⁶⁾. La relación inversa de Fe_2O_3

con CIA implica que a mayor cantidad de Fe_2O_3 menor alteración química, es congruente con la tabla 1.1 y la figura 1.1 donde se puede observar que los compuestos menos resistentes al intemperismo son aquellos en los que hay mayor número de enlaces Metal-Oxígeno los cuales son menos covalentes y menos fuertes que los enlaces Silicio-Oxígeno⁽²⁶⁾; relación que es aplicable a todos los factores que tienen relación directa con Fe_2O_3 .

El Al_2O_3 tiene relación directa con Na_2O y CIA, y relación inversa con Cr y Ni. La relación directa entre Al_2O_3 y CIA es un resultado lógico, producto de la definición de CIA; mientras que por otro lado los elementos Al_2O_3 y Na_2O se asocian en minerales como los feldespatos (plagioclasa tipo Na).

4.3 REGIONALIZACION GEOQUIMICA

El estudio de la regionalización geoquímica se realizó mediante el Análisis de Grupos (CLUSTER^(C)) y el Análisis de Factores^(D) con el auxilio de un paquete computacional denominado CSS.

Análisis de Grupos o CLUSTER^(C).

La matriz de datos utilizada en el análisis de grupos fue la composición química de las muestras, con lo cual se forman varios conjuntos que permiten estudiar el comportamiento químico en las distintas zonas (figura 4.2). Estos conjuntos se describen a continuación:

- Conjunto a. Este conjunto contiene las muestras:

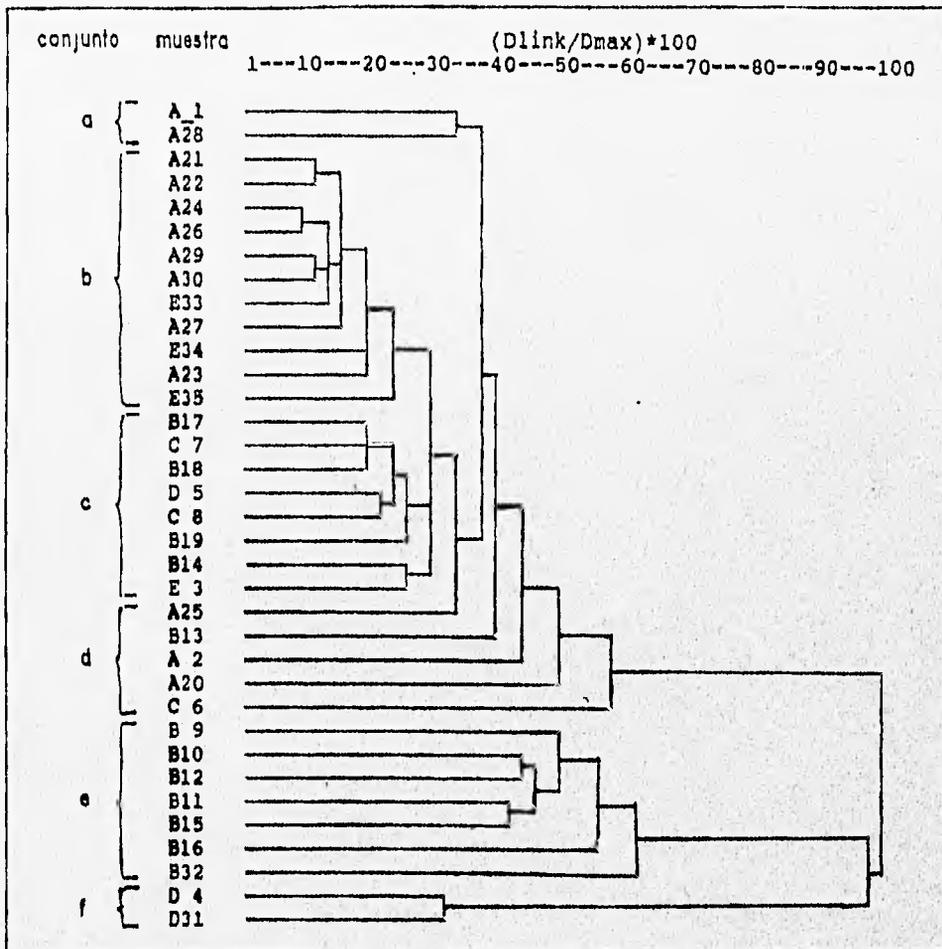


FIGURA 4.2. ANALISIS DE GRUPOS. Arbol de jerarquias.

1 y 28 en la zona A.

La característica más importante, en la composición de estas muestras, se encuentra en la fracción biogénica, que es la componente más importante (tabla 4.1). Se puede considerar que estas muestras están determinadas por las corrientes con dirección ciclónica que son muy importantes en esta región.

- Conjunto b. Este conjunto contiene las muestras:

21, 22, 23, 24, 26, 27, 29 y 30 en la zona A y
33, 34 y 35 en la zona E.

Las características más importantes en la composición química de las muestras de este grupo se encuentran en los elementos mayores de su fracción terrígena; estas características son: muy alto contenido de SiO_2 (mayor a 80%), contenido de Fe_2O_3 menor a 3% y valores altos del Índice Químico de Alteración (tabla 4.2); además, de que pertenecen a zonas de roca continental tipo sedimentaria (figura 4.1).

- Conjunto c. Este conjunto contiene las muestras:

14, 17, 18 y 19 en la zona B,
7 y 8 en la zona C,
5 en la zona D y
3 en la zona E

Las muestras de este grupo, presentan en su fracción terrígena alto contenido de SiO_2 (mayor a 70%), sin embargo, no es tan alto como en las muestras del conjunto b; por otro lado, su contenido de Fe_2O_3 sí es más alto que en las muestras del conjunto b ($3 < \text{Fe}_2\text{O}_3 > 9$). También, otra

característica son las concentraciones de Al_2O_3 y Na_2O que son las más altas en las muestras 7, 8 17, 18 y 19. Esta característica es muy importante porque las muestras 17, 18 y 19 se localizan cerca del área donde las corrientes del giro anticiclónico colisionan con el continente, lo que puede sugerir que el origen de estas concentraciones se relacione con algún desgaste local; por otro lado, están cercanas a los ríos Nautla y Misantla, los cuales pueden aportar fragmentos de roca que aumenten las concentraciones de Al_2O_3 y Na_2O , lo que resulta lógico si se considera la composición de las muestras 7 y 8 que están más al sur y cercanas a la desembocadura de los ríos Jamapa y Blanco; sin embargo, estas concentraciones pueden ser el resultado de la combinación de ambos factores.

- Conjunto d. Este conjunto contiene las muestras:

2, 20 y 25 en la zona A,

13 en la zona B y

6 en la zona C

En realidad, estas muestras no constituyen un grupo como tal, sino que presentan diferencias significativas en su composición química con respecto a las muestras de los conjuntos b y c. Es decir, la muestra 25 difiere de las muestras del conjunto b porque tiene un alto Índice Químico de Alteración (IQA). Las muestras 2 y 20 tienen valores de IQA más bajos, mayor contenido de Fe_2O_3 que las muestras del conjunto b y menor contenido de Na_2O que las muestras del conjunto c, el punto más interesante consiste en que

están cercanas a los ríos Pánuco y Tecolutla, respectivamente. La muestra 13 se diferencia de las muestras del conjunto c por un mayor contenido de TiO_2 , MgO y de Cr . La muestra 6 que está cerca del río Papaloapan se diferencia de los conjuntos b y c por su bajo contenido de Al_2O_3 .

