

03065
243



Universidad Nacional Autónoma de México

Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado
del Colegio de Ciencias y Humanidades
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

PRESENCIA Y CARACTERIZACION DE HIDROCARBUROS EN
SEDIMENTOS RECIENTES DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL
DE MICHOACAN Y GUERRERO

T E S I S

Que para obtener el Grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFIA QUIMICA)

p r e s e n t a

DIEGO GUILLERMO LOPEZ VENERONI

México, D. F.

1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	14
1 INTRODUCCION	2
2 OBJETIVO	2
3 GENERALIDADES	
3.1. Definición y clasificación de hidrocarburos	3
3.1.1. Hidrocarburos alifáticos	3
3.1.2. Isoprenoides	4
3.1.3. Alifáticos resueltos no identificados	5
3.1.4. Proporciones non-par	5
3.1.5. Hidrocarburos aromáticos	6
3.2. Hidrocarburos biogénicos	6
3.3. Transformaciones de la materia orgánica en el sedimento	
3.3.1. Origen de hidrocarburos	7
3.3.2. Diagénesis	8
3.3.3. Catagénesis y metamorfismo	8
4 ZONA DE ESTUDIO	
4.1. Area muestreada	9
4.2. Geografía	9
4.3. Tectónica y sedimentología	12
4.4. Clima	12
4.5. Corrientes oceánicas	13
4.6. Circulación costera	13
4.7. Masas de agua	15
4.8. Biología	16
5 MATERIAL Y METODOS	
5.1. Introducción	17
5.2. Colecta y preservación de las muestras	17
5.3. Extracción	17
5.4. Separación	19
5.5. Identificación	19

6 RESULTADOS

6.1. Hidrocarburos totales	20
6.2. Hidrocarburos alifáticos	
6.2.1. Gravimetría	20
6.2.2. Caracterización	24
6.2.3. Alifáticos resueltos no identificados	30
6.2.4. Relaciones non:par (IPC y PNP).	30
6.3. Isoprenoides.	33
6.4. Hidrocarburos aromáticos	
6.4.1. Gravimetría	33
6.4.2. Caracterización	33
6.5. Fracción no saponificable	38

7 DISCUSION

7.1. Niveles de hidrocarburos	
7.1.1. Hidrocarburos totales	40
7.1.2. Hidrocarburos alifáticos.	42
7.1.3. Hidrocarburos aromáticos.	43
7.2. Caracterización de hidrocarburos	
7.2.1. Hidrocarburos alifáticos.	45
7.2.2. Alifáticos resueltos no identificados	50
7.2.3. Hidrocarburos aromáticos.	51
7.3. Relaciones non:par	52
7.4. Isoprenoides.	53
7.5. Fracción no saponificable	55
7.6. Indicadores de contaminación.	55
7.7. Diagénesis de hidrocarburos en la zona de estudio	58
7.7.1. Ambiente de depositación.	59
7.7.2. Cantidad y origen de la materia orgánica	60
7.7.3. Ambiente de acumulación	62
8 CONCLUSIONES	64
9 BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Situación geográfica de las estaciones	11
Tabla 2	Concentración de las fracciones de hidrocarburos (ppm) en los sedimentos de la plataforma de Guerrero y Michoacán.	21
Tabla 3	Concentración de n-alcanos (ng/g; peso seco) en sedimentos de la plataforma de Guerrero y Michoacán.	25
Tabla 4	Análisis de varianza simple de los n-alcanos en la zona de estudio	29
Tabla 5	Índice de Kováts de algunos hidrocarburos alifáticos resueltos no identificados	29
Tabla 6	Índice de preferencia de carbón en la zona de estudio y en otras regiones	31
Tabla 7	Preferencia non:par en los sedimentos de la zona de estudio (incluyendo lagunas costeras).	31
Tabla 8	Fristano y fitano (ng/g) en la zona de estudio y en otras regiones	34
Tabla 9	Tiempos de retención de los hidrocarburos aromáticos obtenidos de los cromatogramas.	34
Tabla 10	Concentración de hidrocarburos totales (ppm) en sedimentos recientes de diversas regiones	41
Tabla 11	Concentración de hidrocarburos alifáticos (ppm) en sedimentos recientes de diferentes localidades	41
Tabla 12	Concentración de hidrocarburos aromáticos en sedimentos de diversas regiones	44
Tabla 13	N-alcanos principales en algunos grupos de organismos	46
Tabla 14	Valores derivados de los cromatogramas, que pueden indicar el origen y transformaciones de los n-alcanos en los sedimentos.	49
Tabla 15	Concentración lipídica en sedimentos de diversas regiones	56
Tabla 16	Indicadores de contaminación en la zona de estudio	56

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.	Zona de estudio y disposición de las estaciones.	10
Fig. 2.	Patrón de corrientes en el Pacífico Oriental Tropical.	14
Fig. 3.	Método utilizado en la determinación de hidrocarburos en sedimentos	18
Fig. 4.	Distribución de hidrocarburos totales	22
Fig. 5.	Hidrocarburos totales por región	22
Fig. 6.	Distribución de hidrocarburos alifáticos	23
Fig. 7.	Hidrocarburos alifáticos por región.	23
Fig. 8.	Cromatogramas de los hidrocarburos alifáticos	26
Fig. 9.	Concentración (ng/g) de los n-alcanos	28
Fig. 10.	Preferencia non:par (PNP) vs. longitud de cadena de los n-alcanos de los sedimentos de la zona de estudio.	32
Fig. 11.	Distribución de hidrocarburos aromáticos	35
Fig. 12.	Hidrocarburos aromáticos por región.	35
Fig. 13.	Cromatogramas de los hidrocarburos aromáticos	36
Fig. 14.	Distribución de la fracción no saponificable	39
Fig. 15.	Fracción no saponificable por región	39
Fig. 16.	Modelo de generación de n-alcanos a partir de n-ácidos grasos	63

R E S U M E N

Se analizaron muestras de sedimentos superficiales de la plataforma continental de Guerrero y Michoacán (en el Pacífico Tropical Mexicano), con el objeto de evaluar los niveles de hidrocarburos, así como los posibles orígenes y transformaciones que sufren en la zona de estudio.

Se encontró una alta dispersión del contenido de hidrocarburos totales, alifáticos y aromáticos; sin embargo, sus valores modales se encuentran dentro de los intervalos reportados para zonas libres de contaminación. Tanto la concentración de hidrocarburos alifáticos (10-50 ppm) como de hidrocarburos aromáticos (0-30 ppm) corresponden a una región reductora con aporte continental. Además, los valores de los alifáticos son mayores que los reportados para las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano.

Dentro de los hidrocarburos alifáticos predominaron el nC_{11} , nC_{20} , y nC_{27} , cuyo origen más probable es de plantas superiores terrestres. Entre los hidrocarburos de bajo peso molecular destacaron el nC_{11} y nC_{18} , que sugieren un origen autóctono o diagenético para estos compuestos. El aporte de hidrocarburos por plancton es despreciable e indica que la materia orgánica producida por fotosíntesis llega al sedimento en forma transformada.

Entre los hidrocarburos aromáticos, se detectaron escasos compuestos, distribuidos dentro de un intervalo corto de pesos moleculares. Destacaron los hidrocarburos aromáticos policíclicos, lo que indica un origen geoquímico por reducción y condensación de la materia vegetal continental sobre la plataforma.

Los valores altos de nC_{18} (14-70 ng/g), fitano (1-16 ng/g), y algunos compuestos aromáticos (posiblemente perileno) indican que el ambiente de depositación es anóxico y predominan reacciones de reducción y aromatización. La acumulación de la materia orgánica en la plataforma del Pacífico Tropical Mexicano es factible dadas las características ambientales de la región.

1 INTRODUCCION

El uso del petróleo por el hombre contemporáneo es continuo y va en aumento (NAS, 1975). Este recurso forma parte del ciclo del carbono orgánico en los sedimentos subsuperficiales y, junto con el fijado en los sedimentos fósiles y metamórficos, constituye más del 99% del carbono orgánico total; el tiempo de residencia del carbono orgánico enterrado es del orden de millones de años, mucho mayor que las decenas de años que dura en la atmósfera, biósfera y en los sedimentos recientes (Tissot y Welte, 1978).

Las actividades de extracción, manipulación y utilización introducen al petróleo y sus derivados (como gasolina y plásticos) al ciclo corto del carbono orgánico, generando un desbalance en la atmósfera y en los ecosistemas, como es su transferencia a través de la cadena trófica (Mackie *et al.*, 1974). Debido a la alteración ecológica producida por el uso excesivo de hidrocarburos fósiles, se requiere de estudios que indiquen los niveles de estos compuestos en los ambientes naturales, para así evaluar los efectos del petróleo en la biósfera (Clark y MacLeod, 1977). Por otro lado, también es necesaria la exploración de nuevos depósitos de petróleo para poder satisfacer la demanda de energéticos y de sus productos derivados mientras se implantan alternativas a este recurso.

El Pacífico Tropical Mexicano es una región oceanográfica relativamente poco estudiada. Entre sus características distintivas destaca la zona de mínimo oxígeno, con un espesor de 1200 m, y que se extiende desde las costas mexicanas hasta varios cientos de kilómetros mar adentro (Wyrski, 1966a). Esta zona de bajo oxígeno favorece reacciones químicas poco comunes en el océano, tanto abióticas (e.g., Murray *et al.*, 1983), como biológicas (Cline y Richards, 1972). La relativamente escasa presencia y actividad antropogénica en la región hacen de esta zona un lugar ideal para estudios de los ciclos biogeoquímicos naturales.

2 OBJETIVO

El objetivo del presente estudio es proporcionar datos sobre la cantidad y tipo de hidrocarburos en los sedimentos recientes de la plataforma continental frente a los estados de Michoacán y Guerrero, en el Pacífico Tropical Mexicano. Asimismo, se intenta dilucidar los posibles orígenes y transformaciones de estos compuestos en la zona de estudio.

3 GENERALIDADES

3.1. Definición y clasificación de hidrocarburos.

Los hidrocarburos son compuestos formados primordialmente por átomos de carbono e hidrógeno. El átomo de carbono tiene una gran versatilidad para combinarse debido a su estructura electrónica, y es capaz de formar un gran número de compuestos al enlazarse en forma covalente.

De acuerdo al arreglo de sus átomos, los hidrocarburos se clasifican convencionalmente en alifáticos, alicíclicos y aromáticos (Meinschein, 1969; Clark y Brown, 1977). Los hidrocarburos alifáticos (o parafinas) consisten de cadenas lineales o ramificadas, tanto saturadas como mono- o poli-insaturadas, según el número de enlaces sencillos, dobles o triples que contengan. El gas butano, el octano de la gasolina, y la cadena fitol de la clorofila son ejemplos de hidrocarburos alifáticos. Los hidrocarburos alicíclicos (o cicloparafinas) tienen a algunos o a todos sus átomos de carbono dispuestos en anillos saturados o insaturados; en la naturaleza estos anillos están constituidos por 5 ó 6 átomos de carbono debido a que hay una menor tensión entre los enlaces que en anillos mayores o menores (Hunt, 1979). Ejemplos de cicloalcanos son el ciclohexano del petróleo y el aceite esencial limoneno. Los hidrocarburos aromáticos tienen por lo menos un anillo de benceno en su estructura el cual presenta dobles enlaces conjugados (alternantes). Debido a que los electrones no apareados de los dobles enlaces oscilan entre los átomos de carbono, la estructura de los hidrocarburos aromáticos se representa esquemáticamente con un anillo interior. Los compuestos aromáticos incluyen al benceno, tolueno (metil-benceno), y a los aromáticos policíclicos (con anillos condensados) tales como el perileno y el criseno.

3.1.1. Hidrocarburos alifáticos. Los n-alcenos son cadenas lineales de hidrocarburos; generalmente forman una fracción importante de hidrocarburos en el petróleo (Clark y Brown, 1977), pero en los organismos son constituyentes traza. Además de los alcanos propios de los organismos, también existen los derivados por reacciones de otros compuestos. Por ejemplo, una fuente probable de hidrocarburos de menos de 20 átomos de carbono en su cadena, la constituyen los ácidos grasos. Los ácidos palmítico (nC_{16}) y esteárico (nC_{18}) son comunes en los organismos, incluyendo bacterias, fitoplancton, zooplancton y plantas terrestres (Han y Calvin, 1969; Parker *et al.*, 1967; Tissot y Welte, 1978; Johnson y Calder, 1973; Swetland y Wehmiller, 1975). Los ácidos grasos mono- y poli-insaturados también son importantes y hasta predominantes en la fracción liposoluble de las plantas, como el $nC_{21,6}$ (nC_{21} con 6 dobles enlaces) en diatomeas (Blumer *et*

al., 1971), y el nC_{17} y nC_{19} en plantas de manglares (Swetland y Wehmiller, 1975). Durante la transformación primaria de la materia orgánica, los ácidos grasos parecen ser el sustrato en la formación de hidrocarburos en el sedimento, como lo demuestra Kvenvolden y Weiser (1967); la actividad microbiana tiene un papel importante en este proceso (Dembicki et al., 1976).

Los hidrocarburos de cadena larga ($>nC_{27}$) existen como tal en los organismos, principalmente en las plantas superiores (Hunt, 1979).

3.1.2. Isoprenoides. El pristano y el fitano, al igual que los carotenoides y el fitol de la clorofila, son terpenoides que se derivan estructuralmente del isopreno (2 metil-1:3 butadieno). El isopreno es el precursor de una gran variedad de moléculas vegetales y animales, incluyendo esteroides, terpenos y carotenoides (Tissot y Welte, 1978).

Debido a la semejanza estructural del pristano (2,6,10,14-tetrametil pentadecano) con el fitol y a su presencia en la fracción lipídica de ciertos crustáceos marinos, es posible que esta molécula sea el producto de la conversión de la clorofila ingerida por el zooplancton herbívoro (Blumer et al., 1964). El pristano es especialmente abundante en los copépodos y representa el 1-3% de la grasa de algunos miembros del género *Calanus* (Blumer et al., 1963; 1964); es posible que este compuesto ayude al zooplancton a mantener su flotabilidad en las aguas frías por su bajo punto de fusión, y por su incremento en los periodos de inanición, cuando los lípidos internos son utilizados (Blumer, 1965; Blumer et al., 1964). La baja reactividad de este compuesto se manifiesta en que pasa inalterado a través de la cadena trófica ya que también se encuentra en el zooplancton carnívoro, en tiburones y en ballenas (Blumer et al., 1964). En el fitoplancton, el pristano puede encontrarse en concentraciones traza; en algunas especies de rodofitas y feofitas es unas 10 a 10⁴ veces menor que el nC_{17} (Clark y Blumer, 1967). Según Han y Calvin (1969) el pristano está ausente en las algas clorofitas y cianofitas, pero es abundante en bacterias aeróbicas y anaeróbicas; en *Pseudomonas shermanii* (bacteria anaeróbica) este isoprenoide constituye casi el 50% del total de hidrocarburos por lo que es posible que las bacterias anaeróbicas no fotosintéticas sean capaces de sintetizarlo.

En cambio, el fitano (2,6,10,14-tetrametil hexadecano) no se presenta en organismos marinos y terrestres o existe en cantidades traza, por lo que este isoprenoide es considerado post-deposicional. Es posible que el fitano sea producido en ambientes reductores donde la molécula de fitol sufre una deshidratación y reducción, y la longitud de la cadena se mantiene intacta (Welte y Waples, 1973). El posible origen biológico del fitano se atribuye a bacterias aeróbicas y

anaeróbicas, aunque se presenta en cantidades menores a la del pristano (Han y Calvin, 1969). En el petróleo, el fitano y el pristano tienden a encontrarse en la misma proporción, por lo que se ha propuesto que un valor pristano/fitano cercano a la unidad puede servir como indicador de contaminación (Keizer et al., 1978).

3.1.3. Alifáticos resueltos no identificados. Además de n-alcános, la fracción alifática de hidrocarburos también consiste de una serie de compuestos de polaridad relativamente baja que eluyen con hexano en cromatografía de columna. Estos compuestos aparecen como picos resueltos en los cromatogramas, pero debido a la gran variedad de compuestos, el uso de estándares para cada uno de ellos es prácticamente imposible; sin embargo, se han desarrollado técnicas que facilitan su identificación.

El índice de retención de Kováts (IK) fue desarrollado para poder identificar compuestos resueltos en un cromatograma (Etre, 1964). El IK expresa el tiempo de retención neto de un compuesto en una escala logarítmica debido a que los logaritmos de los tiempos de retención de los n-alcános aumentan linealmente con la longitud de la cadena. Para un compuesto resuelto desconocido (X), el IK se calcula según la ecuación:

$$IK = 100 (\log V_x - \log V_{(nC_{z+1})}) / (\log V_{(nC_{z+1})} - \log V_{(nC_z)})^{-1} + 100z$$

donde V: tiempo de retención neto; y
nCz y nC-z+1: n-alcános con z y z+1 carbonos.

De acuerdo con esta fórmula, todos los hidrocarburos se presentan en una determinada posición en los cromatogramas, independientemente del equipo cromatográfico y de las condiciones utilizadas. Así, el nC₁₁ equivale a un IK de 1800, en cualquier cromatograma en que aparezca. Por otro lado, las moléculas que eluyan después del nC₂₁, por ejemplo, presentarán un IK entre 2100 y 2200. Si se conoce el IK de un tipo de hidrocarburo específico, es posible identificarlo por este método; asimismo, el IK de un compuesto puede dar una idea de su estructura.

3.1.4. Proporciones non-par. El índice de preferencia de carbón (IPC) es la razón entre los n-alcános con un número non de carbonos y los n-alcános pares dentro de un intervalo dado (Bray y Evans, 1961). Su valor varía en ambientes naturales desde menos de 1.0 hasta más de 10. La preferencia non-par (PNP; Scalan y Smith, 1970) mide la proporción de los alcános nones sobre los pares alrededor de cinco moléculas consecutivas. A diferencia del IPC, que toma en cuenta a 11 moléculas sucesivas (e.g. nC₂₄ a nC₃₄) y que es sensitivo a la tendencia general de la muestra, la PNP es un promedio

desplazable centrado alrededor de 2 átomos de carbón que sirve para observar máximos y mínimos locales.

La utilidad de estas proporciones es que ayuda a determinar el origen de los hidrocarburos alifáticos de una muestra, ya que por lo general los n-alcanos de origen biológico están dominados por cadenas con un número de carbonos non mientras que en el petróleo esta proporción tiende a la unidad.

3.1.5. Hidrocarburos aromáticos. En altas concentraciones, los compuestos aromáticos son tóxicos para los organismos (Hase y Hites, 1976). Sin embargo, existen microorganismos y vertebrados capaces de metabolizar algunos compuestos aromáticos a productos intermedios (e.g., alcoholes, ácidos, aldehídos; Hase y Hites, 1976), moléculas policíclicas, o hasta CO_2 y H_2O (Gibson, 1975). Es por esto que la presencia de aromáticos en un ambiente natural no indica necesariamente contaminación. En los sedimentos recientes libres de contaminación los aromáticos tienen una baja concentración y poca diversidad de compuestos; en cambio, el petróleo crudo y los sedimentos antiguos contienen una gran variedad de hidrocarburos mono, di, tri y poliaromáticos (Philippi, 1965; Tissot y Welte, 1978).

En sedimentos costeros no contaminados con ambientes de depositación variables se han detectado hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), que son moléculas con cuatro o más anillos aromáticos condensados. Blumer y Youngblood (1975) proponen un origen pirolítico de HAPs a temperaturas intermedias (i.e. incendios naturales) aunado con un transporte eólico; este origen común, sin embargo, ha sido cuestionado por algunos autores debido a la omnipresencia de HAPs aún en sedimentos alejados de las masas terrestres (Overton y Laseter, 1978). Meinschein (1969) sugiere un origen diagnóstico para estos hidrocarburos, ya que los HAPs no alquilados predominan en los sedimentos recientes y se derivan de compuestos biológicos (como esteroides e isoprenoides) sintetizados por la acción de microorganismos anaeróbicos; los HAPs alquil-sustituídos, en cambio, predominan en sedimentos antiguos y en el petróleo, y son producidos por reacciones abióticas y redistribución física. El HAP perileno en los sedimentos aparece con n-alcanos en el intervalo nC_{10} a nC_{11} , por lo que Aizenshtat (1973) sugiere un origen por pigmentos precursores terrestres y un transporte eólico, depositados en un ambiente de sedimentación rápido.

3.2. Hidrocarburos biogénicos.

Los principales organismos productores de materia orgánica en la naturaleza son el fitoplancton, bacterias, zooplancton y las plantas terrestres (Tissot y Welte, 1978). En todos estos grupos se han detectado hidrocarburos, aunque

en concentraciones relativamente bajas, del orden de 0.1 a 10 ppm (Clark y MacLeod, 1977). Estos compuestos se encuentran en la fracción lipídica de sus estructuras y cumplen diversas funciones. En el plancton los hidrocarburos ayudan en la flotabilidad y regulan la transferencia de sustancias hidrosolubles; en las plantas terrestres una de sus funciones es el evitar la transpiración y la pérdida de agua (Hunt, 1979).

A diferencia de las proteínas y los carbohidratos, los hidrocarburos de los organismos son relativamente inertes y se depositan como tal en los sedimentos; es por esto que algunos autores los consideran fósiles biológicos (e.g., Blumer, 1965; Clark y Blumer, 1967). Otras moléculas orgánicas son precursoras de hidrocarburos alifáticos y aromáticos, tales como ácidos grasos, alcoholes, el fitol y los carotenoides, los terpenos y sus esteroides relacionados, y la lignina y taninos de las plantas superiores (Meinschein, 1969; Tissot y Welte, 1978; Hunt, 1979).

De acuerdo a Clark y Brown (1977) los hidrocarburos de origen biogénico se diferencian de los hidrocarburos fósiles en que los primeros están constituidos por un intervalo menor de estructuras y pesos moleculares; en ellos predominan unas cuantas series homólogas de hidrocarburos; los hidrocarburos unidos con azufre, nitrógeno y oxígeno están ausentes; las olefinas son comunes; sus isoprenoides se limitan a 19 y 20 átomos de carbono; hay una marcada preferencia por los n-alcanos de cadena non; y carecen de hidrocarburos aromáticos y poliaromáticos.

3.3. Transformación de la materia orgánica en el sedimento.

3.3.1. Origen de hidrocarburos. Aún cuando los hidrocarburos de origen biológico difieren cualitativamente de los hidrocarburos del petróleo, se acepta que el origen del petróleo es la materia orgánica terrestre y marina depositada en los sedimentos y transformada durante el tiempo geológico (Yen, 1975). Las evidencias básicas del origen biótico del petróleo son, según Eisma y Jurq (1969): la presencia de actividad óptica (desviación en un solo plano de la luz polarizada) tanto en las moléculas fósiles y biológicas, una proporción de carbono isotópico similar (aunque no igual), y la similitud de la estructura química de algunos compuestos del petróleo y de los organismos (e.g., colestano y colesterol).

Sin embargo, la generación de los hidrocarburos fósiles a partir de los organismos es indirecta, ya que primeramente hay una degradación de los compuestos a monómeros, y posteriormente éstos se reacomodan para formar geopolímeros (Hunt, 1979).

3.3.2. Diagénesis. La materia orgánica de los organismos muertos sufre transformaciones al momento de depositarse debido a los procesos de diagénesis que ocurren en el sedimento (Yen, 1975; Nissembaum et al., 1972; Simoneit, 1977). Durante la diagénesis hay una alteración biológica, química y física de la materia orgánica, desde la superficie del sedimento hasta una profundidad subsuperficial que alcanza una temperatura de 50°C.

Aizenshtat et al. (1973) indican que la diagénesis de la materia orgánica depende del ambiente de depositación, del origen de la materia orgánica, del ambiente de acumulación, de los mecanismos de alteración, y de la alteración de la materia durante la litificación del sedimento. Una depositación lenta de la materia orgánica y un ambiente de alta energía u oxigenado favorecen la destrucción de la materia orgánica; esto ocurre, por ejemplo, en las cuencas oceánicas y en las zonas costeras dinámicas (Hunt, 1979). En estos ambientes hay una mayor proporción de microorganismos que materia orgánica depositada, y la degradación completa de ésta genera gases y monómeros a partir de los biopolímeros originales (Yen, 1975). En cambio, en regiones anaeróbicas y con una tasa de sedimentación alta, la materia orgánica se conserva y sufre otras alteraciones (Brown et al., 1972; Yen, 1975); en mares interiores, cuencas con umbral (Brown et al., 1972), y marismas (Swetland y Wehmiller, 1975) hay una mayor tendencia a la preservación de la materia orgánica. Según Hunt (1979) las zonas costeras con una elevada producción biológica y con una capa de mínimo oxígeno tienen una alta cantidad de materia orgánica en los sedimentos.

Las primeras reacciones de transformación de la materia orgánica son biológicas catalizadas por sistemas enzimáticos (Yen, 1975; Hunt, 1979) o abióticas catalizadas por arcillas y carbonatos (Blumer y Snyder, 1965; Shimoyama y Johns, 1973), e incluyen reacciones de descarboxilación, reducción, dimerización, deshidrogenación y transalquilación, entre otras (Hunt, 1979). Algunos compuestos del petróleo se forman durante esta etapa, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Wakeham, 1976), y algunos alcanos de bajo peso molecular (Simoneit et al., 1979).

3.3.3. Catagénesis y metamorfismo. Durante la catagénesis, la materia orgánica es alterada térmicamente y se genera la mayor cantidad de petróleo (Tissot y Welte, 1978; Hunt, 1979). Hunt (1979) considera que alrededor del 9% de los hidrocarburos del petróleo se derivan directamente de los organismos; el 91% restante es el producto de la alteración térmica de otros compuestos biológicos. El intervalo térmico para este proceso es de 50-200°C; de acuerdo a Philippi (1965), la temperatura de máxima generación de petróleo es de 150°C.

Durante el metamorfismo (>200°C), el efecto combinado de

una alta temperatura y presión transforma la materia orgánica en gases y grafito (Tissot y Welte, 1978). Cuando la temperatura del sedimento es mayor de 250°C, se dejan de generar hidrocarburos a partir de la materia orgánica, y los compuestos ligeros se transforman en metano, mientras que los pesados se convierten en grafito (Hunt, 1979).

4 ZONA DE ESTUDIO

4.1. Area de estudio.

Las estaciones muestreadas a bordo del B/c Puma de la UNAM durante el crucero DAMA-1 (junio de 1981) se localizan sobre la plataforma continental de Michoacán y Guerrero (Fig. 1), entre los 18°21'N, 103°31'W, y 16°15'N, 98°37'W, la línea de costa, y el talud continental. En la Tabla 1 se muestra la situación geográfica de las 37 estaciones de muestreo. Las estaciones están distribuidas entre los 30 y 100 m de profundidad en grupos de 3 a 6, frente a bahías, lagunas y ríos de la zona, y cada grupo está separado por una distancia que oscila entre las 30 y 60 millas. La región I se encuentra frente a Punta Tejúpan y la II frente a Caleta de Campos, en Michoacán; la III se distribuye entre la desembocadura del Río Balsas y Bahía Petacalco (Gro.); la IV se localiza frente a las bahías de Zihuatanejo y Petatlán; la región V se encuentra entre Morro de Papanoa y Laguna Nuxco; la VI frente al Río Coyuca y Laguna Coyuca; la VII a lo largo de la Laguna Chautengo; y la región VIII se dispone entre el Río Ometepec y Punta Maldonado, en el sur de Guerrero.

4.2. Geografía.

La llanura costera de Michoacán y Guerrero forma parte de la vertiente de la Sierra Madre del Sur, que se extiende desde Cabo Corrientes hasta el Istmo de Tehuantepec (García y Falcón, 1972). La proximidad de la sierra a la línea de costa hace que la llanura sea angosta, y en algunos lugares las laderas descienden directamente al mar; la anchura promedio de la plataforma continental es de 12 km frente a Guerrero (Gallegos et al., 1984). La pendiente de la plataforma es de 0°15' - 0°30', mientras que la del talud oscila entre 3° y 10° (Márquez y Morales, 1984).

La mayoría de los ríos de ambos estados se originan en la Sierra Madre del Sur, y por lo tanto tienen una corta extensión. Destaca el Río Balsas que es limitrofe entre ambos estados, y que tiene un aporte considerable (12 x 10⁶ m³/año; García y Falcón, 1972). Lankford (1977) indica que la región tiene una costa de alto relieve; con ríos estacionales

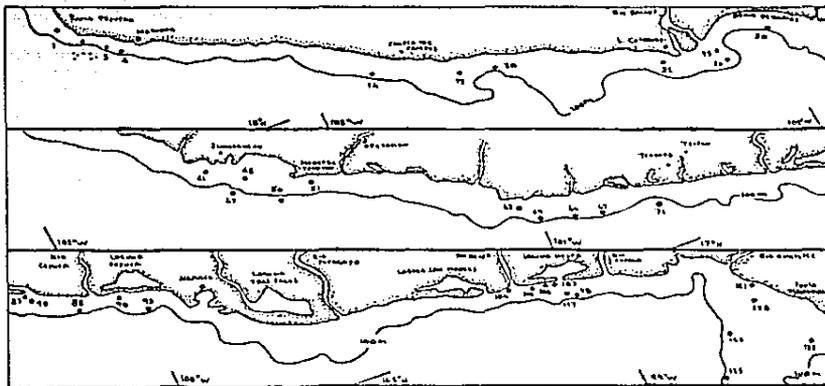
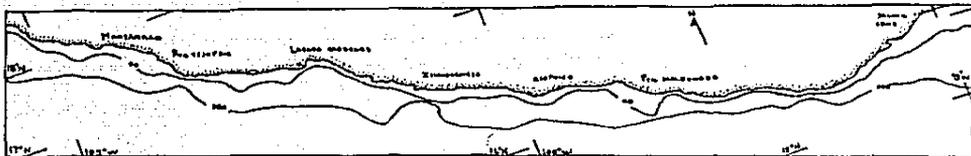


FIG. 1. ZONA DE ESTUDIO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES.

TABLA 1. SITUACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES.

Estación	Lat (N)	Long (W)	Estación	Lat (N)	Long(W)
01	18°21.1'	103°31.1'	67	17°07.8'	100°50.9'
02	18°18.1'	103°27.7'	71	17°05.6'	100°44.0'
03	18°16.1'	103°25.6'	83	16°59.0'	100°15.0'
04	18°15.9'	103°24.5'	88	16°53.1'	100°08.0'
14	18°03.5'	102°51.9'	90	16°55.3'	100°03.2'
17	18°00.8'	102°40.8'	93	16°50.9'	100°00.1'
20	17°59.9'	102°35.2'	95	16°58.0'	100°14.4'
25	17°53.6'	102°04.8'	104	16°37.2'	99°12.8'
26	17°53.3'	102°04.6'	106	16°34.7'	99°07.4'
30	17°55.4'	101°58.7'	107	16°35.8'	99°06.8'
32	17°54.7'	102°12.8'	117	16°32.9'	99°05.3'
41	17°38.4'	101°37.1'	118	16°32.2'	99°04.7'
47	17°33.6'	101°35.1'	119	16°36.3'	99°09.8'
48	17°33.9'	101°32.2'	121	16°25.7'	98°41.4'
50	17°28.9'	101°29.5'	122	16°19.9'	98°46.2'
51	17°30.0'	101°24.9'	123	16°14.5'	98°49.1'
63	17°13.6'	101°00.9'	128	16°23.0'	98°41.8'
64	17°11.0'	100°59.5'	132	16°14.7'	98°37.0'
66	17°09.3'	100°54.8'			

de poco volumen y poca superficie de drenaje; y una alta energía de oleaje y marea.

A lo largo de la costa se presentan lagunas costeras, tanto cerradas como semicerradas estacionalmente. La Laguna Tecamate, por ejemplo, se abre entre diciembre y enero, y la Laguna Mitla está cerrada permanentemente e intercambia con el mar por filtraciones de la barrera (Mandelli y Botello, 1976). Lankford concluye que el carácter permanente o estacional de la barrera es función del tamaño de la laguna y del aporte continental.

Las concentraciones urbanas de la llanura costera son escasas y pequeñas, a excepción de los puertos turísticos de Acapulco e Ixtapa-Zihuatanejo en Guerrero, y el puerto de altura Lázaro Cárdenas en Michoacán. En ambos estados hay comunidades pequeñas dedicadas a la pesca y la agricultura.

4.3. Tectónica y sedimentología.

De acuerdo a Márquez y Morales (1984), los sedimentos superficiales de la plataforma de Guerrero tienden a formar franjas paralelas con respecto a la línea de costa y el tamaño del grano disminuye con la distancia del margen continental, desde arenas cerca de la costa, hasta lodos frente al talud. Las arenas se encuentran a una profundidad menor de 30 m y los lodos comienzan a partir de los 100 m de profundidad; este patrón se interrumpe en los cañones submarinos de la región y en otros puntos localizados. Según estos autores, los factores de distribución del sedimento son el oleaje que influye sobre las arenas, las corrientes superficiales que distribuyen arenas finas y lodos, y las corrientes de fondo que transportan y ponen en suspensión los finos y los acarrearán hacia el talud. Los ríos son la principal fuente de aporte de sedimentos gruesos (arenas y gravas) mientras que los finos son aportados por algunos ríos y lagunas costeras.

Tectónicamente, las costas de Michoacán y Guerrero son de colisión continental; de acuerdo al criterio geomorfológico y genético son costas primarias producidas por diastrofismo, aunque también presentan costas secundarias de depositación marina (Carranza et al., 1975).

4.4. Clima.

García y Falcón (1972) clasifican el clima de la llanura costera de Michoacán y Guerrero como cálido subhúmedo (Aw) con lluvias en el verano (mayo a octubre; 1000-1500 mm), y una temporada invernal seca. El clima de la ladera costera de la sierra, en cambio, es templado subhúmedo (Cw) con lluvias en el verano.

Los vientos dominantes soplan del SW durante el verano y

aportan una gran cantidad de humedad para las lluvias (Love, 1972); durante otoño e invierno dominan los vientos del E (García y Falcón (1972).

4.5. Corrientes oceánicas.

De acuerdo a Wyrтки (1966a, 1967) la circulación del agua en el Pacífico Oriental Tropical (POT) está gobernada por las partes oriental y ecuatorial de los giros anticiclónicos del Océano Pacífico: las corrientes de California y Norecuatorial en el Pacífico Norte, y de Perú y Surecuatorial en el Sur. Entre los dos giros se desarrolla la Contracorriente Ecuatorial con dirección E en ciertas épocas del año. Estas corrientes oceánicas superficiales varían en intensidad y posición durante el año; Wyrтки (1966a) propone que son función de los patrones de vientos prevalentes en la zona y de la posición de la Convergencia Intertropical (CIT) entre los vientos del NW y SW.

Cuando la CIT se encuentra en su posición más al norte (15°N; agosto a diciembre), la Corriente Norecuatorial es fuerte y se alimenta de las corrientes de California y Costera de Costa Rica; las corrientes Ecuatorial y Surecuatorial están bien desarrolladas y al norte del ecuador. Entre febrero y abril la CIT se sitúa en 3°N por lo que la Contracorriente Ecuatorial desaparece y la Surecuatorial se debilita, al tiempo que la Corriente de California se intensifica. Cuando la CIT sube a 10°N (mayo a julio) se desarrolla la Contracorriente Ecuatorial; la Corriente de California aún es fuerte pero se debilita entre julio y agosto, y la Norecuatorial recibe su mayor aporte del Pacífico Tropical (Wyrтки, 1966b). En la Fig. 2 se resume el patrón de corrientes.

4.6. Circulación costera.

Según Wyrтки (1966a, 1967) la circulación costera en el POT es variable y complicada ya que las corrientes oceánicas no fluyen cerca de la costa debido a la configuración del continente. Esta variabilidad se presenta a lo largo de la costa mexicana, entre Cabo Corrientes (20°N) y el Golfo de Tehuantepec (15°N), pero las corrientes tienden a fluctuar con el viento (Sria. de Marina, 1974). Sin embargo, el comportamiento más usual de las corrientes cerca de la costa es el siguiente:

Entre febrero y abril la corriente costera tiene una dirección hacia el SE; de mayo a julio el flujo costero es hacia el NW debido a la intensificación de la Corriente Costera de Costa Rica (Wyrтки, 1966b). Según Cromwell y Bennett (1959) el flujo costero es al NW con un máximo desarrollo en julio; los diagramas de aceleración potencial a 75-200 m de Love (1972) indican un flujo costero al NW en

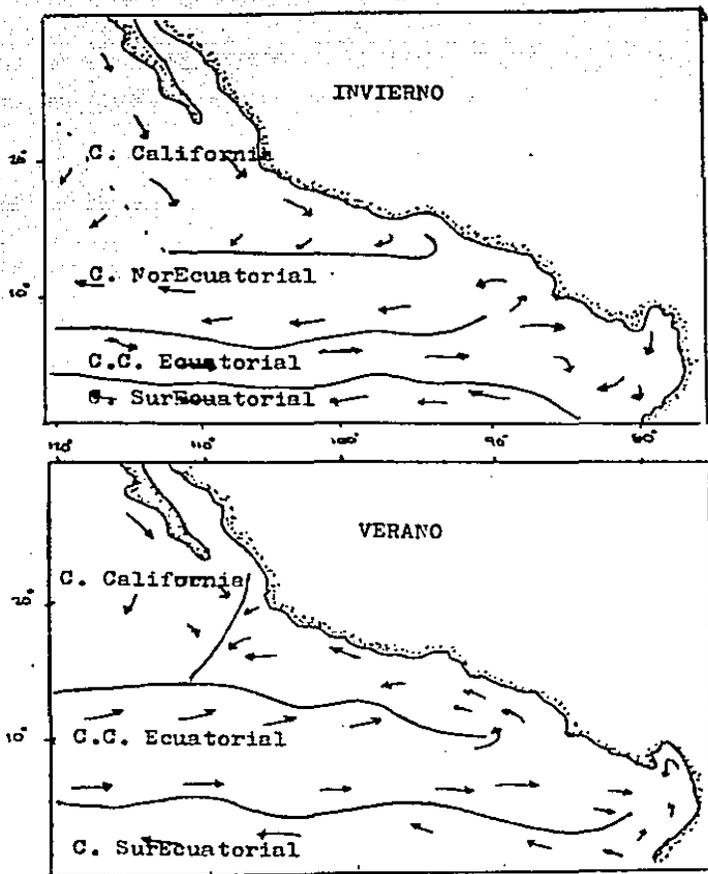


Fig. 2. PATRON DE CORRIENTES EN EL PACIFICO ORIENTAL TROPICAL (SEGUN CROMWELL Y BENNETT, 1959).

agosto y septiembre. Aparentemente, el flujo costero del POT responde a la posición de la CIT y se dirige al NW cuando la convergencia está más al norte, y al SE cuando la CIT disminuye de latitud.