- Conjunto e. Este conjunto contiene las muestras:

9, 10, 11, 12, 15, 16 y 32 en la zona B

Las características más importantes de estas muestras son que: presentan en su fracción terrígena alto contenido de Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , CaO , MgO , Cr y Zn (tablas 4.2 y 4.3); también es importante mencionar que presentan valores bajos en el Índice Químico de Alteración, que todas las muestras pertenecen a la zona B, (Eje Neovolcánico) y que se encuentran cercanas a desembocaduras de ríos (figura 4.1).

- Conjunto f. Este conjunto contiene las muestras:

4 y 31 en la zona D

Las características más importantes de estas muestras son su alto contenido de Cr y Ni , valores bajos en el Índice Químico de Alteración y que pertenecen a la zona D (San Andrés Tuxtla); sin embargo, la diferencia de estas muestras, con respecto a las demás del área de estudio, es que su contenido de Fe_2O_3 , MnO y CaO es alto, pero no tanto como las muestras del conjunto e, esta diferencia se puede atribuir a que en esta zona no hay ríos importantes que depositen sedimentos desde la porción continental, pero por otro lado esta zona presenta el clima más cálido y más húmedo de toda el área de estudio. Otra característica es la

cercanía de la roca volcánica con el mar, lo que favorece el desgaste que el oleaje produce en la roca.

Es importante observar en la figura 4.2 que se separan claramente las muestras con valores altos de IQA (valores superiores a 55% en los conjuntos a, b, c y d) de las muestras que presentan valores bajos (valores inferiores a 50% en los conjuntos e y f). En el primer caso la mayoría de las muestras se asocian con afloramientos de rocas sedimentarias A, C y E, es decir, la Cuenca Tampico-Misantla, la Cuenca de Veracruz y las Cuencas Terciarias del Sureste respectivamente. En el segundo caso las muestras se asocian con afloramientos de rocas volcánicas B y D (Eje Neovolcánico y San Andres Tuxtla respectivamente).

Dentro del grupo con valores altos de IQA, un punto interesante son las muestras 13, 14, 17, 18 y 19 al SE de la zona B. Estas muestras presentan una composición química semejante sin embargo, representan dos ambientes distintos por sus valores de IQA. En este sentido la localización geográfica es muy importante, ya que las muestras 17, 18 y 19 se ubican más al N, en un área donde se combinan la fuerza del oleaje y el aporte continental de los ríos Nautla y Misantla que dan como resultado valores de intemperismo similares al resto de las muestras de la cuenca, pero se diferencia de estas por los valores altos de Na_2O . Por otro lado, las muestras 13 y 14, ubicadas dentro de la porción litoral del Eje Neovolcánico donde no hay ríos que depositen materiales del continente, presentan intemperismo mayor que

las muestras 15 y 16 lo que indica que el oleaje altera su composición, que es muy similar a la de las zonas sedimentarias. La muestra 5, como ya se discutió en la composición química de la zona D, se considera bajo la influencia de los afloramientos de rocas sedimentarias de la Cuenca de Veracruz.

A través del estudio de las distintas zonas se encuentran distintos factores que, combinados, determinan la composición química de las muestras estudiadas, lo cual permite definir distintas regiones en la zona costera del área de estudio.

Al N de la Laguna de Tamiahua se combinan dos factores: la corriente (ciclónica) con dirección N-S y la desembocadura del Río Pánuco; la corriente arrastra carbonatos minerales desde la Laguna Madre y los deposita en esta región (muestras 1 y 28), por su parte el río Pánuco aporta materiales del continente a la muestra 2 y disminuye la cantidad de materiales carbonatados que la corriente deposita en las playas de las muestras 29 y 30.

Al S de la Laguna de Tamiahua y hasta el Río Misantla el aporte de materiales se debe a la desembocadura de los ríos Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla y Misantla. Estos materiales se desgatan con la energía del oleaje, cuyo origen es la colisión de las corrientes del gran giro anticiclónico contra el continente, lo que da como resultado sedimentos muy intemperizados.

En el Eje Neovolcánico y en la cuenca de Veracruz los factores físicos que influyen en la composición de las muestras son: la desembocadura de los ríos Colipa, Juchiate, Actopan, La Antigua, Jamapa, Blanco y Papaloapan y la corriente con dirección sureste originada por el gran giro anticiclónico que transporta materiales en la misma dirección.

Mediante este estudio no se puede cuantificar la influencia real del clima en el área de estudio, pero se considera que es muy importante en la provincia de San Andrés Tuxtla que presenta el régimen más cálido y más húmedo del área de estudio donde, además se combina con la topografía del área y la acción erosiva del oleaje sobre las rocas que afloran en el litoral.

En las Cuencas Terciarias del Sureste los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y Santa Ana aportan materiales del continente a las playas, materiales que la corriente (originada por el gran giro anticiclónico y que tiene dirección SE) distribuye sobre el área.

Análisis de Factores^(D).

En este análisis se utilizaron los elementos de la composición para saber cuáles de ellos son los que mas determinan el agrupamiento de muestras. La base de datos utilizada fue la composición química de todas las muestras, con la cual se encontraron cinco factores independientes (tabla 4.5) que permiten describir el comportamiento del

79.21% de las muestras (tabla 4.6). Es importante mencionar que no todos los factores matemáticos encontrados se pueden asociar en forma específica a algún factor físico, debido a que en la mayoría de las muestras se combinan dos o más factores físicos, y en el caso de los factores 3 y 4 el número de muestras que describen es tan pequeño que dificulta aún más su interpretación.

Factor 1. El Fe_2O_3 es el elemento más importante en este factor, y se relaciona con otros elementos de la composición mediante correlaciones directas (MnO, CaO, Zn, CR, TiO_2 y MgO) e inversas (SiO_2 , IQA y Sr) que permiten describir el 44.49% de las muestras estudiadas (16 muestras). Todos estos elementos, que pertenecen a la fracción terrígena y permiten diferenciar una muestra de una zona sedimentaria de una de zona volcánica, se pueden asociar a los ríos, ya que en las muestras cercanas a las desembocaduras de los ríos son muy importantes las relaciones de todos estos elementos.

Factor 2. El Na_2O es el elemento más importante de este factor y se relaciona en forma directa con Al_2O_3 , con lo cual se describe el comportamiento del 14.58% de las muestras estudiadas (5 muestras). Este factor es difícil de asociar debido a que en las muestras donde se encuentran las relaciones más importantes de estos elementos se combinan factores físicos diferentes; es decir, en las muestras 17, 18 y 19 se combinan oleaje y desembocaduras de ríos, en las muestras 5 y 13 oleaje y corrientes, en las muestras 7 y 8 ríos, oleaje y corrientes. Sin tener datos más contundentes,

TABLA 4.5. ANALISIS DE FACTORES EN LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

FACTOR 1		FACTOR 2		FACTOR 3		FACTOR 4		FACTOR 5	
%FeO3	0.88	%CaO3	0.84	%ZnO3	0.80	Ag	0.88	CO3	0.85
%CaO	0.84	%MgO	0.84	ZnO	0.83	Pb	0.87		
%MnO	0.84	Sr	0.77			Cu	0.81	N	0.80
Zn	0.86	PbO4	0.84	PbO4	0.83				
%TiO2	0.83								
Cr	0.87								
%Al2O3	0.76								
Cu	0.87								
N	0.84								
%SiO2	0.86								
K2O	0.85								
%K2O	0.86								

TABLA 4.6. EIGENVALORES Y VARIANZA ACUMULADA PARA LOS FACTORES DE LAS MUESTRAS ESTUDIADAS.

FACTOR	EIGENVALORES	VARIANZA	
		ACUMULADA	% APORTE
1	9.34	44.50	44.50
2	3.06	59.07	14.57
3	1.80	67.66	8.59
4	1.30	73.84	6.19
5	1.13	79.21	5.36

este factor podría asociarse al desgaste del oleaje en afloramientos de roca volcánica debido a que las concentraciones más altas de Na_2O se encuentran en estos tipos de roca^(E).

Mediante la combinación del factor 1 con el factor 2 se puede describir la composición del 59.08% de las muestras (tabla 4.6).

Factor 3. El P_2O_5 que es el elemento más importante de este factor presenta relaciones inversas con K_2O y la pérdida por ignición, con lo cual se describe el comportamiento del 8.58% de las muestras estudiadas (3 muestras).

Con la combinación de los factores 1, 2 y 3 se puede describir la composición del 67.66% de las muestras estudiadas.

Factor 4. Ag que es el elemento más importante de este factor, presenta relación directa con Pb con la cual se describe el 6.19% de las muestras estudiadas (2 muestras).

Mediante la combinación de los factores 1, 2, 3 y 4 se puede describir la composición del 73.84% de las muestras estudiadas.

Factor 5. El elemento más importante de este factor es el CaCO_3 , el cual presenta apenas una relación inversa con el Ni en un 5.37% de las muestras estudiadas (2 muestras). Este factor se atribuye físicamente a las corrientes costeras con dirección S, en el N del área de estudio donde las muestras 1, 28, 29 y 30 presentan altas cantidades de carbonatos en su composición química, cuyo origen es presumiblemente la

Laguna Madre, la cuál esta constituida por carbonatos óseos, oolitas y carbonatos no biogénicos⁽²⁵⁾.

Con la combinación de los factores 1, 2, 3, 4 y 5 se puede describir el comportamiento del 79.21% de las muestras estudiadas, esta cifra corresponde a un total de 28 muestras.

Regionalización geoquímica.

Con los factores encontrados se pueden establecer varias zonas con perfiles sedimentarios bien definidos dentro del área de estudio (figura 4.3).

ZONA (A). Al N de la Laguna de Tamiahua se encuentra una región de sedimentos carbonatados, esta región se identifica por la composición química de las muestras 1, 28, 29 y 30 que tienen concentración de carbonatos mayor a 30%; la muestra 2 es una excepción en esta zona debido a que la desembocadura del río Pánuco disminuye la cantidad de carbonatos depositados por el oleaje.

ZONA (B). Es la región al sur de la Laguna de Tamiahua, que comprende desde la boca de la laguna hasta las cercanías del río Tecolutla, se caracteriza por concentraciones de SiO_2 mayores al 80%, concentraciones de Fe_2O_3 menores a 3% y valores de IQA mayores a 60% en las muestras 21-27; la muestra 20 es una excepción en esta zona debido a que esta cercana a la desembocadura del río Tecolutla, lo que modifica su composición química.

ZONA (C). Esta región comprende las playas cercanas a las desembocaduras de los ríos Nautla y Misantla donde se ubican



FIGURA 4.3 REGIONALIZACION GEOQUIMICA.

las muestras 17, 18 y 19 que se caracterizan por tener concentraciones altas de Na_2O y Al_2O_3 y valores de IQA mayores a 60%.

ZONA (D). Los sedimentos de la desembocadura de los ríos Juchiate y Colipa y en las playas cercanas del sur, donde se localizan las muestras 15 y 16, presentan concentraciones de Fe_2O_3 superiores al 15%, junto con el Fe_2O_3 también se encuentran concentraciones altas de CaO , TiO_2 , MnO , MgO , Zn , Cr , Cu y Ni .

ZONA (E). Es la región al sur de la desembocadura del río Juchiate y al norte de la desembocadura del río Actopan, caracterizada por la composición de las muestras 13 y 14 que tienen concentraciones de SiO_2 superiores a 70%, concentraciones de Fe_2O_3 arriba de 5% y valores de IQA superiores a 55%.

ZONA (F). Comprende las playas cercanas a la desembocadura de los ríos Actopan y La Antigua donde se ubican las muestras 9, 10, 11, 12 y 32 que se caracterizan por concentraciones de Fe_2O_3 arriba de 15% y valores de CIA menores a 50%. Junto con los valores altos de Fe_2O_3 también se encuentran concentraciones altas de CaO , TiO_2 , MnO , MgO , Zn , Cr , Cu y Ni .

ZONA (G). Abarca desde la desembocadura del río Jamapa hasta el límite noroeste del litoral de la provincia de San Andrés Tuxtla y se caracteriza por concentraciones de SiO_2 superiores a 70%, concentraciones de Fe_2O_3 menores a 5% y valores de IQA de 60% en las muestras 5, 6, 7 y 8.

ZONA (H). Esta zona abarca la provincia de San Andrés Tuxtla donde las muestras 4 y 31 se caracterizan por concentraciones de Fe_2O_3 superiores a 8%, concentraciones de Cr superiores a 300 ppm, concentraciones de Ni de 200 ppm y valores de IQA inferiores a 40%.

ZONA (I). Esta zona abarca desde el límite sureste del litoral de la provincia de San Andrés Tuxtla hasta la Laguna del Carmen, donde se localizan las muestras 3, 33, 34 y 35 que se caracterizan por concentraciones de SiO_2 superiores a 75% y concentraciones de Fe_2O_3 inferiores al 3% y valores de IQA mayores a 60%. La muestra 3 es una excepción en esta zona debido a que está cerca de la desembocadura de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, lo que modifica su composición química.

5. CONCLUSIONES

El estudio de la composición química en las muestras estudiadas permite decir que:

1. Los sedimentos litorales del suroeste del Golfo de México se clasifican en tres tipos:

- Sedimentos carbonatados o biogénicos. Las muestras 1, 28, 29 y 30 pertenecen a este grupo en las que su concentración de carbonato de calcio es superior a 30%.

- Sedimentos terrígenos muy intemperizados. Las muestras 2, 3, 5-8, 13, 14, 17-27 y 33-35 se ubican en este grupo; éstas se caracterizan por tener concentraciones de SiO_2 superiores al 70%, concentraciones de Fe_2O_3 menores al 10% y valores en el Índice Químico de Alteración superiores a 55%.