4.7. Masas de agua.

Entre los 20° y 15°N predomina la Masa Tropical Superficial (>25°C, <34 o/oo) que sufre poca variación anual en sus propiedades (Wyrтки, 1966b, 1967). Entre los 20°N y 18°N esta masa superficial limita con la Masa de la Corriente de California, aunque no forman un frente oceánico notable (Wyrтки, 1967). Ocasionalmente, una masa de agua menos salada y más caliente (originada cerca de la costa entre los 15°N y 0°N) invade la región durante el evento oceánico conocido como El Niño-Oscilación del Sur (Gallegos et al., 1984).

Debido a que el espesor de la masa tropical es de solamente 20-50 m, y a los movimientos ascendentes de las aguas (Wyrтки, 1967), la termoclina en la región está bien desarrollada a lo largo del año con una razón de cambio de 0.17°C/m. Wyrтки (1966b) indica que la termoclina somera aumenta de profundidad promedio desde 40 m en el Golfo de Tehuantepec, a 70 m en Cabo Corrientes.

Dentro de la termoclina hay un máximo salino a los 50-150 m de profundidad (12-14°C), que caracteriza a la Masa Subtropical Subsuperficial (Wyrтки, 1967). Esta masa se origina en el Pacífico Sur, es mezclada por la Corriente Ecuatorial Subsuperficial, y es aportada lentamente al POT; Wyrтки (1967) calcula un tiempo de residencia de 10 años para esta masa de agua.

Una característica distintiva del POT es su capa de mínimo oxígeno, con valores menores de 1 ml/l (<100 ug-át-O₂/l; cercanos al límite de detección), que se extiende entre los 20°N y 9°N en el Hemisferio Norte. Frente a las costas mexicanas alcanza un espesor de 1200 m, y su valor mínimo (0.25 ml/l) se presenta entre los 300 y 500 m de profundidad (Wyrтки, 1967; Devol et al., 1976). Wyrтки (1967) sugiere que se desarrolla cerca de la costa del continente americano, donde la circulación oceánica no alcanza a penetrar; es posible que el bajo contenido de oxígeno se deba al largo tiempo de residencia de la masa de agua y a la utilización de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica producida en la capa fótica sobreyacente (Malone, 1971). Frente a Guerrero, Gallegos et al. (1984) detectaron el límite superior de la capa de mínimo oxígeno a 35-55 m de la superficie, en condiciones normales; en condiciones de El Niño, el límite superior se hundió a más de 100 m.

La capa de mínimo oxígeno del POT favorece reacciones químicas no comunes en otras aguas oceánicas, como la reducción del manganeso que genera un máximo de este metal disuelto dentro de la capa, y que se incrementa cerca del

margen continental (Murray et al., 1983). La desnitrificación es la reacción bioquímica predominante en el POT; por lo tanto el potencial de óxido-reducción (pE) de esta capa oscila entre +6.6 y +4.5, y refleja la baja tendencia a reacciones de oxidación; sin embargo, el pE del medio no es tan negativo como para favorecer la producción de metano o ácido sulfhídrico (Cline y Richards, 1972).

El límite inferior de la capa de mínimo oxígeno incluye a la Masa Antártica Intermedia cuyo núcleo se encuentra entre 600-800 m de profundidad (5°C, <34.5 o/oo), y se origina en latitudes altas por enfriamiento y hundimiento (Wyrski, 1967). La Masa Profunda del Pacífico se encuentra entre los 2000 y 4000 m, y circula de norte a sur; por debajo de ésta, se presenta la Masa del Fondo del Pacífico, originada en el Océano Antártico.

4.8. Biología.

La productividad fitoplanctónica en el POT es del orden de 73 a 256 gC/m²-año, similar a la productividad anual en las Bermudas (Owen y Zeitzschel, 1970); a nivel mundial, estos valores son considerados intermedios. Según Malone (1971), la mayor producción se realiza por el nanoplancton (<2µm) tanto en la zona nerítica como en la oceánica; la producción por el microplancton es menor aunque aumenta en la región nerítica debido a una disminución en la presión por pastoreo y a un aumento en su tasa de crecimiento. La máxima productividad ocurre en la primavera, y tiende a variar con la longitud y la época del año (Owen y Zeitzschel, 1970). De acuerdo a Blackburn et al. (1970), la clorofila a (0.1-0.3 mg/m³) varía geográfica y estacionalmente, con un máximo en el verano y un aumento hacia el E y S.

Los organismos más abundantes del zooplancton son los copépodos (50-70% del total), seguidos por quetognatos y eufásidos (Blackburn et al., 1970; Longhurst, 1976). Longhurst (1976) reporta concentraciones de zooplancton entre 1 y 1000 mg/m³ (peso seco), y un máximo en la capa de máxima producción vegetal. Sus datos indican que las condiciones ambientales del POT favorecen la estratificación zooplanctónica en la columna de agua.

5 MATERIAL Y METODO

5.1 Introducción.

La cuantificación e identificación, de hidrocarburos se basa en cuatro pasos generales (Clark y Brown, 1977): recolección y preservación de la muestra; extracción de la materia orgánica a partir de la matriz inorgánica del sedimento, organismos o agua; separación de los hidrocarburos a partir de su matriz orgánica (lípidos); e identificación y cuantificación de los hidrocarburos.

El método utilizado en el procesamiento de las muestras fue tomado de Botello y Macko (1980), y se resume en la Fig. 3.

5.2. Colecta y preservación de las muestras.

Las muestras de sedimento se colectaron con una draga van Veen; esta draga colecta muestras de sedimento superficial y la pérdida por lavado durante su recuperación es mínima a las profundidades de colecta del estudio (ca. 100 m). Del total de la muestra se colectaron 500 g de sedimento, se almacenaron en recipientes de vidrio lavados y enjuagados con acetona, y se congelaron hasta el momento de su análisis, ocho meses después.

5.3. Extracción.

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Química Marina y Contaminación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM). Las muestras se descongelaron a temperatura ambiente ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) y se secaron 200 g de sedimento a 60°C en una estufa durante 24 h. El sedimento seco se maceró en un mortero hasta obtener un polvo fino, y se tamizó en malla fina (1/256 mm). Se pesaron 75 g de este polvo, y se reflujo con 150 ml de metanol en un aparato Soxhlet durante 6 h. La solución se decantó, y el sedimento se volvió a reflujo con 50 ml de benceno durante 6 hs. Las fracciones solubles en metanol y benceno se mezclaron y los solventes se removieron por rotoevaporación (a 60°C y 700 mm Hg). La mezcla se saponificó con 100 ml de potasa en metanol al 20%, en un embudo de separación. Los compuestos no saponificables se separaron de la mezcla por extracción con 100 ml de hexano, y luego con 100 ml de benceno. Ambas fracciones se mezclaron y los solventes se separaron por rotoevaporación hasta un volumen aproximado de 5 ml. Se continuó evaporando a sequedad total en un vial sobre una estufa a 60°C . Esta fracción se pesó analíticamente, e incluye a los hidrocarburos más la fracción lipóide no saponificable.

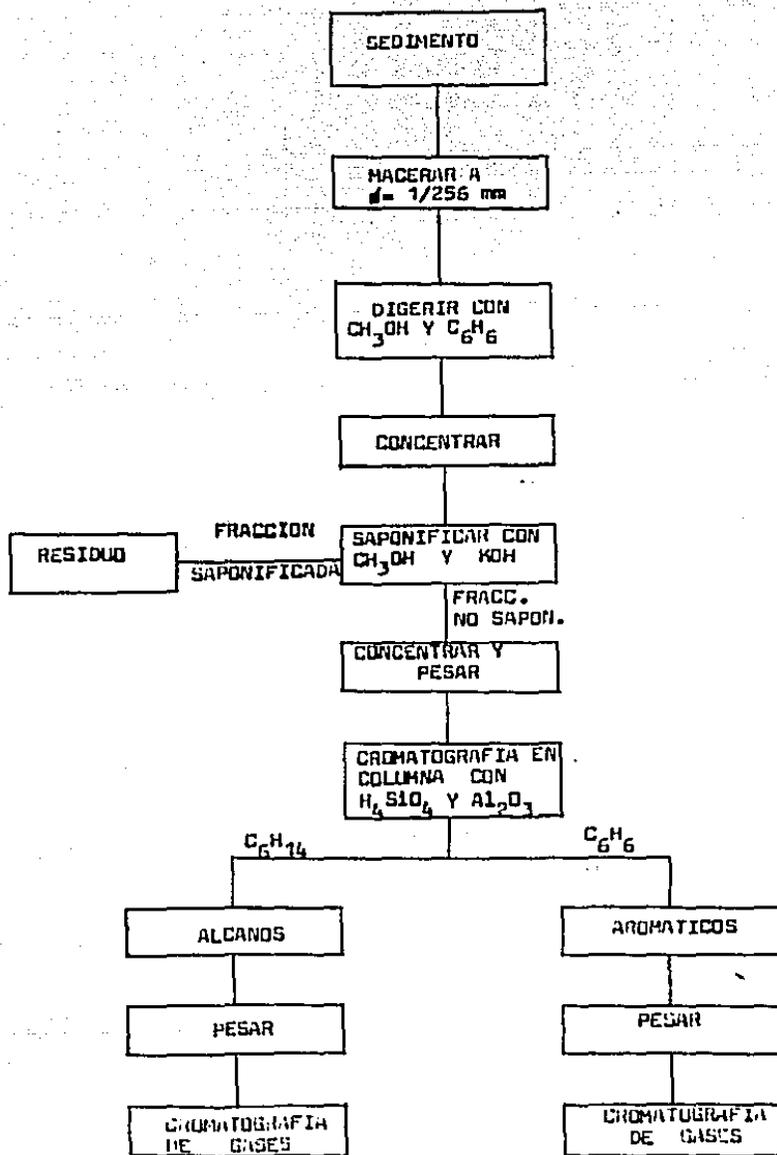


FIG. 3. METODO UTILIZADO EN LA DETERMINACION DE HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS (TOMADO DE BOELLO Y MACKO, 1980).

5.4. Separación.

La separación de las fracciones alifática y aromática se realizó por cromatografía en columna. El extracto seco se disolvió en metanol, y la solución se eluyó en una columna de 30 cm de largo y 1 cm de diámetro interno, empacada con sílica gel y alúmina activadas, en proporción de 4:1. La alúmina retiene los compuestos polares de alto peso molecular, y la sílica gel fracciona los hidrocarburos alifáticos y aromáticos. La columna se eluyó con 25 ml del hexano y se colectaron los últimos 15 ml; luego se añadió 25 ml de benceno y se colectaron los últimos 15 ml por separado. Los hidrocarburos recuperados con el hexano se consideran aquí como la fracción alifática, y los obtenidos con benceno como la fracción aromática. Cada fracción fue evaporada a sequedad total en viales, y se pesaron analíticamente para obtener el peso de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos.

5.5. Identificación.

Las muestras se analizaron en un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 4840 equipado con detector de ionización de flama. Se utilizó una columna de sílica gel fundida, de 25 m de largo y 2 mm de diámetro exterior, empacada con OV-101. La temperatura del horno se programó de 60°C a 260°C con un incremento de 6°C/min. El gas acarreador fue nitrógeno con un flujo de 1 ml/min. La velocidad del papel graficador fue de 1.0 cm/min. Los cromatogramas de las muestras se compararon con cromatogramas de estándares auténticos de n-alcános, algunos alquenos monoinsaturados, pristano y fitano, para la fracción alifática; y compuestos aromáticos monocíclicos, dicíclicos y policíclicos, para la fracción aromática.

6 RESULTADOS

6.1 Hidrocarburos totales.

En la Tabla 2 se muestra la concentración de hidrocarburos totales y de las fracciones de hidrocarburos en los sedimentos superficiales de la zona de estudio.

El intervalo de concentración de los hidrocarburos totales fue de 9.3 a 298.6 ppm (base seca), con un promedio aritmético de 45.5 ppm; las muestras analizadas presentaron una alta dispersión de los datos (desviación estándar= 50.9 ppm). Como un primer intento de análisis, las concentraciones se agruparon en un histograma de frecuencias con intervalos de 10 ppm (Fig. 4). El 46% de los datos quedó incluido dentro del intervalo de 20-40 ppm, y el 78% estuvo entre los 10 y 50 ppm. En cambio, solamente el 7.5% de los hidrocarburos totales tuvieron 50-80 ppm, y el 10% presentó más de 80 ppm. La distribución de frecuencias forma una curva asimétrica positiva, que indica que la mayoría de los valores fueron bajos. Por otro lado, se efectuó un análisis de chi-cuadrada con el fin de contrastar la hipótesis de diferencia del promedio con los datos obtenidos. El resultado del análisis de chi-cuadrada hace dudar de la validez de una concentración promedio de hidrocarburos totales en los sedimentos de la plataforma de Michoacán y Guerrero ($p < 0.05$).

Los resultados dentro de cada región muestreada se promediaron para observar las posibles diferencias en los valores de hidrocarburos totales que pudieran existir. Regionalmente, las concentraciones promedio menores a 30 ppm se encontraron frente al Río Balsas (región III), Bahía de Zihuatanejo (IV), y Laguna Coyuca (VI). En cambio, los promedios más altos se observaron frente a Laguna Nuxco (región V con 110 ppm), y Caleta de Campos (III; 74 ppm). Frente a Punta Tejupán (región I), Laguna Chautengo (VII) y Río Ometepec (VIII) se presentaron hidrocarburos totales que oscilaron alrededor de 35 ppm (Fig. 5).

6.2. Hidrocarburos alifáticos.

6.2.1. Gravimetría. La concentración de hidrocarburos alifáticos en la zona de estudio se encuentra dentro del intervalo de 1.3 a 61.3 ppm, con un promedio de 12.0 ppm (d.e.=12.0 ppm). En un histograma de frecuencias (Fig. 6), se observa que el 46% de las muestras se encontraron dentro del intervalo de 10-20 ppm, el 95% del total de los datos cayó entre 0 y 30 ppm, y solamente el 5% de las muestras tuvo más de 50 ppm.

Regionalmente, los valores promedio se encontraron entre los 10.7 y 30.2 ppm de hidrocarburos alifáticos (Fig. 7). Las concentraciones promedio más bajas se detectaron frente al Río Balsas (región III), Laguna de Coyuca (VI), y frente a

TABLA 2. CONCENTRACION DE LAS FRACCIONES DE HIDROCARBUOS
(ppm) EN LOS SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA DE
GUERRERO Y MICHOACAN

Estación	H. totales	H. alifáticos	H. aromáticos	FNS ¹
01	30.7	21.3	9.3	69.3
02	33.3	14.7	18.7	3600.0
03	46.7	24.0	22.7	3101.3
04	26.7	21.3	5.3	201.3
14	53.3	17.2	36.0	1281.1
17	85.3	12.0	73.3	354.7
20	84.0	61.3	22.7	282.7
25	13.3	9.3	4.0	248.0
26	38.7	14.7	24.0	1090.7
30	42.7	12.0	30.7	446.7
32	10.7	6.7	4.0	408.0
41	13.0	8.0	5.0	1338.7
47	32.0	20.0	12.0	650.7
48	26.7	20.0	6.7	433.3
50	21.7	20.0	1.3	686.7
51	26.7	18.7	8.0	1722.7
63	9.3	1.3	8.0	925.3
64	66.8	17.4	49.4	930.7
66	41.3	16.0	25.3	936.0
67	298.6	26.1	272.5	1328.1
71	156.9	59.6	97.3	748.2
83	13.3	8.0	5.3	873.3
88	30.0	15.7	14.3	1371.4
90	46.7	24.0	22.7	3030.9
93	12.0	8.0	4.0	1372.0
95	26.7	9.4	17.4	167.0
104	34.7	16.0	18.7	362.7
106	36.0	21.3	14.7	112.0
107	44.0	2.7	41.3	94.7
117	34.7	8.0	26.7	200.0
118	44.0	16.0	28.0	324.0
119	29.3	22.7	6.7	508.0
121	21.3	14.7	6.7	38.7
122	14.7	13.3	1.3	456.0
123	74.7	24.0	50.7	188.0
128	30.7	22.7	8.0	56.0
132	30.7	17.3	13.3	384.0

¹Fracción no saponificable

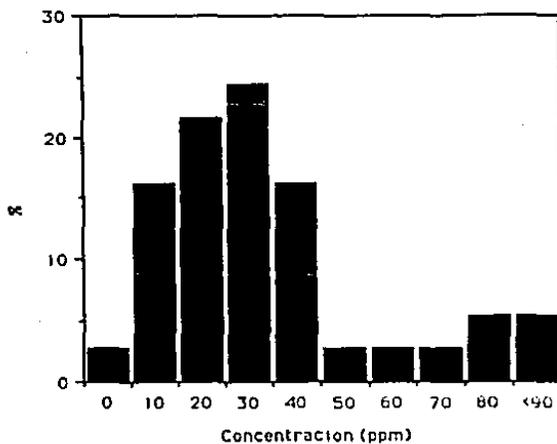


Fig. 4. Distribucion de hidrocarburos totales.