- Sedimentos terrígenos poco intemperizados. Las muestras 4, 9-12, 15, 16 31 y 32 pertenecen a esta clasificación y se caracterizan por tener concentraciones de SiO_2 inferiores al 70%, concentraciones de Fe_2O_3 superiores al 10% y valores en su Índice Químico de Alteración inferiores a 50%.

2. La composición química de los sedimentos litorales del suroeste del Golfo de México está determinada por tres factores físicos principales: el tipo de roca asociada (en el continente), la descarga de los ríos y la dirección de las corrientes costeras.

3. La porción litoral del Estado de Veracruz tiene ocho zonas sedimentarias dentro de las cinco provincias geológicas continentales:

- (A) Norte de la Laguna de Tamiahua. Los sedimentos carbonatados de esta región son depositados aquí desde la Laguna Madre por la corriente costera; la muestra 2 es una excepción en esta zona debido a que la desembocadura del Río Pánuco disminuye la influencia de la corriente.
- (B) Región al Sur de la Laguna de Tamiahua, que comprende desde la boca de la laguna hasta la desembocadura del Río Tecolutla. Los sedimentos terrígenos de esta zona son depositados por los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla.
- (C) Desembocadura de los ríos Nautla y Misantla. Los sedimentos terrígenos de estas playas se deben al aporte de estos ríos y al desgaste ocasionado por el oleaje.
- (D) Desembocadura de los ríos Colipa y Juchiata. Los sedimentos terrígenos en esta región están poco intemperizados y tienen alto contenido de Fe_2O_3 que se debe al aporte de estos ríos.
- (E) Región al sur de la desembocadura del Río Juchiata y al N de la desembocadura del Río Actopan. Los sedimentos terrígenos de esta zona se deben al transporte por la corriente costera y al desgaste local por oleaje.
- (F) Desembocadura de los ríos Actopan y La Antigua. Los sedimentos terrígenos de estas playas están poco intemperizados y tienen alto contenido de Fe_2O_3 que se debe al aporte de estos ríos.
- (G) Cuenca de Veracruz. Los sedimentos terrígenos de esta zona se deben al aporte de los ríos Jamapa, Blanco y Papaloapan.

-(H) Provincia de San Andrés Tuxtla. Los sedimentos terrigenos en esta zona están poco intemperizados y tienen alto contenido de Fe_2O_3 que se debe al desgaste ocasionado en la roca volcánica por el oleaje y el clima del área.

-(I) Cuencas Terciarias del Sureste. Esta zona abarca desde el límite SE del litoral de la provincia de San Andrés Tuxtla hasta la Laguna del Carmen. Los sedimentos terrigenos de esta zona se deben al aporte de los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y Santa Ana.

6. APENDICE

A. LOS MINERALES QUE FORMAN LAS ROCAS⁽⁵⁾

De entre todos los minerales que se pueden encontrar en la naturaleza, menos de 20 son tan comunes que se encuentran en más del 95% de los minerales que forman las cortezas continental y oceánica. A estos se les conoce como los minerales que forman las rocas debido a que, todas las rocas comunes contienen uno o más de ellos. Se ha encontrado que los silicatos y los óxidos son los compuestos minerales más comunes en la corteza; sin embargo, los silicatos son más abundantes que los óxidos.

LOS SILICATOS

Las estructuras y propiedades de los minerales de silicato están determinadas por la manera en la cual se unen el silicio y el oxígeno. Estos dos elementos forman el complejo anión silicato $(\text{SiO}_4)^{-4}$, en el cual los átomos de oxígeno, más grandes, se colocan en los vértices de un tetraedro, mientras que el átomo de silicio, más pequeño, se encuentra en el hueco que dejan los átomos de oxígeno en el centro del tetraedro. Cada ion silicato posee cuatro cargas negativas, no neutralizadas, que le confieren una naturaleza inestable, la cual se puede minimizar de dos formas: la primera consiste en formar enlaces con cationes, como el ion Mg^{+2} , con lo cual se balancean las cargas dejando aislado al tetraedro. La segunda forma consiste en la unión de dos iones silicato que comparten un átomo de oxígeno para formar un ion más complejo de fórmula $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$, de la misma forma

se pueden formar más enlaces que dan lugar a polimerizaciones más grandes.

El olivino, que es un componente común de la corteza y la parte superior del manto, tiene la fórmula $([Mg,Fe]SiO_4)$. El granate es característico en las rocas de la corteza continental y tiene la fórmula $A_3B_2(SiO_4)_3$, donde A puede ser Mg^{+2} , Fe^{+2} , Ca^{+2} , Mn^{+2} o una mezcla de ellos y B puede ser Al^{+3} o Fe^{+3} . Ambos son minerales importantes, en los cuales, el tetraedro del ion silicato se encuentra aislado por los cationes correspondientes.

Los piroxenos y los anfiboles son dos tipos minerales, del grupo de los silicatos, que contienen tetraedros de silicato en cadenas continuas; en ambos, las cadenas se encuentran unidas por cationes del tipo Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+2} . La fórmula general para los piroxenos es $AB(SiO_3)_2$, donde A y B pueden ser uno de entre un gran número de cationes, destacando como los más importantes Mg^{+2} , Fe^{+2} , Ca^{+2} , Mn^{+2} ; estos minerales son abundantes en las rocas del manto y la corteza oceánica, pero también se encuentran en rocas de la corteza continental. La complicada fórmula de los anfiboles se puede resumir como $A_2B_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$, en la cual A puede ser los iones Ca^{+2} ó Mg^{+2} , mientras B normalmente es Mg^{+2} ó Fe^{+2} .

Las micas, la clorita y las arcillas son minerales en los que la unidad polimérica básica es una laminilla, donde, tres átomos de oxígeno de un tetraedro se comparten con tetraedros adyacentes dejando un átomo de oxígeno con una

carga libre que genera la fórmula aniónica general $(\text{Si}_4\text{O}_{10})_n^{-4}$. Este desbalance de cargas se compensa con el ion Al^{+3} en la caolinita, que es un mineral tipo arcilla. En el caso de las micas la situación es más complicada, porque el Al^{+3} sustituye al Si^{+4} generando un mayor desequilibrio de cargas negativas, que, se compensan con mayor cantidad de cationes como K^+ , Mg^{+2} y algún Al^{+3} extra; un ejemplo es la muscovita que tiene la fórmula general $\text{KA}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. En la clorita el desbalance de cargas en la lámina se compensa por los enlaces con cationes como Mg^{+2} , Fe^{+2} y Al^{+3} para dar la fórmula general $[\text{Mg,Fe,Al}]_6[\text{Si,Al}]_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

El cuarzo es un mineral particularmente abundante en rocas de la corteza continental, está compuesto exclusivamente de silicio y oxígeno el cual tiene una estructura cristalina en la que todas las cargas se satisfacen por medio de la polimerización de tetrahedros, dando lugar a un arreglo tridimensional; es tan abundante que algunas rocas sedimentarias se componen casi completamente de cuarzo.

Los feldespatos que representan cerca del 60% de los minerales de la corteza continental también son abundantes en las rocas del fondo marino; éstos tienen una estructura polimérica semejante a la del cuarzo pero en algunos tetrahedros el Al^{+3} sustituye al Si^{+4} , y, al igual que en las micas, necesita de otros cationes para balancear las cargas.

Los feldespatos son minerales muy complejos que tienen un amplio intervalo de composición. Los límites (ideales) de composición en los feldespatos más comunes son: feldespato de potasio $K[Si_3,Al]O_8$, albita $Na[Si_3,Al]O_8$ y anortita $Ca[Si_2,Al_2]O_8$.

La sustitución iónica más importante en los feldespatos involucra la sustitución de Ca^{+2} por Na^{+1} , que se debe a la mayor semejanza en tamaño entre estos dos iones que con el K^{+1} , pero debido a la diferencia de cargas se acopla la sustitución de dos iones: $(Na^{+1} + Si^{+4})$ por $(Ca^{+2} + Al^{+3})$; esta sustitución es tan efectiva que determina un tipo mineral llamado plagioclasa, el cual representa un intervalo de composición abierto entre la albita y la anortita.

OTROS MINERALES

Aunque los silicatos son los minerales más abundantes en la Tierra, otros tipos minerales como los óxidos, sulfuros, carbonatos, sulfatos y fosfatos también se conocen como minerales que forman las rocas.

Algunos óxidos comunes son: compuestos de hierro [magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_3)], el óxido de titanio [rutilo (TiO_2)] y el óxido de hidrógeno [hielo (H_2O)]. Las principales fuentes de hierro, cromo, manganeso, uranio, estaño, niobio y tántalo son óxidos minerales, lo que refleja la importancia de este tipo de minerales.

Los sulfuros minerales más comunes son la pirita (FeS_2), pirrotita (FeS), galena (PbS), esfalerita (ZnS) y calcopirita (CuFeS_2). Los sulfuros minerales son importantes porque son la fuente principal de cobre, plomo, zinc, níquel, cobalto, mercurio, molibdeno, plata y muchos otros metales.

El anión carbonato forma tres comunes e importantes minerales: calcita y aragonita que son polimorfos de CaCO_3 , y dolomita, MgCaCO_3 .

La apatita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH})$, que es una sustancia fundamental en la estructura de nuestros huesos y dientes, es un fosfato mineral que se encuentra en diversos tipos de rocas y es la principal fuente del fósforo con el que se elaboran los fertilizantes.

B. ABSORCIÓN ATÓMICA⁽²⁸⁾

TEORÍA

La absorción atómica es una propiedad de los átomos que les permite absorber energía en forma de luz, a longitudes de onda específicas, que dependen de la naturaleza electrónica de cada átomo particular.

En la estructura de un átomo se pueden identificar dos regiones en las que se localizan las tres partículas subatómicas principales: el núcleo, que contiene protones y neutrones, se ubica en el interior del átomo y la nube de electrones que rodea al primero. Estos electrones en la nube interactúan energéticamente entre sí y con el núcleo

estableciendo un estado de energía conocido como estado basal. Este estado basal es específico para cada elemento porque depende del nivel cuántico de energía en el que se encuentran los electrones.

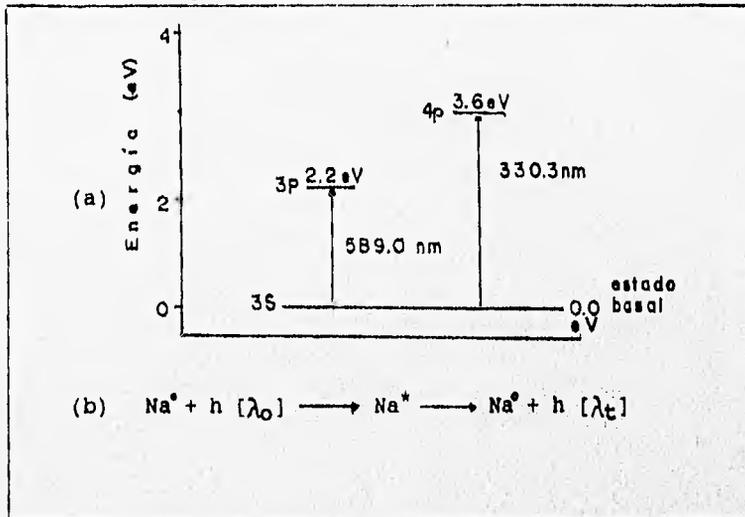


Figura 6.1. (a) Algunos posibles estados de energía para el átomo de sodio. (b) Transición energética en un átomo de sodio.

Cuando una porción de energía, como la luz, interactúa con los átomos modifica su estado energético a un estado inestable de mayor energía o estado excitado (figura 6.1a); porque los electrones cambian de nivel de energía al absorber energía externa. Sin embargo, los átomos se estabilizan liberando parte de esa energía en forma espontánea al regresar a su estado basal (figura 6.1b). Esta energía, necesaria para provocar una transición energética de un electrón, se caracteriza por estar en resonancia con

la energía de ese electrón en el átomo y posee una longitud de onda específica que sirve para caracterizar los átomos de cada elemento químico.

ANÁLISIS CUANTITATIVO

Tanto la cantidad de energía absorbida como la cantidad de energía emitida están relacionadas con la cantidad de materia con la que interactúan; esto, se resume mediante la Ley de Lambert, que nos dice que la porción de luz absorbida por un medio transparente es independiente de la intensidad de la luz incidente, y cada unidad sucesiva de espesor del medio absorbe una fracción igual de la luz que pasa a través del medio y la Ley de Beer, que dice que la absorción de la luz es proporcional al número de átomos que absorben en la muestra. La combinación matemática de estas dos leyes se expresa como:

$$I_t = I_0^{-a bc} \quad (6.1)$$

$$\text{ó } \log_{10}(I_0/I_t) = abc = \text{absorbancia} \quad (6.2)$$

donde

- I_0 = Intensidad de la radiación incidente
- I_t = Intensidad de la radiación transmitida
- a = coeficiente de absorción (absortividad)
- b = longitud del medio de absorción
- c = concentración de los átomos que absorben la radiación incidente

Esto significa que la absorbancia de un elemento en un medio de absorción, de longitud o espesor conocidos, es

proporcional a su concentración para una longitud de onda específica.

La absorbancia es una medida de la cantidad de luz absorbida por los átomos bajo ciertas condiciones. Entonces, si una muestra de concentración c da una medida de absorbancia, otra muestra de concentración $2c$ dará dos veces esa absorbancia, lo que permite relacionar la medida de absorbancia con la concentración de un analito en una muestra; auxiliado, gráficamente, por las medidas de absorbancia de soluciones de concentración conocida o estándar mediante una interpolación (figura 6,2).