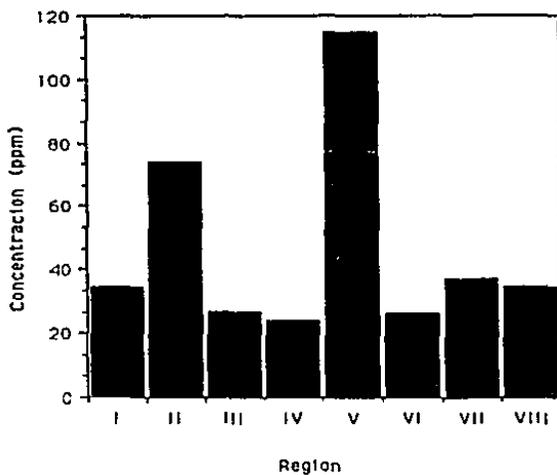


Fig. 5. Hidrocarburos totales por region

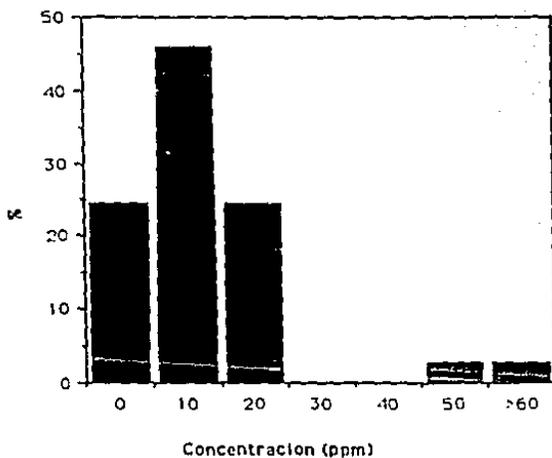


Fig. 6. Distribucion de hidrocarburos alifaticos.

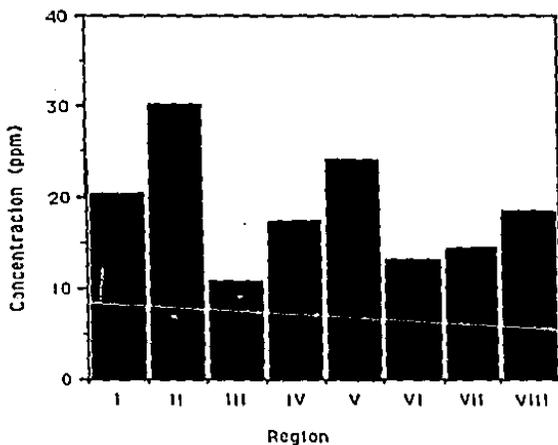


Fig. 7. Hidrocarburos alifaticos por region.

Laguna Chautengo (VII), con menos de 15 ppm. Los valores más altos se localizaron frente a Nuxco (V) con 24 ppm, y frente a Caleta de Campos (II) con 30 ppm.

6.2.2. Caracterización. Del total de las muestras se seleccionaron 10 de ellas para el análisis en cromatografía de gases: 1 muestra de la región I (frente a Punta Tejupán), 3 de la II (frente a Caleta de Campos), 4 de la V (frente a Laguna Nuxco), y 2 muestras de la región VII (frente a Laguna Chautengo). De esta manera, se intentó caracterizar a los sedimentos de la plataforma frente a los estados de Michoacán y Guerrero, con un énfasis en las estaciones frente a las lagunas costeras cuyos hidrocarburos superficiales ya han sido analizados (Botello y Macko, 1980).

En la Tabla 3 se presenta la concentración de los n-alcenos detectados, en ng/g de sedimento seco. En la Fig. 8 se ilustran los cromatogramas de la fracción alifática para los sedimentos de la plataforma continental del Pacífico Tropical Mexicano. Se observó que en los cromatogramas de esta fracción se presentaron una gran diversidad de picos resueltos; sin embargo, los n-alcenos predominaron sobre otros compuestos. La mezcla compleja no resuelta, que es el área debajo de los picos resueltos, fue moderadamente grande, e incluye una serie de compuestos que no eluyeron bajo las condiciones cromatográficas utilizadas.

En la Fig. 9 se grafica la concentración de n-alcenos (ng/g de sedimento, peso seco) obtenidos a partir de los estándares de los cromatogramas. En la mayoría de las muestras los n-alcenos se encontraron dentro del intervalo de nC_{14} a nC_{21} , con concentraciones que oscilaron desde valores traza hasta 133 ng/g, y un valor excepcional de 1473 ng/g de nC_{21} , en la estación 03 (frente a Punta Tejupán). Aquellas muestras sin nC_{14} presentaron al nC_{17} como el n-alceno menor y con concentraciones que no excedieron de 10 ng/g. En la mayoría de las muestras el pico n-alceno mayor se fue nC_{21} o nC_{22} . Los n-alcenos mostraron un máximo secundario en nC_{14} , seguido por nC_{16} . Entre nC_{20} y nC_{22} los alcenos tuvieron una concentración relativamente baja y con poca oscilación de valores; sin embargo, las cadenas con un número non de carbonos tendieron a predominar sobre las cadenas de carbonos pares. Las excepciones a este patrón general son la estación 107 (frente a Laguna Chautengo) que tuvo un intervalo de nC_{17} a nC_{21} , y un sólo máximo centrado en nC_{18} , y la estación 20 (Caleta de Campos) donde la concentración de n-alcenos aumentó monotonamente desde nC_{20} hasta nC_{22} .

La Tabla 4 muestra el resultado de un análisis de varianza simple efectuado a los n-alcenos de los cromatogramas, donde el número de carbón es el tratamiento y la estación es la repetición (16 tratamientos y 10 repeticiones). A un nivel de probabilidad del 1% el resultado indica que la distribución de los n-alcenos en los sedimentos

TABLA 3. CONCENTRACION DE N-ALCANOS (ng/g; peso seco) EN
SEDIMENTOS DE LA PLATAFORMA DE GUERRERO Y MICHOACAN.

No. C	Estación										
	03	14	17	20	64	66	67	71	107	117	
16	0	0	0	19.7	0	3.9	24.2	0	0	4.0	
17	8.2	1.2	1.7	27.3	8.1	15.8	46.5	15.7	4.9	12.4	
18	48.5	19.3	14.0	68.5	52.2	46.6	68.9	38.6	27.8	50.8	
19	50.2	22.3	12.2	35.7	16.7	15.4	44.0	30.7	9.5	30.0	
20	26.0	23.8	7.3	26.6	11.9	10.3	31.6	23.9	5.9	26.0	
21	29.1	26.6	8.0	21.9	24.5	35.9	51.1	30.1	7.5	29.7	
22	25.8	24.1	26.0	32.0	11.1	9.9	24.5	19.1	6.0	26.9	
23	30.6	26.2	8.8	50.8	15.1	16.1	26.6	19.7	8.1	36.7	
24	23.3	21.5	6.3	91.9	10.2	11.6	18.2	15.5	7.2	29.0	
25	38.8	24.1	10.9	105.7	14.9	21.1	28.8	20.3	6.5	32.6	
26	26.5	18.0	6.3	133.0	11.8	11.7	16.0	11.7	6.2	28.3	
27	73.3	29.8	17.6	125.1	27.5	31.2	33.3	23.3	5.2	40.7	
28	30.0	15.0	0	115.3	13.9	17.5	15.1	13.5	0	25.0	
29	4732.5	72.2	55.1	94.1	79.0	120.9	91.8	50.7	0	80.4	
30	30.5	0	0	76.3	15.5	14.5	17.3	6.3	0	14.2	
31	238.6	64.2	50.8	56.6	111.8	110.9	104.4	56.9	0	60.6	

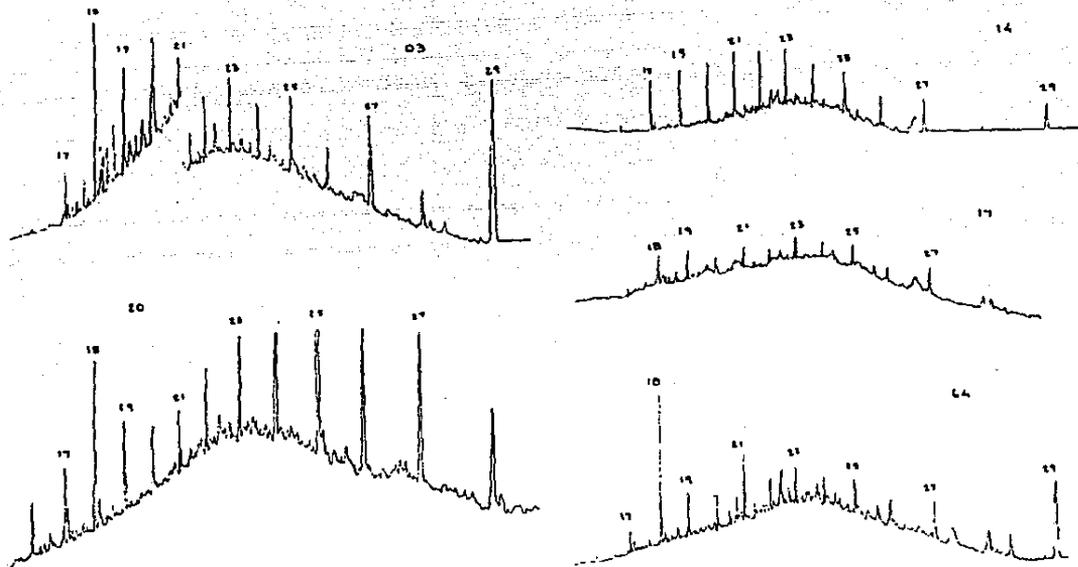


FIG. 8. CROMATOGRAMAS DE LOS HIDROCARBUROS ALIFATICOS. LOS N-ALCANOS ESTAN SEÑALADOS POR SU NUMERO DE CARBON Y GENERALMENTE SON LOS PICOS RESUELTOS PROMINENTES.

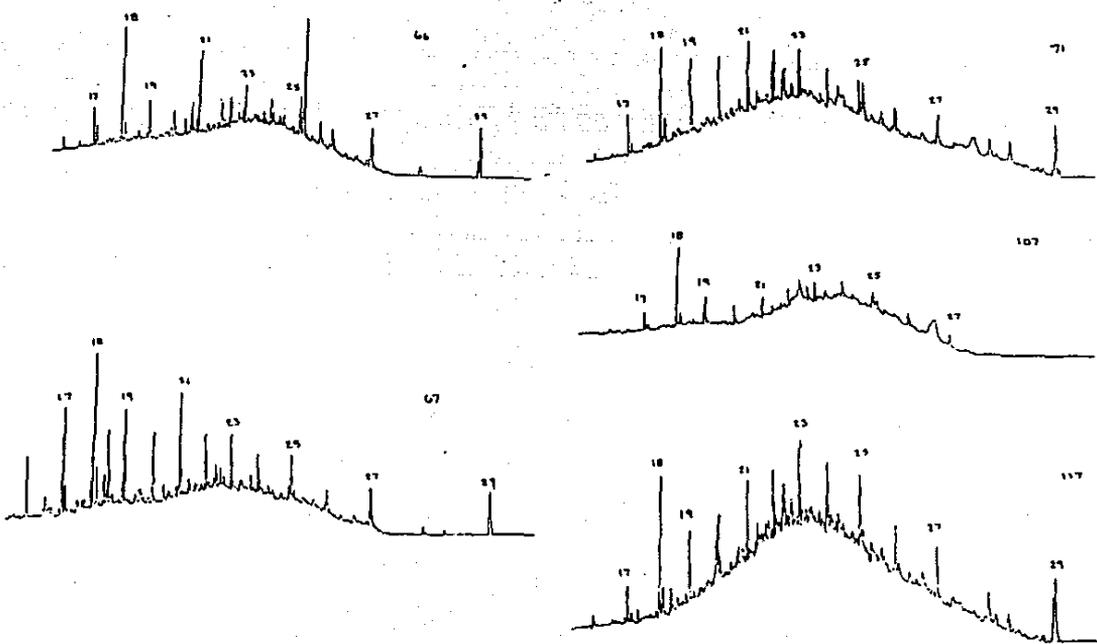


FIG. 8. (Cont.)

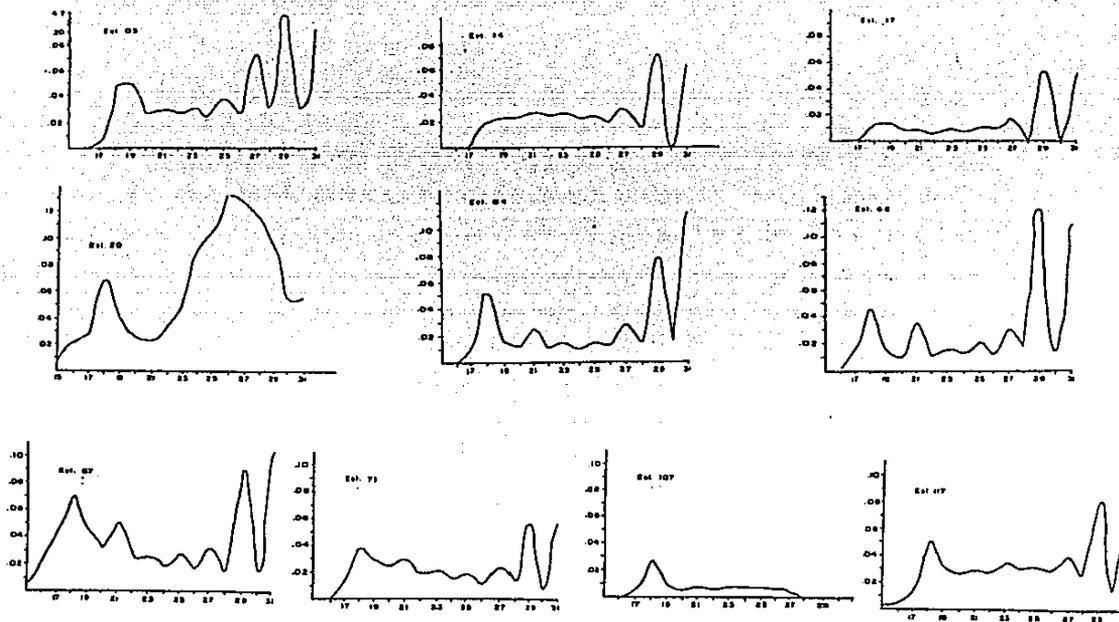


FIG. 9. CONCENTRACION (ng/g) DE LOS N-ALCANOS. NOTESE EL CAMBIO DE ESCALA EN EL EJE DE CONCENTRACION PARA LA ESTACION 03.

TABLA 4. ANALISIS DE VARIANZA SIMPLE DE LOS N-ALCANOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Variación	g.l. ¹	S.C. ²	C.M. ³	F
Entre n-alcános	15	2,478,548.9	165,236.6	1.21
Entre réplicas	144	19,660,621.9	136,532.1	
Total	159	22,139,170.7		

¹grados de libertad: entre n-alcános = r-1; entre réplicas = t(r-1)

²Suma de cuadrados; ³ S.C./g.l.;

F(tablas)_{α,β} > F(calculada)

TABLA 5. INDICE DE KOVATS DE ALGUNOS HIDROCARBUROS ALIFATICOS RESUELTOS NO IDENTIFICADOS¹

I.K.	Estación									
	03	14	17	20	64	66	67	71	107	117
1863	-	-	80	223	93	22	24	14	-	113
2082	47	-	-	136	-	-	-	242	-	233
2141	413	59	29	178	108	36	127	153	35	304
2186	204	85	-	196	-	31	124	65	-	311
2241	438	253	18	743	505	328	209	379	188	706
2258	56	-	-	-	51	-	-	-	-	117
2272	76	63	-	290	78	124	-	66	127	269
2434	159	59	-	82	144	98	77	41	-	246
2534	136	15	-	126	65	-	-	-	-	199
2832	-	-	-	-	336	284	456	266	-	-
2922	86	-	-	318	156	184	252	88	-	120
3017	-	-	-	1779	-	-	185	-	-	143

¹Valores en área relativa de los cromatogramas.

recientes frente a Guerrero y Michoacán provienen de una misma población o tienen un origen similar; asimismo, sugiere que la distribución bimodal de los cromatogramas de los n-alcanos es representativa de la región. Esto también puede sugerir que las condiciones ambientales en el sedimento de la plataforma frente a ambos estados produce una distribución similar de hidrocarburos alifáticos.

6.2.3. Alifáticos resueltos no identificados. En la mayoría de las muestras de sedimento analizadas, se detectaron una serie de compuestos que eluyeron después de $n_{C_{14}}$, $n_{C_{21}}$, $n_{C_{22}}$, $n_{C_{24}}$ y $n_{C_{27}}$, principalmente (Tabla 5). Los compuestos con un $IK= 2141$ y 2241 se presentaron en todas las muestras, mientras que los compuestos con un $IK= 2272$, 2186 y 2434 se detectaron en 9 de las 10 muestras. Otras moléculas se presentaron ocasionalmente en solo unas muestras, por lo que no se muestran en la tabla. Los compuestos con una mayor área relativa incluyen a $IK=2141$, 2241 , 2272 , y 2832 .

6.2.4. Relaciones non:par (IPC y PNP). En la Tabla 6 se muestra el IPC de los sedimentos recientes de la zona costera de Michoacán y Guerrero, calculado entre $n_{C_{14}}$ y $n_{C_{30}}$, y el de otras localidades reportadas en bibliografía. El IPC en la zona de estudio osciló desde 0.94 (en la estación 20) hasta 3.58 (estación 17) con un valor extremo de 29.28. (estación 03). En la mayoría de las muestras el bajo IPC es el resultado de los valores casi similares entre los n-alcanos consecutivos en el intervalo $n_{C_{20}}$ a $n_{C_{26}}$, y de la alta concentración relativa de los n-alcanos nones de alto peso molecular ($\geq n_{C_{27}}$). El alto valor del IPC de la estación 03 es debido al $n_{C_{27}}$, y no se excluye la posibilidad de contaminación durante su manejo, o a problemas de la columna en la corrida del cromatógrafo de gases (i.e., sangrado de la columna). En cambio, el bajo IPC de la estación 20 es el resultado del incremento monótono de los n-alcanos entre $n_{C_{14}}$ y $n_{C_{26}}$.

En la Fig. 10 se presentan las curvas PNP vs longitud de cadena de los n-alcanos de las muestras de la zona de estudio, y en la Tabla 7 se dan los valores PNP centrados en diferentes longitudes de cadena. En general, hay una tendencia hacia una PNP menor de la unidad entre los n-alcanos ligeros ($n_{C_{17}}$ a $n_{C_{19}}$), un aumento gradual entre $n_{C_{20}}$ y $n_{C_{26}}$, y un incremento considerable de la PNP hasta $n_{C_{27}}$ o $n_{C_{30}}$.

Las estaciones 54 y 66 (frente a Laguna Tenexpa) mostraron una curva PNP bimodal con un máximo principal en $n_{C_{27}}$ y un máximo secundario centrado en $n_{C_{21}}$. La PNP de las estaciones 67, 71 (frente a Tenexpa) y 117 (frente a Laguna Chautengo) fue constante hasta $n_{C_{26}}$ y luego aumentó hasta $n_{C_{31}}$; en las estaciones 03 (frente a Punta Tejupán), 14 y 17 (en Caleta de Campos) este aumento fue más intenso. Las estaciones 20 (Caleta de Campos) y 107 (frente a Laguna

TABLA 6. INDICE DE PREFERENCIA DE CARBON EN LA ZONA DE ESTUDIO Y EN OTRAS REGIONES.