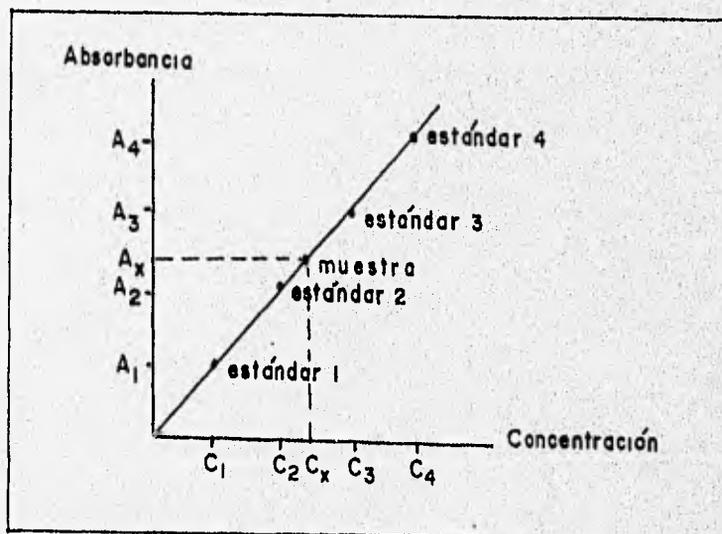


FIGURA 6.2. Curva de calibración.

INSTRUMENTACION

Un espectrofotómetro de absorción atómica consta de diversas partes (figura 6.3): fuente de radiación, sistema nebulizador-quemador, monocromador, sistema óptico y detector.

La fuente de luz o de radiación es una lámpara de cátodo hueco que emite el mismo espectro de absorción que los átomos del elemento que se pretende cuantificar. Una lámpara típica de cátodo hueco consiste de una cubierta vítrea que posee un cátodo o cilindro metálico que contiene el elemento químico que va a ser excitado y un ánodo delgado. El interior del recipiente contiene un gas inerte, usualmente argón o neón, a baja presión.

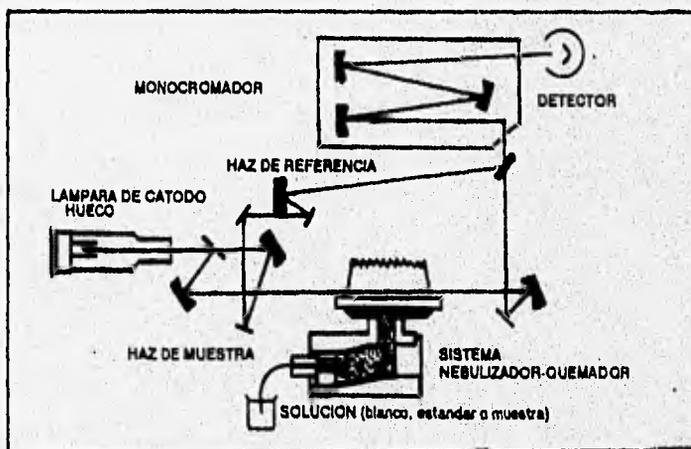


FIGURA 6.3. Esquema interno de un espectrofotómetro de absorción atómica con sistema óptico de doble haz.

El análisis de absorción atómica depende en gran medida del aporte del analito en forma libre y la exposición de éste a la luz de longitud de onda característica. El proceso consiste en hacer llegar la muestra a un nebulizador en donde la muestra en solución es fraccionada en gotas de solución muy finas (nebulizador), las cuales se hacen pasar por una fuente de calentamiento a una temperatura lo suficientemente alta como para disociar los compuestos (quemador de flama, normalmente se usan mezclas aire-acetileno y óxido nitroso-acetileno).

Las amplias posibilidades de alcanzar diversos niveles energéticos por los electrones de un átomo generan un amplio espectro de señales conocidas como líneas de resonancia. Sin embargo, el análisis por absorción atómica se basa en la respuesta generada por una sola señal, normalmente se utiliza la línea de resonancia más grande, que debe ser aislada de las demás, esto se logra con el uso del monocromador que tiene una resolución de 0.2 nm.

El sistema óptico tiene la función de hacer incidir la luz desde la fuente a través de la población de átomos del analito y hacerla llegar en forma directa al monocromador. La configuración óptica puede consistir de un sistema de haz simple en el que se hace necesario medir la intensidad inicial antes de analizar la muestra; o, un sistema de doble haz, como el de la figura 6.3, en el cual se miden al mismo tiempo la intensidad de referencia y la señal de la muestra.

El último componente para el análisis es el detector. El tubo fotomultiplicador es el detector más usado en absorción atómica porque tiene la mejor sensibilidad en el intervalo de longitudes de onda que se emplean en este método. El fotomultiplicador genera una señal eléctrica, proporcional a la intensidad de la luz en la longitud de onda que ha sido aislada por el monocromador, que se amplifica y es usada para tener una medida cuantitativa de la absorbancia.

C.CLUSTER⁽²⁹⁾

El análisis de cluster o CLUSTER es el nombre genérico con el que se conoce a diversos métodos matemáticos que se utilizan para decidir qué objetos dentro de un conjunto son similares. En lugar de clasificar los objetos reales, este método clasifica los objetos descritos con base en parámetros cuantitativos, es decir, como datos.

Gran parte de la investigación necesita establecer las similitudes entre pares de cosas. El análisis de cluster es el método básico para estimar similitudes.

El análisis de cluster es de fácil comprensión porque su lenguaje es de aritmética ordinaria; y, consta de cuatro pasos: (1) Establecer la matriz de datos, (2) Estandarización de la matriz de datos, (3) Cálculo de la matriz de semejanzas y (4) Ejecución del método de agrupamiento.

(1) El análisis de cluster se inicia con una matriz de datos. La matriz de datos se escribe como sigue: en las

columnas de la matriz de datos se ponen los objetos, las cosas entre las cuales se quiere estimar la similitud que en este trabajo son las muestras analizadas (1, 2, etc.). En los renglones se colocan los atributos de esos objetos, sus propiedades, en nuestro caso se colocan los diferentes elementos de la composición.

(2) La estandarización de la matriz de datos es un paso opcional que convierte los atributos en atributos adimensionales

Matriz de datos					Matriz estandarizada								
		Objeto					Objeto						
Atributo	1	2	...	j	...	t	Atributo	1	2	...	j	...	t
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1t}	1	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1j}	...	Z_{1t}
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2t}	2	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2j}	...	Z_{2t}
.
i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{it}	i	Z_{i1}	Z_{i2}	...	Z_{ij}	...	Z_{it}
.
n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nj}	...	X_{nt}	n	Z_{n1}	Z_{n2}	...	Z_{nj}	...	Z_{nt}

FIGURA 6.4. Estructura de las matrices empleadas en un análisis de cluster.

Al igual que la matriz de datos original tiene el mismo número de objetos y de atributos, pero los valores cambian.

Existen dos razones principales para llevar a cabo la estandarización. Primero, las unidades en las que se miden los atributos pueden afectar arbitrariamente las similitudes entre los objetos; en esta tesis, se utilizan porcentajes para los elementos mayores y partes por millón para los elementos traza. Segunda, la estandarización hace que los atributos contribuyan en la misma cantidad a las similitudes

de los objetos cuando los intervalos de valores de algunos atributos son más amplios que en otros; por ejemplo la diferencia entre los porcentajes de CaO y las concentraciones de Sr en las muestras analizadas (tablas 4.2 y 4.3). La función de estandarización más ampliamente usada es:

$$Z_{ij} = \frac{(X_{ij} - \bar{X}_i)}{S_i} \quad (6.3)$$

donde

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^t X_{ij}}{t} \quad (6.4)$$

y

$$S_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^t (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{t - 1} \right)^{1/2} \quad (6.5)$$

Para calcular el valor estandarizado Z_{ij} para un objeto j con atributo i , se toma el valor correspondiente de X_{ij} en la matriz de datos, se le sustrae la media \bar{X}_i de los valores del atributo i , y se divide el resultado por la desviación estándar S_i de los valores del atributo i . Esto convierte a los atributos en cantidades adimensionales cuyo intervalo de valores es más posible de compararse.

(3) El coeficiente de semejanza es una fórmula matemática que mide todas las similitudes entre cada par de objetos. Su valor se calcula a partir de la matriz estandarizada.

La fórmula más empleada para el cálculo de estos coeficientes es el coeficiente de la distancia euclídiana, en el cual se calcula la semejanza como la distancia entre

dos pares de objetos en la geometría de un espacio de atributos n-dimensional mediante el uso del teorema de Pitágoras, que se expresa en la siguiente ecuación:

$$e_{jk} = \left[\sum_{t=1}^2 (X_{ij} - X_{ik})^2 \right]^{1/2} \quad (6.6)$$

Para el cálculo de e_{jk} entre los objetos j y k, usamos los datos en las columnas j y k de la matriz de datos, atributo por atributo se toma la diferencia en sus valores, se eleva al cuadrado eliminando los valores negativos, se suman las diferencias al cuadrado y se obtiene la raíz cuadrada de la suma y el resultado es e_{jk} . Los resultados de estos coeficientes se almacenan en una matriz llamada matriz de semejanzas.

(4) Cuando se tiene la matriz de semejanzas se puede construir un mapa de clases, llamado árbol, que muestra de un vistazo la similitud entre todos los pares de objetos. Este árbol se obtiene empleando un método de agrupamiento.

En el método de agrupamiento se toma la matriz de semejanzas, en el cual el par de objetos con la distancia euclidiana más chica representa los más semejantes; suponiendo que son los objetos a y b; estos dos objetos se eliminan de la matriz haciéndola más pequeña, sin embargo estos dos objetos han formado un grupo denominado ab que sirve para seguir calculando las distancias euclidianas entre este grupo y el resto de los objetos como promedio; y, así, sucesivamente se forman grupos contra los cuales se

calcula la distancia euclidiana y que van reduciendo la matriz de semejanzas hasta agrupar a todos los objetos.

Con la distancia euclidiana se obtiene un árbol como el de la figura 4.2, en el cual las muestras más semejantes se encuentran más cerca entre sí unidas horizontalmente a la distancia de su coeficiente de semejanza.

D. ANALISIS DE FACTORES⁽³⁰⁾

El subprograma denominado como FACTOR no es un concepto unitario ya que incluye una gran variedad de procedimientos, la clasificación más general se desarrolla alrededor de tres pasos: (1) Obtener la matriz de correlación, (2) Extracción de los factores iniciales -exploración para la posible reducción de datos- y (3) Rotación para encontrar la solución final -búsqueda de factores simples e interpretables.

El primer paso en el factor de análisis involucra el cálculo de alguna medida de asociación apropiada para un grupo de variables. La medida más usada son los coeficientes de correlación. Se puede hacer la matriz de correlación con los objetos o muestras estudiadas, en cuyo caso se llama análisis de factores tipo Q, o bien una matriz de correlación entre las variables, llamado análisis de factores tipo R.

En el segundo paso se exploran las posibilidades de la reducción de datos construyendo un nuevo grupo de variables con base en las interrelaciones exhibidas en los datos. Para

ello las nuevas variables se pueden definir mediante transformaciones matemáticas exactas o mediante consideraciones inferenciales en las que se utiliza la estructura de las variables y su fuente de variación. Esta aproximación, en la que ya se utilizan factores definidos, se llama análisis de componentes principales. Y ya sea que los factores sean inferidos o se definan exactamente estos factores iniciales se extraen de tal modo que un factor sea independiente de otro, es decir los factores son ortogonales.

Para establecer la definición exacta de los factores no se necesita hacer consideraciones acerca de la estructura de las variables, basta con encontrar la mejor combinación lineal entre las variables, esta combinación lineal se toma bajo el criterio de que la combinación particular de las variables contribuye más a la variancia de los datos en total que alguna otra combinación lineal de variables. Así, el primer componente se toma como la mejor combinación lineal. El segundo componente se define con la segunda mejor combinación lineal, bajo la consideración de que es ortogonal al primer componente. Para que el segundo componente sea ortogonal al primero se necesita que la contribución de este componente no esté incluida dentro de la contribución del otro. Este proceso se hace subsecuentemente hasta abrcar el máximo posible de la variancia de los datos.

El modelo del componente principal se puede expresar como:

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jn}F_n \quad (6.7)$$

en donde cada una de las n variables se describe linealmente en términos de n nuevos componentes no correlacionados $F_1, F_2 \dots F_n$ los cuales se definen mediante la combinación lineal de las n variables originales.

Sin embargo, la configuración de esta estructura entre los factores no es la única ya que una solución de factores se puede transformar en otra sin violar las consideraciones o las propiedades matemáticas de esta solución al escoger el método rotacional que lleva a la solución final. En esta rotación el objetivo es optimizar la contribución de cada factor a la varianza para que la comparación sea más fácil de interpretar.

E. COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNAS ROCAS

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA		ARABIA SAUDITA		AFRICA DEL NORDE		EUROPA OCCIDENTAL		EUROPA CENTRAL		EUROPA DEL NOROCCIDENTAL	
ESTADO	PROVINCIA	ESTADO	PROVINCIA	ESTADO	PROVINCIA	ESTADO	PROVINCIA	ESTADO	PROVINCIA	ESTADO	PROVINCIA
COLO	74.72	COLO	74.72	COLO	74.72	COLO	74.72	COLO	74.72	COLO	74.72
COLO	15.18	COLO	15.18	COLO	15.18	COLO	15.18	COLO	15.18	COLO	15.18
COLO	13.72	COLO	13.72	COLO	13.72	COLO	13.72	COLO	13.72	COLO	13.72
COLO	0.01	COLO	0.01	COLO	0.01	COLO	0.01	COLO	0.01	COLO	0.01
COLO	3.18	COLO	3.18	COLO	3.18	COLO	3.18	COLO	3.18	COLO	3.18
COLO	0.73	COLO	0.73	COLO	0.73	COLO	0.73	COLO	0.73	COLO	0.73
COLO	1.05	COLO	1.05	COLO	1.05	COLO	1.05	COLO	1.05	COLO	1.05
COLO	3.78	COLO	3.78	COLO	3.78	COLO	3.78	COLO	3.78	COLO	3.78
COLO	0.59	COLO	0.59	COLO	0.59	COLO	0.59	COLO	0.59	COLO	0.59
COLO	8.88	COLO	8.88	COLO	8.88	COLO	8.88	COLO	8.88	COLO	8.88
COLO	0.09	COLO	0.09	COLO	0.09	COLO	0.09	COLO	0.09	COLO	0.09

Donde el grupo muestra el estado de las rocas del estado de Veracruz, México. poco fragmentadas del estado de Veracruz, México.