Est.	03	14	17	20	64	66	67	71	107	117
IPC ¹	29.28	1.81	3.58	0.94	1.99	2.71	1.91	1.73	10.08	1.51
Región	IPC ²						Prof (m)		Fuente ³	
Mar de Beaufort	1.4-4.8(14-30)						0		SH	
Cuenca de San Nicolás	2.4-2.5(24-33)						0-6		BE	
Fiordeo de Columbia Br.	1.6-2.7(21-29)						0		BR	
Cuenca de Guaymas	2.0-3.1(10-36)						1-3		SE	
Pacífico NE	0.5-0.7(12-35)						0-.12		SI	
Golfo de México	2.1-3.9(21-31)						20-30		AI	

¹Calculado en el intervalo nC₁₈ a nC₃₀

²Indice e intervalo de n-alcenos utilizado

³SH:Shaw *et al.* (1979); BE:Bray y Evans (1961);

BR:Brown *et al.* (1972); SE:Simoneit *et al.* (1979);

SI:Simoneit (1977); AI:Aizenshtat *et al.* (1973)

$CPI_{18-30} = 1/2[(C_{19-29}/C_{20-30}) + (C_{19-29}/C_{18-28})]$

TABLA 7. PREFERENCIA NON:PAR EN LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO (INCLUYENDO LAGUNAS COSTERAS)¹

NO.C	ESTACION									
	03	14	17	20	64	66	67	71	107	117
17	0.51	0.38	0.40	0.59	0.31	0.55	0.88	0.81	0.35	0.49
18	0.74	0.67	0.61	0.55	0.31	0.42	0.76	0.73	0.33	0.51
19	1.16	0.94	0.97	0.69	0.52	0.63	0.89	0.92	0.52	0.72
20	1.43	1.05	1.27	0.89	1.22	1.73	1.34	1.21	0.99	1.22
21	1.27	1.09	1.30	0.93	1.94	3.06	1.68	1.34	1.33	1.16
22	1.18	1.11	1.35	0.94	1.79	2.56	1.58	1.29	1.28	1.22
23	1.28	1.14	1.46	0.87	1.53	1.79	1.40	1.22	1.19	1.26
24	1.45	1.18	1.57	0.87	1.43	1.63	1.48	1.29	1.05	1.21
25	1.69	1.27	1.82	0.90	1.50	1.87	1.70	1.51	0.98	1.19
26	2.11	1.49	2.59	0.92	1.79	2.11	1.92	1.72	1.05	1.31
27	23.06	2.08	6.81	0.96	2.52	2.82	2.58	2.09	1.52	1.68
28	81.11	3.78	46.16	1.00	3.85	4.64	4.04	3.19	3.35	2.52
29	118.62	8.79	----	1.11	5.22	6.78	5.31	5.24	----	3.72
BNP ²	18.12	1.92	5.53	0.86	1.84	2.35	1.97	1.74	1.16	1.39

Laguna PNP³

Chautengo 1.81-2.18

Mitla 1.48-1.85

Superior-Inferior 4.29-4.95

¹PNP₁₋₂ = [(C₁+6C_{1,2}+C_{1,4}) / (4C_{1,1}+4C_{1,3})]¹⁰⁰⁰

²PNP promedio

³Botello y Macko (1980)

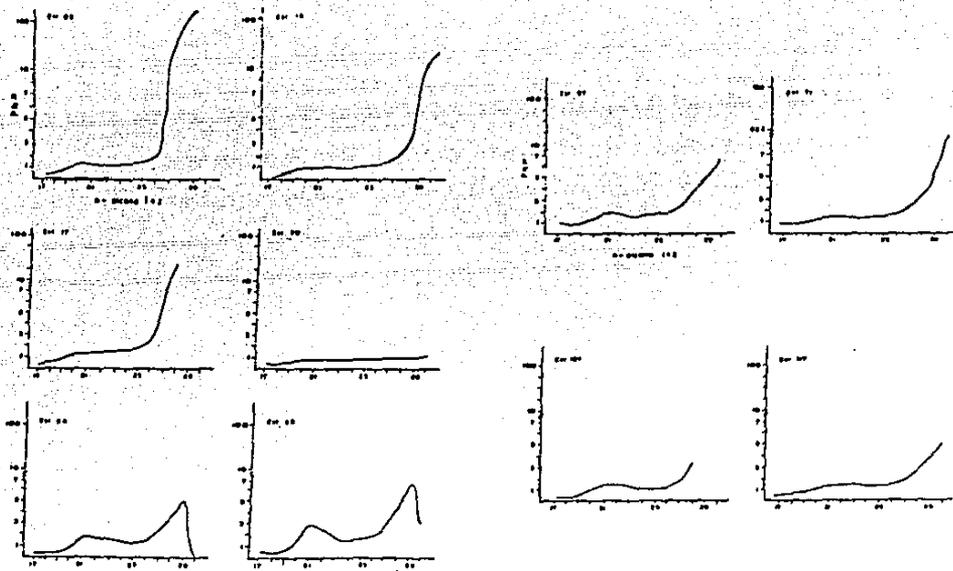


FIG. 10. PREFERENCIA $n:n+2$ (FNP) VS. LONGITUD DE CADENA DE LOS n -ALCANOS DE LOS SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Tenexpa), en cambio, mostraron una PNP cercana a la unidad en todo el intervalo de pesos moleculares.

6.3. Isoprenoides.

En los sedimentos de la zona de estudio el pristano se encontró dentro del intervalo de 1.6 a 14.7 ng/g y se detectó en el 80% de las muestras (Tabla 8). En las estaciones 14 y 17 no se presentó pristano, y en la estación 20 se detectó la concentración más alta; estas tres estaciones se encuentran en Caleta de Campos.

El fitano se detectó en todas las muestras analizadas con un intervalo de concentración de 0.7 a 16.1 ng/g. La estación 20 acusó la mayor concentración de fitano, y aquellas muestras sin pristano detectable tuvieron menos de 3 ng/g de fitano. La correlación entre estos dos isoprenoides en la zona de estudio fue de 86.3%, y la proporción pristano:fitano osciló entre 0.30 y 0.97; en las regiones I y VII (frente a Punta Tejúpan y Laguna Chautengo, respectivamente), esta proporción fue más baja.

6.4. Hidrocarburos aromáticos.

6.4.1. Gravimetría. Los hidrocarburos aromáticos tuvieron una concentración de 1.3 a 273.5 ppm, y un promedio de 27.2 ppm en toda la zona de estudio. Esta fracción de hidrocarburos presentó una alta dispersión de valores (C.V.= 168%) lo que indica que el promedio aritmético no refleja las concentraciones detectadas. El histograma de frecuencias de los hidrocarburos aromáticos (Fig. 11) muestra que el 40.5% de los datos cayeron en el intervalo de 0 a 10 ppm, y el 78.3% de las concentraciones de aromáticos se encontraron entre los 0 y 30 ppm; entre los 30 y 60 ppm se distribuyeron el 13.5% de los datos, y el 8% restante osciló entre los 60 y 250 ppm.

Regionalmente, los valores promedio oscilaron entre los 6.6 y 90.5 ppm de hidrocarburos aromáticos (Fig. 12). La región frente a Nuxco (V) presentó la concentración promedio más alta, que es más del doble que frente a Caleta de Campos (región II), y casi 10 veces mayor que la concentración promedio más baja (frente a Ixtapa-Zihuatanejo).

6.4.2. Caracterización. En la Fig. 13 se presentan los cromatogramas de la fracción aromática para los sedimentos de la plataforma continental de Guerrero y Michoacán, y en la Tabla 9 se muestran las áreas relativas de los tiempos de retención de los compuestos obtenidos en los cromatogramas de esta fracción.

Los sedimentos de la región se caracterizaron por presentar un reducido número de hidrocarburos aromáticos agrupados dentro de un pequeño intervalo de compuestos, entre

TABLA 8. PRISTANO Y FITANO (ng/g) EN LA ZONA DE ESTUDIO Y EN OTRAS REGIONES

Localidad	pristano	fitano	pr/fi ¹	Referencia ²
Gro. y Mich.	0-14.7	0.7-16.1	0.32-0.97	ET
Plat. N. Escocia	1-54	1-53	1-13	KE
NE Golfo de México			0.7-2.8	GE
Bahía Dugeness	16-63	4-16	3-5	MA
Golfo de México	0-665	0-383		AE
Lagunas del POT			3.9-7.9	BM
Golfo de México	0-665	0-383		AI

¹Relación pristano:fitano

² ET:Este trabajo; KE:Keizer et al.(1978);

GE:Gearing et al.(1976); MA:MacLeod et al. (1979);

AE:Aizenshtat et al.(1973); BM:Botello y Macko (1980)

AI:Aizenshtat (1973)

TABLA 9. TIEMPOS DE RETENCION DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS OBTENIDOS DE LOS CROMATOGRAMAS

Estacion	Tiempos de retencion de los picos resueltos															
03	23.2,	24.5,	24.6,	26.4,	26.6,	27.0,	27.2,	28.3,	30.3,	31.0,	32.5,	33.7,	35.3,	37.3,	38.1 ¹ ,	42.2
14	26.3,	26.8,	30.3,	38.0 ¹												
17	25.1,	27.6,	29.3,	30.8,	31.0,	32.6,	33.8,	34.0,	34.1,	35.8,	37.8,	38.0 ¹ ,	40.1,	40.9,	42.7,	50.2
20	17.7,	19.8,	23.9,	24.1,	27.2,	29.6,	31.0,	36.1 ¹								
64	24.5,	26.4,	27.0,	32.5,	34.6,	38.0 ¹										
66	17.6,	30.3,	31.0,	31.8,	32.5,	37.1,	37.6,	38.1 ¹ ,	42.5							
67	38.0 ¹															
71	17.6,	25.8,	27.6,	30.3,	32.4,	38.0 ¹										
107	29.3,	30.3,	32.4,	34.0,	35.3,	37.1,	38.1 ¹									
117	25.8,	26.4,	30.3,	38.0 ¹												

¹Compuesto de mayor concentracion

Estandares:

12.24	15.33	16.86	17.90	19.24	21.34	23.59	25.39
1	2	3	4	5	6	7	8
29.4	29.91	31.41	41.20	48.65			
9	10	11	12	13			

1:naftaleno; 2: 1-me naftaleno; 3:bifenilo; 4:1,3 dime-bifenilo;
5:acenafteno; 6:fluoreno; 7: 9,10DHF; 8:fenantreno; 9:3,6 DMF;
10: 5 andostano; 11: pireno; 12: nonadecil; 13: 5 colestano

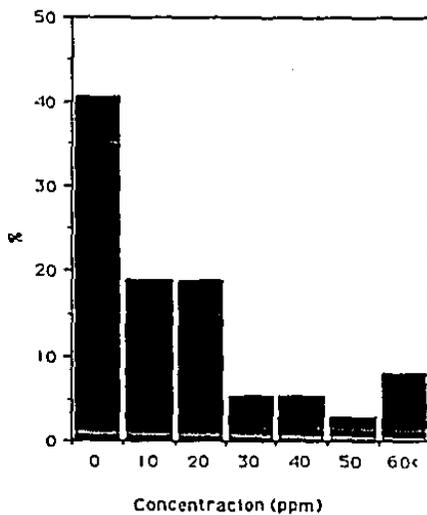


Fig. 11. Distribucion de hidrocarburos aromaticos.

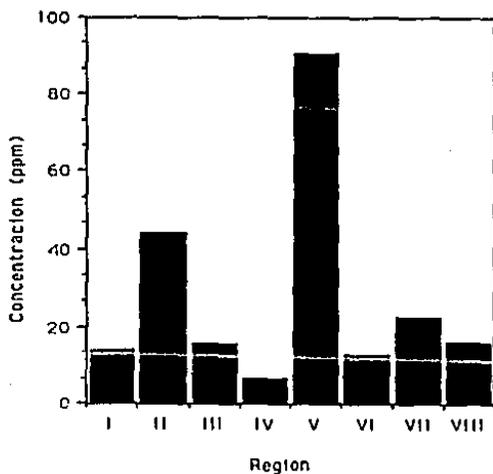


Fig. 12. Hidrocarburos aromaticos por region.

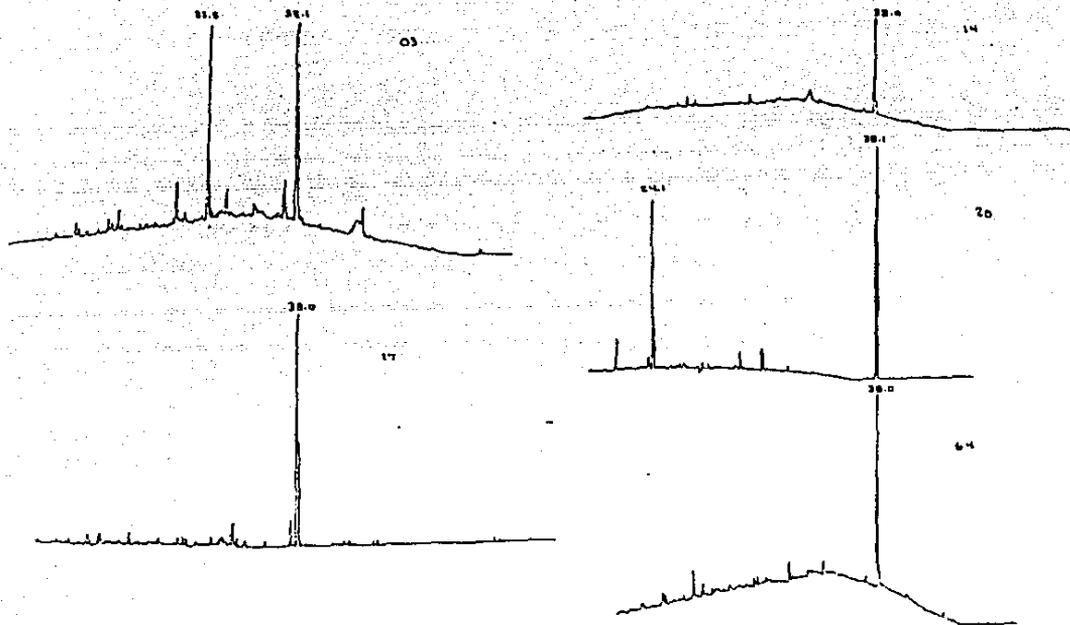


FIG. 13. CROMATOGRAFAS DE LOS HIDROCARBUROS AROMATICOS. LOS NUMEROS SOBRE ALGUNOS PICOS RESUELTOS SON TIEMPOS DE RETENCION.

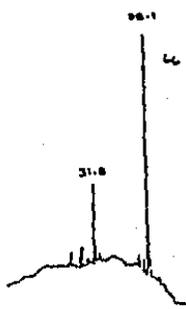
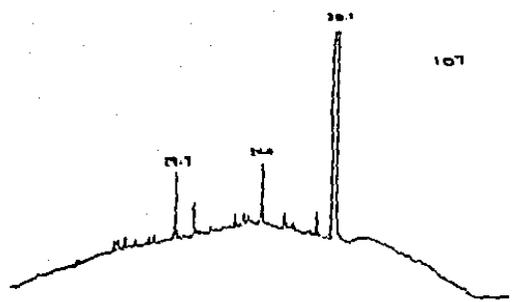
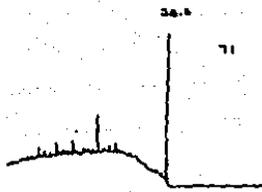
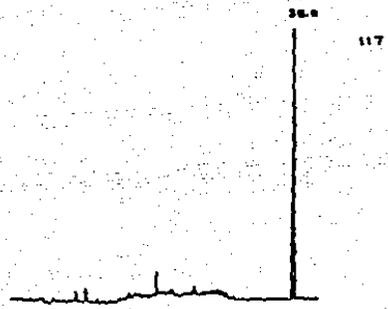


FIG. 13. (Cont.)

el 9,10-DHF y el nonadecil. En algunas muestras (estaciones 03, 17, 20 y 64) los compuestos aromáticos presentes eluyeron después del 9,10-DHF (Tr=23.59) y en las restantes los picos se encontraron después del fentantreno (Tr=25.39); generalmente los picos resueltos se concentraron entre el pireno (Tr=31.41) y el nonadecil (Tr=41.20). A excepción de la estación 67 (frente a Tenexpa) con un sólo pico resuelto, la mayoría de las muestras tuvieron picos con tiempos de retención similares, y todas mostraron un máximo en Tr=38.10 que representa el 50% ó más (en área) del total de los aromáticos resueltos.

6.5. Fracción no saponificable.

La fracción no saponificable (FNS) analizada gravimétricamente comprende a aquellos compuestos solubles en los solventes orgánicos después de la saponificación alcalina. La FNS incluye a los hidrocarburos (alcanos, alquenos, cicloalcanos, aromáticos), pigmentos, alcoholes y toda aquella materia lípide no esterificada; en cambio, la saponificación separa a los ácidos grasos libres, los ésteres de ceras y los triglicéridos (Farrington y Tripp, 1975).

La FNS de los sedimentos de la zona de estudio se distribuyó en un intervalo de concentración amplio, de 25.3 a 3566.7 ppm, según se observa en el histograma de frecuencias relativas (Fig. 14), con un promedio de 819.8 ppm. De este modo, únicamente el 27% de los datos tuvieron de 0 a 200 ppm, el 16% de 200 a 400 ppm, y el 57% restante se distribuyó entre los 400 y hasta más de 1600 ppm.

A partir de los valores promedio por región de la FNS (Fig. 15), se observa que frente a Punta Tejupán (región I) la concentración fue más alta con 1743 ppm, seguida por la región frente a Laguna Coyuca (VI) con 1364.9 ppm. Las regiones II, III, IV y V tuvieron concentraciones intermedias de 500 a 1000 ppm de FNS; y los valores promedio más bajos se localizaron frente a Laguna Chautengo (VII) y Río Ometepec (VIII), con menos de 300 ppm.

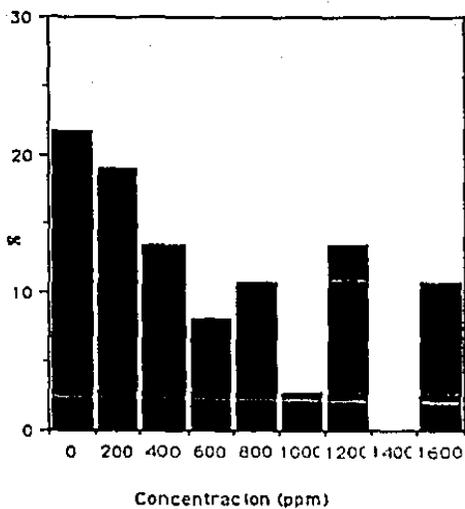


Fig. 14. Distribucion de la fraccion no saponificable.

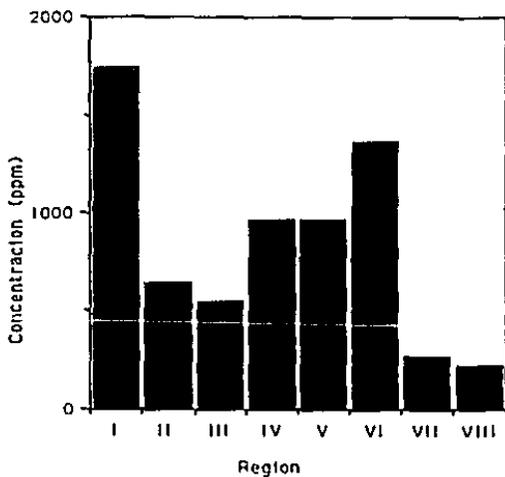


Fig. 15. Fraccion no saponificable por region .

7 DISCUSION

7.1. Niveles de hidrocarburos.

7.1.1. Hidrocarburos totales. En la Tabla 10 se presentan las concentraciones de hidrocarburos totales de sedimentos superficiales costeros y oceánicos de varias localidades. Los valores de la zona costera de Michoacán y Guerrero se encuentran dentro del intervalo propuesto por Tissot y Welte (1978) de 20-100 ppm en cuencas oceánicas y costeras libres de contaminación. Asimismo, las concentraciones registradas en este estudio están por debajo de los niveles de hidrocarburos totales en sedimentos contaminados por petróleo que pueden variar entre 100 y 12,000 ppm (Clark y MacLeod, 1977). Por lo tanto, el efecto de hidrocarburos de origen antropogénico en la región, si se presentan, debe de ser despreciable. En contraste, la Sonda de Campeche acusa niveles mayores de 500 ppm, y Puerto Angeles presenta hasta 1400 ppm debido a que son zonas de extracción petrolera y de intenso transporte marítimo, respectivamente.

En zonas costeras con un aporte terrígeno la concentración total puede ser alta, como el delta del Río Orinoco y el Golfo de Batámano, Cuba, donde Hunt (1961) registra hasta 110 ppm. En cambio, las regiones oceánicas con una escasa influencia continental muestran concentraciones bajas de hidrocarburos, tales como en la planicie abisal del Océano Atlántico (30°N, 60°W) con 1-3 ppm, o el piso oceánico del Mar de Noruega con 10 ppm. En estas zonas pelágicas el aporte de hidrocarburos es por desechos de organismos marinos principalmente (NAS, 1975), y el agua altamente oxigenada favorece la degradación de la materia.

En la zona costera de Guerrero y Michoacán el aporte terrígeno aunado con la actividad biológica sobre la plataforma continental pueden explicar los niveles de hidrocarburos registrados. Los niveles de bajo contenido de oxígeno de la región también deben de influir en las concentraciones registradas, ya que en cuencas reductoras los niveles de hidrocarburos totales son altos, como en la Trinchera de Cariaco (con 352 ppm), debido a la preservación de la materia orgánica en lugares con una baja concentración de oxígeno disuelto (Hunt, 1961; Brown *et al.*, 1972; Tissot y Welte, 1978).

Comparativamente, las concentraciones de hidrocarburos en el Golfo de México SW, a lo largo del paralelo 21°N, son del orden de 29-37 ppm (Botello *et al.*, 1987), similar al intervalo encontrado para la plataforma continental de Guerrero y Michoacán. En el norte del Golfo de México, en cambio, se presentan valores más bajos sobre la plataforma NE, de 11.7 ppm frente a la desembocadura del Río Mississippi, y menos de 2 ppm en la plataforma continental de la Península de Florida (Gearing *et al.*, 1976; Lytle y Lytle,

TABLA 10. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS TOTALES (PPM) EN
SEDIMENTOS RECIENTES DE DIVERSAS REGIONES.

Localidad	Concentración	Referencia ¹
Planicie del Océano Atlántico	1.2-2.9	FT
Delta del Río Orinoco	27-110	HU
Golfo de Batabanó (Cuba)	15-85	HU
Golfo de Maine (EU)	19	VQ
Sonda de Campeche	3-516	BE
Trincheras de Cariaco	56-352	HU
Mar de Noruega	10-11	CM
Plataforma de Guerrero y Mich.	9-298	ET

¹FT:Farrington y Tripp (1975); HU:Hunt (1961);

VQ:Van Vleet y Quinn (1978); BE:Botello et al. (1978)

CM:Clark y MacLeod (1977); ET:Este trabajo

TABLA 11. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS ALIFATICOS (PPM) EN
SEDIMENTOS RECIENTES DE DIFERENTES LOCALIDADES.

Localidad	Concentración	Referencia ¹
Golfo Pérsico	20-70	WE
NE del Golfo de México	1.2-3.2	GE
Plataforma de Nueva Escocia	8×10^{-1} -2.3	KE
Fosa de Guaymas	1-24	SE
Fiordo de Columbia Británica	2.3-32.7	BE
Mar Muerto	2-16	AE
Lagunas del Pacífico Mexicano	1.0-37.8	BM
Gran Marsima (Delaware, EU)	67	SW
Plataforma de Guerrero y Mich.	1.3-61.3	ET

¹WE:Welte y Ehardt (1968); GE:Gearing et al. (1976);

KE:Keizer et al. (1976); SE:Simoneit et al. (1979)

BE:Brown et al. (1972); AE:Aizenshtat et al. (1973)

BM:Botello y Macko (1980); SW:Swetland y Wehmiller (1975)

ET:Este trabajo

1976). En el litoral de los estados de Veracruz y Tabasco, asimismo, se alcanzan hasta 70 ppm como resultado del aporte continental (Botello et al., 1987).

Por otro lado, los niveles de hidrocarburos en este estudio son similares al intervalo de concentración de 15-114 ppm en sedimentos superficiales de la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec (16°N, 95°W; IMP, 1984). Esto sugiere aportes comunes y/o condiciones de preservación similares para ambas regiones, que forman parte del Pacífico Tropical Mexicano.

7.1.2. Hidrocarburos alifáticos. En la Tabla 11 se proporcionan valores de hidrocarburos alifáticos (n-alcanos) en diversos ambientes sedimentarios. Se observa que las zonas libres de contaminación acusan concentraciones que oscilan entre 0.1 y 100 ppm, dependiendo del ambiente donde se encuentran. En regiones con un ambiente reductor los valores tienden a ser altos, como en un fiordo de Columbia Británica, donde se registran 32.7 ppm de alifáticos cerca del umbral, y solamente 2.3 ppm en la zona más oxidativa; la materia orgánica presente en este fiordo es una mezcla de material terrígeno (humus de bosques) y marino (aportado por diatomeas). En las marismas, que son ambientes costeros con gran cantidad de materia orgánica y fuertemente reductores, se presentan niveles relativamente altos de n-alcanos, como en la Gran Marisma de Delaware, en el norte de Estados Unidos, dominada por pastos halofíticos (Spartina alterniflora), donde el potencial de óxido-reducción es relativamente reductor ($E_h = +200$ mv) y los niveles de alifáticos en sedimentos superficiales alcanzan 67 ppm.

Por otro lado, un aporte continental menor y/o condiciones oxidantes en el sedimento o columna de agua se reflejan en valores relativamente bajos de hidrocarburos alifáticos. En el Mar Muerto, por ejemplo, prevalecen condiciones reductoras pero el aporte de materia orgánica es primordialmente autóctono (e.g., bacterias, cianofitas, clorofitas), por lo que solamente se detectan hasta 16 ppm de alifáticos en sedimentos reductores profundos y 2 ppm en sedimentos oxidantes someros (Nissebaum et al., 1972). En la plataforma continental de Nueva Escocia, Keizer et al. (1978) reportan un máximo de 2.3 ppm de alifáticos, aún en sitios de exploración petrolera anteriores; aparentemente el aporte continental en esa extensa plataforma es menor que en otras regiones.

Los niveles de hidrocarburos alifáticos de la plataforma de Michoacán y Guerrero, por lo tanto, se encuentran en el intervalo de valores de zonas de gran aporte de materia orgánica y de un ambiente que favorece la preservación de la misma. El aporte biogénico está dado por la proximidad de la costa, por un lado, y por la intensa actividad biogénica intrínseca a la plataforma, por el otro. Las condiciones de

preservación de la materia orgánica son favorecidas por la presencia de la capa de mínimo oxígeno. Aquí también se hace evidente la ausencia de la influencia de hidrocarburos antropogénicos, que tenderían a producir valores altos de n-alcenos; esto sin embargo, debe corroborarse cualitativamente ya que es más importante el tipo de alcanos que la concentración de los mismos (Blumer *et al.*, 1971).

Botello y Macko (1980) analizaron la concentración y composición de hidrocarburos n-alifáticos en tres lagunas costeras de Pacífico Tropical Mexicano. Estos autores consideran que la mayor concentración en la Laguna Mitla (2.6-37.8 ppm) se debe a que está incomunicada del mar en forma permanente y a su avanzado estado de eutroficación. En cambio, las lagunas Chautengo (con 1.8-4.1 ppm de alifáticos), y Superior-Inferior (1.0-1.8 ppm) son abiertas y la hidrodinámica evita la sedimentación de la materia orgánica. Los valores dentro de estas dos lagunas son una orden de magnitud menores que las encontradas en la plataforma continental de Guerrero y Michoacán; sin embargo, en las bocas de las lagunas los alifáticos son similares a los de la plataforma. Lo anterior puede indicar el efecto de fenómenos fisicoquímicos (como precipitación del particulado en la interfase agua de mar:agua dulce; Riley y Chester, 1971), un aporte biogénico diferente entre la plataforma y el interior de las lagunas, o una actividad metabólica por diferentes organismos.

7.1.3. Hidrocarburos aromáticos. En la Tabla 12 se muestra la concentración de hidrocarburos aromáticos en diversos sedimentos superficiales. Aún cuando la cantidad de estos compuestos tiene una alta variación en el Pacífico Tropical Mexicano (C.V. = 168%; con un intervalo de 1-273 ppm), los niveles detectados se asemejan a sedimentos no contaminados de origen terrestre, como la Bahía Buzzards (6.7 ppm; Giger y Blumer, 1974), lodos de la plataforma norte del Golfo de México (24 ppm) y sedimentos del Río Mississippi (10-60 ppm; Hunt, 1961).

La presencia de hidrocarburos aromáticos en alta concentración puede servir como indicadora de contaminación: en sedimentos contaminados de Puerto Angeles, por ejemplo, se alcanzan 94-430 ppm, y en sedimentos de la Bahía de Nueva York se detectan entre 10 y 110 ppm. Las concentraciones mayores de 50 ppm de aromáticos en este estudio se presentaron en 4 estaciones de diferentes regiones, por lo que se duda que reflejen contaminación; de hecho, la moda de esta fracción es menor de 30 ppm.

Los sedimentos de la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec presentan niveles entre 1.5 y 67.7 ppm, con la mayoría de los datos menores de 22 ppm (IMP, 1984); estos valores son similares a los de Guerrero y Michoacán, probablemente por tener aportes y ambientes de sedimentación

TABLA 12. CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS AROMATICOS EN
SEDIMENTOS DE DIVERSAS REGIONES

Región	[] ppm	Referencia ¹
Río Mississippi	10-60	HU
Plataforma N del Golfo de México	24	HU
Puerto Angeles	94-430	ML
Bahía de N York	10-1100	FT
Delta Río Orinoco	7-30	HU
Golfo de Tehuantepec	15-114	IM

¹HU:Hunt (1961); ML:MacLeod *et al.* (1977);
FT:Farrington y Tripp (1975); IM:IMP (1984)

parecidos.

7.2. Caracterización de hidrocarburos.

7.2.1. Hidrocarburos alifáticos. La distribución de los n-alcanos en los sedimentos estudiados fue bimodal, con un máximo principal centrado entre nC_{27} y nC_{31} , y un máximo secundario en nC_{10} o nC_{11} . La distribución bimodal con predominancia de alcanos de alto peso molecular es típica de las plataformas continentales de todas las latitudes, incluyendo regiones árticas (Shaw et al., 1979), templadas (Keizer et al., 1978; Simoneit, 1977), y tropicales (Gearing et al., 1976). Esta distribución es considerada como reflejo de un aporte simultáneo de materia orgánica de origen terrestre y marino (Clark y Blumer, 1967; Brown et al., 1972; Simoneit, 1979). Por lo general, la contribución terrestre define la distribución de n-alcanos en el intervalo de nC_{23} a nC_{33} , debido a su mayor proporción en la materia orgánica continental en relación con la materia orgánica autóctona (Tissot y Welte, 1978).

En sedimentos de las plataformas continentales y zonas costeras mexicanas también se presentan distribuciones bimodales. Simoneit et al. (1979) observaron que en los primeros 3 m de sedimentos de la Fosa de Guaymas (Golfo de California) hay máximos en nC_{10} y nC_{11} , atribuibles a bacterias y algas, y un componente menor de nC_{23} , derivado de las ceras de plantas terrestres (de praderas y bosques). Botello (1978) analizó los sedimentos de varias lagunas costeras del Golfo de México; en la Laguna de Términos la predominancia de alcanos nones desde nC_{11} hasta nC_{27} , sugiere un aporte de algas bentónicas y pastos marinos. Esto contrasta con los n-alcanos de los sedimentos de las lagunas costeras del Pacifico Mexicano donde predominan nC_{27} y nC_{31} , y hay concentraciones bajas entre nC_{14} y nC_{26} (Botello y Macko, 1980). En sedimentos recientes del Golfo de México, Botello et al. (1987) detectaron una distribución de hidrocarburos entre nC_{14} y nC_{32} , con máximos de las cadenas nones en la serie nC_{21} a nC_{29} , que corresponde a sedimentos de origen continental formado por desechos de plantas terrestres y pastos de pantanos.

En la Tabla 13 se muestran los intervalos y los compuestos predominantes de los n-alcanos de diversos organismos con un diferente grado evolutivo. Las ceras de las plantas terrestres que se encuentran en los tallos, hojas, flores y frutos tienen un intervalo amplio de n-alcanos aunque los principales oscilan entre nC_{23} y nC_{31} (Clark y Blumer, 1967; Oró et al., 1966; Meinschein, 1969; Hunt, 1979). Según Hunt (1979) las ceras de las hojas de plantas terrestres presentan cantidades similares de nC_{27} y nC_{31} ; en algunos casos la predominancia es de un sólo hidrocarburo, como en la cera de la manzana donde el 86% de los n-alcanos es nC_{29} (Hunt et al., 1980). En la mayoría de los grupos

TABLA 13. N-ALCANOS PRINCIPALES EN ALGUNOS GRUPOS DE ORGANISMOS

Grupo	n-alcános	Referencia
BACTERIAS ANAEROBICAS		
<u>Micrococcus lysodeikticus</u>	C _{17,18,19}	Han et al. (1968)
<u>Propiobacterium snermanii</u>	pristano, C ₁₇	Han y Calvin (1969)
BACTERIAS AEROBICAS		
<u>Escherichia coli</u> (no-fotosintética)	C _{18,19,20,21}	Han et al. (1968)
<u>Rhodospseudomonas spheroides</u> (fotosintética)	C _{17,18,19}	Han et al. (1968)
<u>Vibrio marinus</u>	C _{17,18,19,20,21}	Oró et al. (1967)
FITOPLANCTON		
Cyanophyceae		
<u>Anacystis nodulans</u>	C _{15,16,17} , C _{20,21}	Oró et al. (1967)
<u>Oscillatoria woronichinii</u>	C _{15,16,17}	Blumer et al. (1971)
Bacillariophyceae		
<u>Rhizosolenia setigera</u>	C _{20,21} , C _{22,23}	Blumer et al. (1971)
<u>Skeletonema costatum</u>	C _{20,21} , C ₂₂	Clark y Blumer (1967) Blumer et al. (1971)
Dynophyceae		
<u>Gonyaulax polyedra</u>	C _{20,21}	Blumer et al. (1971)
<u>Gymnodinium splendens</u>	C _{20,21}	Blumer et al. (1971)
Crysofytaceae		
<u>Botryococcus braunii</u>	C _{20,21} , C _{22,23}	Gelpi et al. (1970)
Chlorofytaceae		
<u>Dunaliella tertiolecta</u>	C ₁₇ , C _{20,21}	Blumer et al. (1971)
ALGAS BENTONICAS		
Phaeofytaceae		
<u>Laminaria digitata</u>	C _{20,21} , C _{22,23} , C _{24,25}	Clark y Blumer (1967)
<u>Fucus distichus</u>	C _{20,21}	Youngblood y Blumer (1973)
Rodofytaceae		
<u>Porphyra leucostica</u>	C _{19,20} , C _{21,22}	Youngblood y Blumer (1973)
<u>Chondrus crispus</u>	C _{19,20,21}	Clark y Blumer (1967)
PASTOS MARINOS		
<u>Thalassia testudinum</u>	C _{17,18,20,21,22}	Botello y Mandelli (1979)
<u>Ruppia maritima</u>	C _{20,21,22,23}	Botello y Mandelli (1978)
ZOOPLANCTON		
<u>Calanus hyperboreus</u>	pristano	Blumer et al. (1964)
<u>Calanus finmarchicus</u>	pristano	Blumer et al. (1964)
PLANTAS TERRESTRES		
Maíz	C _{26,27}	Hunt (1979)
Caña	C _{26,27,28}	Hunt (1979)
Caña de azúcar	C _{26,27,28}	Hunt (1979)
Cebada	C _{26,27,28}	Hunt (1979)
ANIMALES SUPERIORES		
<u>Grassostrea virginica</u>	C _{26,27,28}	Botello y Mandelli (1976)
<u>Gemma gemma</u>	C _{26,27,28,29}	Macfie et al. (1977)
<u>Sarcocystis meyllucius</u>	C _{26,27,28,29}	Macfie et al. (1977)
<u>Squidus acanthus</u>	C _{26,27,28,29}	Macfie et al. (1977)

fitoplanctónicos estudiados por Blumer et al. (1971) la poliolefina heneicohexaeno (nC_{21}) es el hidrocarburo más abundante; entre los n-alcenos dominantes están nC_{15} , nC_{17} , nC_{19} , o nC_{21} . En algas bentónicas predominan los hidrocarburos insaturados, sin embargo en las rofitas domina nC_{15} , y en las rofitas nC_{15} (Youngblood y Blumer, 1973; Clark y Blumer, 1967). Los hidrocarburos que contienen las plantas marinas son cadenas de menor número de carbonos (Blumer et al., 1971; Han y Calvin, 1969); en cambio, los pastos marinos presentan valores intermedios entre las plantas terrestres y marinas (Hunt, 1979; Botello y Mandelli, 1979). Los hidrocarburos alifáticos de las bacterias fotosintéticas (i.e. Rhodospirillum rubrum) oscilan entre nC_{15} y nC_{21} (Han y Calvin, 1969), mientras que las bacterias no-fotosintéticas producen hidrocarburos en el intervalo nC_{15} a nC_{21} (Yen, 1975).