F. ELEMENTOS TRAZA EN MINERALES Y ROCAS SEDIMENTARIAS

ELEMENTOS TRAZA EN MINERALES PRIMARIOS.

ELEMENTO	MINERALES
Tl	Rutilo e limenita, inclusion de oxidos en silicatos.
Cr	Cromita, sustitucion isomorfica por Fe o Al en otros minerales del grupo de la espinela.
Ni	Inclusion de sulfuros en silicatos, sustitucion isomorfica por Fe en olivinos, piroxenos, amfiboles, micas y espinelas.
Cu	Inclusion de sulfuros en silicatos, sustitucion isomorfica por Fe y Mg en olivinos, piroxenos, amfiboles y micas; y por Ca, K y Na en feldespatos.
Zn	Inclusion de sulfuros en silicatos, sustitucion isomorfica por Fe y Mg en olivinos, piroxenos y amfiboles; y por Fe y Mn en oxidos.
Cd	Inclusion de sulfuros y sustitucion isomorfica por Cu, Zn, Hg y Pb en sulfuros.
Pb	Inclusion de sulfuros y fosfatos, sustitucion isomorfica por K en feldespatos y micas, por Ca en feldespatos, piroxenos y fosfatos y por Fe y Mn en oxidos.

Tomado de Sposito (referencia 26)

**ABUNDANCIAS DE ALGUNOS ELEMENTOS TRAZA
EN LOS PRINCIPALES TIPOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS. (PPM)**

ELEMENTO	PIZARRAS	ARENAS	CARBONATOS	IGNEAS
Cr	90	35	11	100
Ni	68	2	20	75
Cu	45	1-9	4	55
Zn	95	18	20	70
Sr	300	20	610	375
Ag	0.007	0.01-0.09	0.01-0.09	0.07
Cd	0.3	0.01-0.09	0.035	0.2
Ba	580	10-90	10	425
Pb	20	7	9	13

Tomado de Mason (referencia 33)

**ELEMENTOS TRAZA COPRECIPITADOS CON
MATERIALES SECUNDARIOS Y MATERIA ORGANICA.**

SOLIDO	ELEMENTOS TRAZA COPRECIPITADOS
Oxidos de Fe y Al	B, P, V, Mn, Ni, Cu, Zn, Mo, As, Se
Oxidos de Mn	P, Fe, Co, Ni, Zn, Mo, As, Se, Pb
Carbonatos de Ca	P, V, Mn, Fe, Co, Cd
Illite	B, V, Ni, Cu, Cr, Co, Zn, Mo, As, Se, Pb
Esmeectitas	B, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb
Vermiculitas	Ti, Mn, Fe
Materia organica	Al, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb

Tomado de Sposito (referencia 26)

8. BIBLIOGRAFIA

1. King, CAM. Beaches and coasts. Ed. Arnold. Londres. 1972. 570 pags.
2. Carranza E, A. y Caso C, M. Zonificación del perfil de playa. Geounam 1994 (2), 26-32.
3. Scoffin, Terence P. An introduction to carbonate sediments and rocks. Blackie and sons. 1989.
4. Mero, John L. The mineral resources of the sea. Elsevier Scientific Publishing Company. 1979. 312 pags.
5. Skinner, B. J. y Porter, S. C. Physical Geology. John Wiley and Sons Inc. 1987.
6. Twindale, C. R. Granite Landforms. Elsevier Scientific Publishing Company. 1982.
7. Henderson, Paul. Inorganic Geochemistry. Pergamon Press. 1982.
8. Faure, Gunter. Principles and applications of inorganic geochemistry. Macmillan Publishing Company. 1991. 626 pags.
9. Goldich, S. A. A study in rock weathering. J. Geol. (46) 1938, 17-58.
10. Nesbitt, H. W. Movility and fractionation of rare elements during weathering of a granodiorite. Nature 1979, 279 (5710), 206-210.
11. Nesbitt, H.W. y Young, G. M. Prediction of some Weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochim. Cosmochim. Acta 1984 (48):1523-1534.

12. Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz y S. Santiago-Pérez, 1994. Provenance memories and maturity of holocene sands in Northwest Mexico. Can. J. EarthSci. 31: 1550-1556.

13. Rosales-Hoz, L. y A. Carranza-Edwards, 1995. Geochemistry of two Mexican tropical basins in an active margin and their influence on littoral sediments. Journal of South American Earth Sciences, 8 (2): 221-228.

14. Harris, R. C. y Adams, J. A. S. Geochemical and mineralogical studies on the weathering of granitic rocks. Am. J. Sc. 1966 (264), 146-173.

15. Nesbitt, H. W., Markoviks, G. y Price R. C. Chemical Processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. Geochim. Cosmochim. Acta 1980 (44), 1659-1666.

16. García de Miranda, Enriqueta. Modificaciones al sistema climático de Köppen. Con adaptación particular al régimen climático de la República Mexicana. Instituto de Geografía. UNAM. 1973. 246 pags.

17. Capel Molina, José Jaime. El clima de los Estados Unidos Mexicanos. 1984.

18. López Ramos, Geología General y de México. Vols II y III. México 1982.

19. Monreal Gomez, M. A. y Salas de León, D. A. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. Monografía de la Unión Geofísica Mexicana, Oceanografía Física de México. UGM. En prensa.

20. Vidal, Victor M. V; Vidal, Francisco V. y Pérez Molero, José M. Atlas Oceanográfico del Golfo de México. Volumen I. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1988.
21. Hesse, P. R. A textbook of Soil Chemical Analysis. John Murray Publisher. 1971.
22. Santiago Pérez, Susana. Estudio químico de sedimentos de una porción de la plataforma continental de Baja California Norte, México. Tesis (1989). Facultad de Química, UNAM.
23. Linares Hernández, M. A. y Bizarro Arteaga, A. Manual de métodos analíticos para roca fosfórica. 1977.
24. Allen, S. E. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell Scientific Publications. 1989.
25. Atlas Nacional de México. Volumen II. Instituto de Geografía. UNAM. 1990.
26. Sposito, Garrison. The chemistry of the soils. Oxford University Press. 1989. 277 pags.
27. Rezak, Richard y Henry, Vernon J. Contributions on the geological and geophysical oceanography on the Gulf of México. Volumen 3. University Microfilms International.
28. Bennett, P. A. y Rothery, E. Introduction to Atomic Absorption Analysis. Varian Techtron.
29. Romesbug, C. H. Cluster analysis for researches. Lifetime Learning Publications. 1984.
30. Jae-On Kim. Factor analysis. University of Iowa.
31. Cornelis, Klein y Cornelius, Hulburt. Manual of mineralogy. John Wiley and Sons. 1985. 596 pags.

32. Blatt, Harvey; Middleton, Gerard y Murray, Raymond.
Origin of sedimentary rocks. Prentice Hall, Inc. 1980. 782
pags.

33. Mason, Brian. Principles of geochemistry. John Wiley
and sons. 1966. 329 pags.