El n-alceno de bajo peso molecular ($<nC_{20}$) más abundante en los sedimentos de la zona de estudio fue nC_{15} , seguido por nC_{17} . A diferencia de los hidrocarburos de cadena larga, el origen de estos alcanos es discutible. Se han observado valores altos de nC_{15} en sedimentos de ambientes reductores, tanto superficiales como profundos, y a micro o macroescala. Según Simoneit (1977) el nC_{15} y nC_{16} son los alcanos predominantes de bajo peso molecular en los sedimentos del Pacífico Noreste (ca. $40^{\circ}N$), y supone que son el producto de la reducción de ácidos grasos a n-alcenos. Welte y Ehardt (1968) reportan picos máximos de nC_{15} y nC_{16} en sedimentos de 3 m de profundidad del Golfo Pérsico y sugieren que son el resultado de una hidrogenación de los ácidos grasos en microambientes reductores debido a que los sedimentos de este golfo son oxidantes. Welte y Waples (1973) proponen que en ambientes reductores los ácidos grasos y alcoholes derivados de los organismos son preferentemente reducidos vía hidrogenación y deshidratación y la cadena de carbonos se mantiene intacta; en ambientes oxidantes, en cambio, se produce una descarboxilación con la consecuente pérdida de un átomo de carbón. Por lo tanto, es probable que el origen del nC_{15} en los sedimentos costeros del Pacífico Tropical Mexicano sea la reducción del ácido esteárico y de otros ácidos insaturados de 18 átomos de carbón, debida principalmente al ambiente reductor que prevalece en la zona.

Alternativamente, la alta concentración de nC_{15} y nC_{17} puede reflejar la presencia de ciertos microorganismos marinos. Han et al. (1968) y Han y Calvin (1969) reportan altos valores relativos de nC_{15} y/o nC_{17} en bacterias no-fotosintéticas tanto aeróbicas (e.g. Escherichia coli) como anaeróbicas (Micrococcus lysodeikticus), en bacterias fotosintéticas (Rhodospirillum rubrum), y en levaduras. No todas estas especies muestran los mismos hidrocarburos predominantes, y los ejemplos mencionados también presentan otros n-alcenos principales como nC_{15} y nC_{21} , que no se detectaron en los cromatogramas de la zona de estudio. Si el

origen de los n-alcanos nC_{11} y nC_{12} , es microbiano, éstos deben de pertenecer a géneros o especies con características no reportadas en la bibliografía consultada.

Una posible fuente del nC_{11} , incluye a las cianofitas, donde este hidrocarburo equivale a más del 50% del total en ciertas especies (Winters et al., 1969; Dembicki et al., 1976); de acuerdo a Parker et al. (1967) estas algas son capaces de crecer en ambientes reductores. Blumer et al. (1971) reportan una predominancia de n-nonadeceno (nC_{19}) en ciertas cianofitas, y Youngblood et al. (1973) encontraron una abundancia de nonadecapenteno (nC_{15}) en la feofita Scytosiphon lomentaria, y presencia de poliolefinas del nC_{11} , en otras feofitas, rodofitas y clorofitas, aunque en menor concentración que nC_{21} .

En la Tabla 14 se resumen las características sobresalientes de los cromatogramas de las muestras analizadas. La presencia de material continental en la plataforma de Guerrero y Michoacán, en términos de la sumatoria de nC_{27} , nC_{29} y nC_{31} , osciló entre 5 y 93% (en peso) de los n-alcanos, con un valor modal de 35-53%. En la plataforma continental frente a Michoacán (estaciones 03, 14, 17 y 20) la cantidad de alcanos de alto peso molecular fue alto, entre 40 y 93%, y el nC_{11} fue el hidrocarburo más abundante. En cambio, el aporte de n-alcanos de origen continental frente a Guerrero osciló entre 30 y 50% y el nC_{11} dominó sobre los otros alcanos. En la estación 107 (frente a Laguna Chautengo), la escasa influencia continental (5.5%) se refleja en la ausencia de n-alcanos mayores de nC_{27} .

En la mayoría de las muestras la relación $nC_{11}:nC_{12}$, fue casi constante (~ 1) y posiblemente refleja un aporte por plantas superiores relacionadas taxonómicamente; los extremos de 0.3 y 1.4 de esta proporción sugieren una mezcla de desechos de plantas continentales en algunas estaciones. En la estación 03 esta proporción fue casi de 100 debido al valor alto de nC_{11} .

Los resultados de Botello y Macko (1980) en los sedimentos de las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano muestran una predominancia de nC_{11} y nC_{12} , entre los n-alcanos de bajo peso molecular; esto sugiere un origen común de hidrocarburos, o procesos diagenéticos similares en las lagunas y la plataforma continental adyacente. La principal diferencia entre estos dos ambientes se observa en la proporción $nC_{11}:nC_{12}$, que es de 1.0-1.6 en las lagunas y 0.3-0.6 en la mayoría de las muestras de la plataforma (Tabla 14). Las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano son someras y la mayoría intercambia agua con la zona oceánica en forma permanente o estacional (Lankford, 1977; Fernández et al., 1982) por lo que su hidrodinámica evita condiciones anóxicas permanentes. Incluso la Laguna Mitla, que está cerrada permanentemente, sufre oxigenación en sus partes someras por la acción eólica y solamente muestra anoxia en

TABLA 14. VALORES DERIVADOS DE LOS CROMATOGRAMAS, QUE PUEDEN INDICAR EL ORIGEN Y TRANSFORMACIONES DE LOS N-ALCANOS EN LOS SEDIMENTOS.

Estación	$\frac{C_{17+19+21}}{\sum n\text{-alcanos}}$	$\frac{C_{27+29+31}}{\sum n\text{-alcanos}}$	máximo (C ₂₀₋₂₈)	máximo	$\frac{C_{19}}{C_{18}}$	$\frac{C_{31}}{C_{29}}$	$\frac{C_{29}}{C_{18}}$
03	1.6	93.2	27,25,23	29,31,27,19,18	1.03	87.46	97.18
14	12.9	42.8	27,21,23	29,31,27,19,18	1.14	0.09	3.72
17	10.7	60.3	27,25,23	29,31,27,18,19	0.88	0.92	3.96
20	8.0	21.6	26,27,28	26,27,28,25	0.52	0.13	1.38
64	11.6	51.5	27,21,23	31,29,18,27	0.32	1.46	1.51
66	13.6	53.3	21,27,25	29,31,18,21	0.33	0.92	2.61
67	22.2	35.3	21,27	31,29,18,17	0.64	1.14	1.32
71	20.0	35.6	21,20,27	31,29,18,19	0.79	1.00	1.48
107	23.2	5.5	23,21,27	18,19,23,24	0.34	-	0
117	13.6	34.4	27,23,25	29,31,18,27	0.59	0.76	1.58
L. Hitle*	11.9	38.3	27,25,21	31,29,19,18	1.03	1.26	1.25
L. Cheutango*	18.8	31.9	27,21,25	29,19,18,27	1.57	-	1.72
L. Superior*	18.9	33.3	27,25,21	19,29,31,18	1.40	0.92	1.28
L. Inferior*	7.5	30.2	27,25,23	29,31,27,17,18	0.66	0.53	4.18

* Tomado de los cromatogramas de Botello y Macko (1980)

las aguas profundas de su porción oriental (Mandelli y Botello, 1976). En contraste, los sedimentos de la plataforma continental de la región son anóxicos permanentemente debido a la capa de mínimo oxígeno típica de la región (Wyrтки, 1967), que debe de reflejarse en las reacciones de diagénesis primaria.

Por lo tanto, las mayores concentraciones de n-alcános en la plataforma (y en el E de la Laguna Mitla; Botello y Macko, 1980) indican la tendencia a la preservación de la materia orgánica, y las diferencias en la proporción $nC_{15}:nC_{16}$ sugieren un aporte adicional de nC_{16} por reducción de ácidos grasos o por una alta densidad de organismos con este hidrocarburo. La presencia de n-alcános derivados del fitoplancton (excepto posiblemente cianofitas) es mínima, tanto en los sedimentos de la plataforma continental como en los de las lagunas costeras de la zona de estudio, ya que no se detectaron máximos de nC_{15} , nC_{17} o nC_{21} , que son característicos de estos organismos. Frente a la plataforma continental de Michoacán, el nC_{21} no sobresalió de los demás n-alcános; en las muestras de la plataforma de Guerrero, en cambio, este hidrocarburo se presentó como un máximo relativo entre los hidrocarburos de peso molecular intermedio, aunque su valor absoluto es inferior a nC_{16} y nC_{17} (Tabla 14). Lo anterior indica que los hidrocarburos derivados del fitoplancton son enmascarados por los de las bacterias autóctonas, o que los ácidos grasos del plancton son consumidos y reemplazados por los alcános bacterianos en la columna de agua del sedimento. Estas reacciones diagenéticas deben de ser considerables, ya que la biomasa fitoplanctónica en la región es alta (Owen y Zeitzschel, 1970; Malone, 1971).

Los datos de Botello y Macko (1980) muestran un aporte de 30-38% de hidrocarburos de origen terrestre y una relación $nC_{21}:nC_{22}$, cercana a la unidad en las lagunas Mitla, Superior e Inferior, que es similar a la región costera adyacente. Debido a que la ladera de la Sierra Madre del Sur se levanta desde la llanura costera y continúa casi directamente hacia el mar, el aporte continental puede estar favorecido por el escurrimiento en la época de lluvias; esto se refleja tanto en los sedimentos de las lagunas costeras como en la mayor parte de la plataforma continental estrecha.

7.2.2. Alifáticos resueltos no identificados. En la mayoría de las muestras de sedimento de de la zona de estudio se detectaron una serie de compuestos que eluyeron después del nC_{16} , nC_{21} , nC_{24} y nC_{27} , principalmente (Tabla 5). Casi todas las muestras presentaron estos compuestos que pueden significar isómeros ramificados de los n-alcános, alquenos o moléculas alicíclicas (Gearing *et al.*, 1976; Lytle y Lytle, 1976), y que incluso pueden servir de sustrato para la formación de n-alcános en los sedimentos (e.g., Blumer, 1965).

Gearing et al. (1976) atribuyeron un máximo de concentración de un alcano con un IK de 2070-2075 en la plataforma continental de la Península de Florida a una mezcla de compuestos isoméricos de fórmula $C_{23}H_{46}$, de origen marino. Farrington y Quinn (1973) observaron un pico en IK=2030 en sedimentos de Bahía Narragansett (E.U.) sintetizado biológicamente. También se han detectado este tipo de compuestos en sedimentos superficiales del Atlántico Norte (Farrington y Tripp, 1977), y cerca de un pozo petrolero (Lytle y Lytle, 1979), atribuibles a un origen biológico, tanto marino como continental. El hecho de que existan algunos compuestos homólogos (con la misma serie de IK) sugiere reacciones similares para compuestos orgánicos de origen biológico.

En este estudio, la estación 107 careció de n-alcacos de origen continental ($>nC_{22}$) y tampoco presentó compuestos con un IK de 2434, 2832 y 2922, por lo que el origen probable de éstos es terrestre. Por otro lado, los compuestos con un IK=2141, 2241, y 2272 sugieren un origen autóctono por detectarse en todas las muestras. Asimismo, las parejas de compuestos 2141-2241, y 2434-2832, indican dos tipos de hidrocarburos con diferente longitud de cadena.

7.2.3. Hidrocarburos aromáticos. La distribución de los compuestos aromáticos en los cromatogramas indica que son hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), esto es, moléculas con cuatro o más anillos aromáticos condensados. Varios autores han reportado sobre la presencia de HAPs en sedimentos no contaminados (Aizenshtat, 1973; Overton y Laseter, 1978), y en sedimentos con aporte antropogénico (MacLeod et al., 1978; NAS, 1975). En los sedimentos del área de estudio, la mayoría de los compuestos aromáticos eluyeron entre 9,10-DHF y el nonadecil. Los cromatogramas que publican Laflamme y Hites (1978) para sedimentos riverinos y para la combustión del querógeno indican que dentro de este intervalo de tiempos de retención se pueden detectar antraceno, metilfenantreno y fluoreno, entre otros. El fenantreno es un aromático tricíclico similar en estructura al ácido abiético de las resinas; los diterpenos tricíclicos se encuentran en las resinas de las plantas terrestres, y los diterpenos ácido dehidroabiético, 1-metil fenantreno y el reteno son indicadores de aporte terrígeno en sedimentos (Simoneit, 1977). De acuerdo a Tissot y Welte (1978), el di- y trimetil fenantreno se derivan de tritepenos mediante reacciones de fragmentación y deshidrogenación. Hunt (1979) concluye que algunas estructuras esteroides eventualmente maduran a fenantrenos. Por lo tanto, estos compuestos detectados en la zona de estudio deben de reflejar el aporte de materia orgánica de origen terrígeno hacia la plataforma continental.

Una fracción de picos reueltos eluyeron después del estándar de pireno ($Tr=31.40$); de acuerdo a cromatogramas de

bibliografía estos compuestos pueden representar al benzo (a) pireno, criseno y perileno (Laflamme y Hites, 1978). Algunas de estas moléculas, como el perileno y el criseno (que son aromáticos no sustituidos) se asemejan estructuralmente a triterpenos de origen biológico (Meinschein, 1969). Tissot y Welte (1978) explican que durante la diagénesis los triterpenos pentacíclicos de las plantas terrestres pueden sufrir una pérdida de anillos saturados por reacciones microbiológicas y una aromatización progresiva; esto se presenta principalmente en sedimentos reductores. La influencia de la materia orgánica de origen terrestre en los sedimentos de la zona de estudio, caracterizada por los n-alcanos de alto peso molecular, el ambiente reductor de la zona de estudio, y la acumulación de compuestos aromáticos entre estándares cercanos, hace pensar que el pico máximo con $Tr=38.10$ puede ser un HAP no sustituido o alquilsustituido derivado de plantas continentales. La falta de un estándar imposibilita su caracterización, sin embargo, de acuerdo a su posición de los cromatogramas se puede pensar que se trata de perileno, criseno o un triterpeno con uno o más anillos aromatizados.

Por otro lado, se observó la ausencia de compuestos mono- y di-aromáticos, considerados como los más tóxicos para los organismos debido a su alta solubilidad y a su facilidad para ser bioacumulados (Warner, 1976). Estos compuestos en sedimento generalmente reflejan la presencia de petróleo; el aporte por petróleo es poco probable debido a que también se presentaría una amplia gama de compuestos (Tissot y Welte, 1978; Shaw *et al.*, 1979), y una mezcla compleja no resuelta considerable (Farrington y Quinn, 1973).

7.3. Relaciones non-par.

En la Tabla 6 se presentan las razones IPC para diferentes regiones del mundo. Los altos IPCs que se observan en otras localidades son debidos al aporte de hidrocarburos de origen terrigeno, denotado por n-alcanos de cadena larga, entre $n_{C_{11}}$ y $n_{C_{12}}$; las plantas superiores como el maíz y la cebada, por ejemplo, tienen valores IPC de 5.5 y 7.2, respectivamente (Cooper y Bray, 1963). Las algas marinas y las bacterias tienen, en cambio, un IPC cercano a 1.0 si se excluye al $n_{C_{11}}$ (Han y Calvin, 1969). Clark y Blumer (1967) encontraron un IPC de 1.2 en una muestra de plancton y 0.7-1.5 en algas bentónicas y pelágicas; los pastos marinos de Laguna de Términos presentan IPCs entre 1.0 y 1.5 (Botello y Mandelli, 1978). Por otro lado, en sedimentos carbonatados, reductores o antiguos, y en el petróleo, se pueden encontrar IPCs menores o iguales a la unidad, reflejo de una menor o igual cantidad de n-alcanos de cadena non (Bray y Evans, 1961; Tissot y Welte, 1978). Según Philippi (1965) los altos IPCs en sedimentos recientes son producto de la especificidad

de la reacciones biológicas, en contraste con las reacciones diagenéticas que se producen a profundidad y que erradican el alto IPC original.

En una misma región puede existir una oscilación de IPCs como en los sedimentos costeros del Mar Beaufort, en la plataforma de Nueva Escocia, y en la Cuenca de Guaymas, dependiendo de la predominancia marina o terrestre de la materia orgánica presente, de la profundidad de la muestra, o de las reacciones diagenéticas predominantes. En la zona de estudio la gran oscilación de estos valores puede ser el reflejo del tipo de materia orgánica depositada y de las reacciones dentro del sedimento.

En relación a la PNP, Johnson y Calder (1973) notaron un valor promedio alto (PNP=4.7) en la planta Spartina alterniflora, similar al del sedimento donde se encuentra; este valor disminuye con la profundidad del sedimento por lo que sugieren que los n-alcanos sedimentados sufren una degradación y resíntesis extensa que se refleja en la PNP. En las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano, Botello y Macko (1980) encontraron PNP's de 1.5 a 5.0 con los valores más bajos en Laguna Mitla y los más altos en Laguna Superior e Inferior; concluyen que los n-alcanos presentes son derivados de organismos debido a que las PNP's son mayores de 1.0. Las PNP's de las lagunas costeras de la región son mayores que los promedios de la plataforma continental adyacente (0.8-2.4; Tabla 7); esto indica la menor influencia de los alcanos pares en las lagunas. En los sedimentos de la plataforma frente a Michoacán (estaciones 03, 14 y 17) tanto la PNP promedio como la PNP₁₀ es mayor que en las muestras frente a Guerrero debido al mayor carácter terrígeno en las primeras. Las curvas PNP de las estaciones 64-66 (frente a Tenexpa), por un lado, y 67-71 (Tenexpa) y 117 (frente a Laguna Chautengo), por el otro, son similares e indican un origen o una transformación de hidrocarburos similar en cada una de esas regiones.

Tanto los valores IPC como PNP promedio para los sedimentos del Pacífico Tropical Mexicano reflejan el aporte autóctono de los n-alcanos ($\leq nC_{26}$) y el ambiente reductor de la región; sin embargo, la presencia de material continental también influye ya que de otra manera estos valores serían menores de la unidad. Las curvas PNP describen mejor a los n-alcanos de la zona ya que muestran la transición entre los alcanos autóctonos pares y los terrígenos nones; la influencia terrígena se observa con las PNP's mayores de nC_{26} .

7.4 Isoprenoides

En la Tabla 8 se observa que el fitano se presenta preferentemente en regiones anóxicas y reductoras, como el Mar Muerto. Sin embargo, algunas regiones costeras altamente productivas también muestran concentraciones detectables de

fitano, como Bahía Dugeness (E.U.), probablemente como resultado de la reducción del exceso de fitol que llega a depositarse.

Por lo general el pristano, a diferencia del fitano, es común en los sedimentos recientes. Keizer et al. (1978) encontraron un promedio de 6.0 ng/g de pristano en los sedimentos de la plataforma de Nueva Escocia; Aizenshtat et al. (1973) observaron de 0 a 665 ng/g de pristano en sedimentos profundos del Golfo de México. En sedimentos no contaminados de Bahía Dugeness (E.U.) se presentan 16-67 ng/g de pristano, en contraste con los sedimentos contaminados de Puerto Angeles, con 74-400 ng/g (MacLeod et al., 1977).

En la mayoría de los sedimentos superficiales de diferentes regiones la proporción pristano:fitano es mayor de 1.0. En sedimentos reductores puede presentarse una mayor proporción de fitano, posiblemente como resultado de la reducción del fitol (Simoneit, 1977; Welte y Waples, 1973; Shaw et al., 1979); hay excepciones a esto, como en un fiordo reductor donde Brown et al. (1972) detectaron al fitano en concentraciones traza.

La plataforma continental de Guerrero y Michoacán se caracterizó por presentar valores relativamente altos de fitano y por una relación pristano:fitano menor de la unidad (~ 1:3).

El bajo contenido de oxígeno en la región, la predominancia de alcanos pares de bajo peso molecular, y las concentraciones naturales de hidrocarburos totales sugieren que estos isoprenoides no son derivados de la actividad antropogénica sino por reacciones de reducción. El pristano en la zona de estudio tiene una baja concentración en relación con otras regiones costeras, aún cuando la biomasa del zooplancton en la zona es alta (Longhurst, 1976). Esto puede significar que el pristano en la región es el resultado de la combinación del aporte de detritus zoopláctónico y de ciertas bacterias del sedimento (e.g., Han y Calvin, 1969), mientras que el fitano es el producto predominante de la reducción geoquímica del fitol de la clorofila aportada por las plantas marinas y terrestres.

De acuerdo a Botello y Macko (1980) las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano tienen una relación pristano:fitano del orden de 3.9 a 7.9; ellos consideran que esta alta proporción de pristano demuestra el origen biogénico de los hidrocarburos presentes. Sus valores contrastan con los de los sedimentos de la plataforma adyacente lo que hace suponer que las condiciones anóxicas en las lagunas no son tan severas y el fitol depositado se transforma en pristano preferentemente; esto también se refleja en la proporción $nC_{11}:nC_{12}$, que es mayor de la unidad dentro de las lagunas. Estos autores encontraron los valores más bajos de la relación pristano:fitano en las bocas de las lagunas Chautengo y Superior, y se asocian con los valores

más altos de hidrocarburos lo que confirma que las bocas son una transición entre las condiciones lagunares y las condiciones oceánicas.

Alternativamente, las correlaciones pristano:fitano ($r=0.86$), pristano: nC_{11} ($r=0.85$) y fitano: nC_{11} ($r=0.88$) pueden significar un origen geoquímico común donde el pristano y el fitano se derivan del fitol sedimentado, y el nC_{11} es el producto de la reducción de ácidos grasos, o un tiene un origen biológico producido por algún tipo de bacteria característica de la región.

7.5. Fracción no saponificable.

En la Tabla 15 se muestran valores de la fracción lipídica total en diversos sedimentos. FNS de la zona de estudio es difícil de comparar con la de otras regiones, ya que la bibliografía consultada reporta datos de la fracción lipídica total. Frente a las costas de Texas (E.U.), se han reportado valores de 99 a 400 ppm de lípidos. Los sedimentos terrigenos del Río Mississippi tienen 232 ppm de lípidos, contra 44-158 ppm en los sedimentos más carbonatados del NE del Golfo de México. En sedimentos del Mar Muerto, que tiene bajas concentraciones de n-alcenos, el total de ácidos grasos (libres y saponificables) oscila entre 4 y 15 ppm, con una proporción de lípidos saturados:insaturados constante tanto en sedimentos oxidantes como reductores. Por otro lado, en los sedimentos de la plataforma continental de Nueva Escocia, también baja en alcanos, se presentan 19 a 640 ppm de materia orgánica extraíble. En sedimentos del Golfo de California, Simoneit *et al.* (1979) encontraron 5 a 200 ppm de la fracción lipídica (consistente en hidrocarburos, ácidos grasos y alquilmetonas).

La FNS de los sedimentos de la plataforma de Guerrero y Michoacán es comparativamente mayor que la fracción lipídica de otras regiones, aún cuando ésta no incluye a los ácidos grasos saponificables. Los valores promedio disminuyeron con la latitud a lo largo de la plataforma y posiblemente refleja el aporte de materia orgánica terrigena que es más alto frente a Michoacán y disminuye en Guerrero (de acuerdo a la sumatoria de nC_{27} , nC_8 , y nC_{11} ; Tabla 14). Por otro lado, la anaerobiosis de la región debe de retardar o limitar la utilización de la materia orgánica depositada, por lo que los valores de esta fracción son altos.

7.6. Indicadores de contaminación.

Además de la utilización de la cantidad de las diferentes fracciones de hidrocarburos para evaluar la contaminación por petróleo, se han desarrollado otros parámetros que indican el nivel y tipo de alteración. Estos son especialmente importantes en aquellas regiones donde no se han presentado

TABLA 15. CONCENTRACION LIPIDICA EN SEDIMENTOS DE DIVERSAS REGIONES

Zona	[μ ppm]	Tipo ¹	Referencia ²
Costas de Texas	99-400	LSC	LL
NE del Golfo de México	44-232	LSC	GE
Mar Muerto	4-15	LSA	NI
Nueva Escocia	19-640	MOE	KE
Cuenca de Guaymas	5-200	MOE	SI
Golfo de Tehuantepec	79-479	MOE	IM
Guerrero y Michoacán	25-3567	FNS	ET

¹LSC: lípidos solubles en cloroformo; LSA: lípidos libres y saponificables; MOE: materia orgánica extraíble; FNS: fracción no saponificable

²LL: Lytle y Lytle (1979); GE: Gearing *et al.* (1976); NI: Nissebaum *et al.* (1972); KE: Keizer *et al.* (1978); SI: Simoneit *et al.* (1979); IM: IMP (1984); ET: Este trabajo

TABLA 16. INDICADORES DE CONTAMINACION EN LA ZONA DE ESTUDIO

Parámetro	Estación									
	03	14	17	20	64	66	67	71	107	117
$\frac{2n_{C_{29}}}{(n_{C_{24}}+n_{C_{30}})}$	156.5	9.63	--	1.12	5.37	7.56	5.67	5.67	0	4.10
pristano	0.43	0	0	0.54	0.37	0.51	0.30	0.19	0.23	0.30
$\frac{n_{C_{17}}}{\text{fitano}}$	0.22	0.13	0.05	0.24	0.08	0.18	0.23	0.26	0.15	0.21
$\frac{\text{pris}+\text{fit}^1}{\sum n\text{-alcanos}}$	--	--	--	54.1	--	126.5	26.9	--	--	132.3
$\frac{n_{C_{16}}}{\sum n_{C_{20-22}}}$	24.8	2.2	4.1	1.0	2.4	2.9	2.0	2.0	0.8	1.6
$\frac{\sum n_{C_{20-22}}}{\sum n_{C_{20-22}}}$	0.8	0.6	0.7	0.6	0.4	0.5	0.8	0.7	0.4	0.6
$\frac{\sum n_{C_{20-22}}}{\sum n_{C_{20-22}}}$	37.8	3.1	8.1	1.1	4.4	5.2	3.7	3.1	1.4	2.3
$\frac{\sum n_{C_{20-22}}}{\sum n_{C_{20-22}}}$	0.02	0.21	0.21	0.21	0.27	0.23	0.52	0.40	1.03	0.31
$\frac{\sum n\text{-alc}_{20}}{\sum n\text{-alc}}$	95.8	59.5	91.2	60.7	4.4	51.9	68.9	72.8	80.0	61.5
Alifático										

¹x 1000

²en intervalo $\leq n_{C_{20}}$

¹en todo el intervalo

²en intervalo $\geq n_{C_{21}}$

derrames de petróleo, pero que se encuentran en zonas con una actividad antropogénica importante. Los indicadores también son de utilidad para tener datos de los niveles base con fines comparativos antes y después de la influencia antropogénica en un ambiente originalmente no explotado.

Los aportes de petróleo al medio ambiente incluyen derrames, descargas de ciudades o industrias, transporte marítimo, y fugas naturales (NAS, 1975). El petróleo en la columna de agua sufre oxidación, evaporación y disolución (Clark y MacLeod, 1977; Wade y Quinn, 1975); también se puede incorporar a los organismos por adsorción o ingestión (NAS, 1975), o al material en suspensión (Meyers y Oas, 1978). Sin embargo, la mayor parte se deposita en los sedimentos donde su degradación es relativamente lenta (Cretney et al., 1978; Youngblood y Blumer, 1973).

Los hidrocarburos fósiles se diferencian de los de origen biogénico en que los primeros tienen un mayor número de moléculas con una gran variedad de estructuras y pesos moleculares, igualdad de series homólogas, un mayor número de cicloalcanos e hidrocarburos aromáticos, y presenta compuestos heteroatómicos (NAS, 1975; Farrington, 1978; Van Vleet y Quinn, 1978).

En la Tabla 16 se muestran los valores obtenidos para algunos indicadores de contaminación, según los definen Lytle y Lytle (1979), en los sedimentos de la zona de estudio.

La proporción $2 * (nC_{28} / (nC_{28} + nC_{18}))$ se conoce como índice de madurez (Philippi, 1965) y tiende a la unidad en los hidrocarburos de petróleo. En los sedimentos de la zona de estudio su valor osciló desde no medible (estaciones 17 y 107) hasta 156.5 (estación 03). La mayoría de las muestras presentaron un índice de madurez entre 4 y 10, y la estación 20 (frente a Caleta de Campos) tuvo un valor cercano a la unidad.

Las razones pristano/ nC_{17} y fitano/ nC_{18} pueden indicar contaminación por petróleo cuando son altas debido a que estos isoprenoides son abundantes en el petróleo (NAS, 1975; Nissebaum et al., 1972). En la zona de estudio estos valores fueron bajos (<0.5) y la razón fitano/ nC_{18} fue menor debido a la abundancia relativa de nC_{18} . Botello y Macko (1980) reportan proporciones más heterogéneas en las lagunas costeras de la región (0.2-1.5, y 0-0.8, respectivamente). En contraste, el petróleo Ixtoc-I tiene una razón pristano/ nC_{17} de 0.5-0.8, y fitano/ nC_{18} de 0.64-0.68 tanto en la boca del pozo como el recolectado en playas (Cuevas et al., 1980). En algas feofitas, cianofitas y rodofitas, en cambio, la razón pristano/ nC_{17} es del orden de 10^2 a 10^4 , debida a la concentración elevada de nC_{17} en estos grupos (Clark y Blumer, 1967). Esto sugiere que las concentraciones de estos isoprenoides en la zona de estudio son bajas en relación con sus respectivos n-alcanos, aunque no tan pequeñas como para indicar un aporte directo de fitoplancton.

La proporción (pristano+fitano)/ Σn -alcanos fue de 0.3-6.0% en la plataforma de Michoacán y Guerrero; la proporción más baja se encontró frente a Michoacán (estaciones 03, en Punta Tejupán, y 14 y 17, frente a Caleta de Campos) debido a la mayor cantidad de alcanos de alto peso molecular que tuvieron las muestras. Estos valores son similares a los calculables a partir de los datos de Keizer et al. (1978) en la plataforma continental de Nueva Escocia. Cerca de un pozo petrolero en el Golfo de México NW, Lytle y Lytle (1979), en cambio, reportan un valor de 3%, que aumenta a 6% bajo condiciones de un derrame simulado. Por lo tanto, este indicador parece no ser adecuado para valorar contaminación en la zona de estudio, ya que los resultados que se obtienen son debidos a las condiciones ambientales de la región.

La proporción Σn -alcanos/ nC_{16} es utilizada por Gearing et al. (1976) como índice de contaminación debido a que el nC_{16} es raro entre los hidrocarburos biogénicos, aunque no se debe de descartar un alto valor de este alcano por la síntesis microbiana o por reacciones diagenéticas. De acuerdo a estos autores, esta proporción oscila alrededor de 20 en los sedimentos del NE del Golfo de México. En la zona de estudio este valor osciló entre no detectable y 26.9-132.3 debido a la casi ausencia de nC_{16} .

La proporción (Σ alcanos nones/ Σ alcanos pares) para los diferentes intervalos de pesos moleculares indica una tendencia al predominio de alcanos nones entre nC_{21} y nC_{31} , especialmente entre las moléculas de alto peso molecular. Entre los n -alcanos ligeros ($\leq nC_{12}$) esta proporción es menor de 1.0 debido principalmente al alto valor de nC_{14} . La razón Σn -alcanos₂₀/ Σn -alcanos₂₁) fue de 0.02-0.21 frente a Michoacán y aumentó a 0.23-1.03 en las muestras frente a Guerrero reflejando el mayor aporte continental en las estaciones 03, 14 y 17 (frente a Caleta de Campos).

Algunos indicadores de contaminación determinados para la plataforma de Guerrero y Michoacán son comparables con los de zonas contaminadas por petróleo, aún cuando la zona de estudio no presenta fuentes de contaminación (e.g., (pristano+fitano)/ Σn -alcanos; Σ alcanos(nones/ pares totales), y Σ alcanos(nones/pares <20)). Esto sugiere que deben de desarrollarse otros indicadores que sirvan para diferenciar los valores obtenidos por reacciones geoquímicas en una región anóxica.

7.7. Diagénesis de hidrocarburos en la zona de estudio.

La acumulación de la materia orgánica en los sedimentos y sus modificaciones por reacciones diagenéticas dependen del ambiente de deposición, de la cantidad y origen de la materia orgánica, y del ambiente de acumulación en el sedimento (Aizenshtat et al., 1973; Tissot y Welte, 1978; Hunt, 1979). La acumulación tiende a ser mayor en regiones

productivas, someras, de energía relativamente baja, y pobres en oxígeno disuelto. De la Lanza (1987) indica que la materia orgánica sedimentada se remineraliza, es consumida por detritívoros bentónicos, o pasa a formar parte de compuestos húmicos refractarios, de acuerdo a la calidad y cantidad de materia orgánica, del nivel de descomposición iniciado en la columna de agua, de la población microbiana, del tamaño del grano del sedimento, de la velocidad de deposición y enterramiento de la materia, de la profundidad de la acción del viento, y de la resuspensión de materiales.

7.7.1. Ambiente de deposición. El Pacífico Tropical Mexicano presenta una capa de mínimo oxígeno que se extiende desde los 100 m hasta un máximo de 1400 m de profundidad; las condiciones de anoxia máxima (<0.25 ml/l) ocurren entre los 300 y 500 m (Devol et al., 1976), y sobre la plataforma continental el límite superior de la capa de mínimo oxígeno se encuentra a una profundidad menor, desde los 50 m de profundidad (Gallegos et al., 1984). Según Wyrthki (1966a) la capa de mínimo oxígeno se intensifica cerca de la costa debido a la poca turbulencia y al aumento en la productividad.

La degradación de la materia orgánica en la columna de agua de la zona de estudio es menor que en las regiones óxicas, debido a que la desnitrificación es la reacción de respiración predominante (Devol et al., 1976). Este tipo de respiración es la alternativa energética más favorable en ausencia de oxígeno molecular, pero tiende a preservar la materia orgánica ya que ésta es oxidada un 70% menos que en la respiración aeróbica (Jahnke et al., 1982).

En los sedimentos del Pacífico Tropical Mexicano, tanto sobre la plataforma continental como frente al talud, se presentan condiciones de bajo contenido de oxígeno. Sawlan y Murray (1983) estimaron que el espesor de la capa óxica del sedimento disminuye de 12 a 1 cm al aproximarse al margen continental en la cuenca de Guatemala; sobre la plataforma continental frente a Islas Tres Marias ($\sim 21^{\circ}$ N) estos autores encontraron que los sedimentos son altamente reductores y su capa óxica es muy delgada o inexistente. De acuerdo a Jahnke et al. (1982) al aumentar el flujo de carbono orgánico hacia el sedimento del Pacífico Tropical Mexicano, también aumentan las velocidades de consumo de oxígeno, de mineralización de la materia orgánica, y de la desnitrificación; asimismo, aumenta la cantidad de materia orgánica no degradada. Los sedimentos sobre la plataforma y talud continentales son arenas y lodos negros y grises, desde Oaxaca hasta Colima (Sria de Marina, Carta SM 500), que indica un ambiente preferentemente reductor. Márquez y Morales (1984) muestran que frente a Guerrero la coloración olivo del sedimento refleja condiciones reductoras del ambiente; esto es más conspicuo en los lodos arenosos y en los lodos, que

predominan lejos de la línea de costa. Esto refleja la baja concentración de oxígeno de la columna de agua, ya que el sedimento más fino dificulta la transferencia de gases en la interfase sedimento-columna de agua (Riley y Chester, 1971).

El patrón de corrientes sobre las plataforma continental es paralelo a la línea de costa (Wyrтки, 1966a; Love, 1972) y es relativamente lento. Esta situación favorece la depositación del material suspendido sobre la plataforma continental, y las franjas paralelas de sedimento encontradas por Márquez y Morales (1984) indican poca turbulencia (y por lo tanto, poca oxigenación) en el fondo. Debido a esto, el ambiente de depositación en la plataforma de la zona de estudio es anaeróbico, tanto en la columna de agua como dentro del sedimento; esto genera una situación favorable para la preservación de la materia orgánica en la plataforma de Guerrero y Michoacán, como lo demuestran las concentraciones de las diferentes fracciones de hidrocarburos estudiados, y los niveles reportados para los sedimentos del Golfo de Tehuantepec (IMP, 1984).

7.7.2 Cantidad y origen de la materia orgánica. La cantidad de materia orgánica en el sedimento depende del aporte original y de su preservación (Tissot y Welte, 1978; Hunt, 1979). La productividad primaria en la zona de estudio es del orden de $75 \text{ gC/m}^2\text{-año}$ (Owen y Zeitzschel, 1970), que es moderadamente alto si se compara con los giros tropicales ($\approx 50 \text{ gC/m}^2\text{-año}$), aunque es menor que en zonas de surgencia activa ($>1000 \text{ gC/m}^2\text{-año}$). Esta productividad oscila poco a lo largo del año y tiende a aumentar cerca de la costa.

La influencia continental sobre la plataforma también debe de ser importante debido a la cercanía de la Sierra Madre del Sur con la línea de costa, y a que la plataforma es estrecha. En casi todas las muestras analizadas se presentaron n-alcenos de origen terrestre (Tablas 3 y 14), principalmente frente a Michoacán. Una excepción a esto lo constituye la estación 107 (frente a Laguna Chautengo), donde solamente se observan hidrocarburos de bajo peso molecular. Entre los hidrocarburos aromáticos, se detectaron HAPs dentro de un intervalo corto de tiempos de retención, lo que tiende a confirmar el aporte de materia orgánica continental.

La producción primaria es alta en las lagunas costeras del Pacífico Mexicano (e.g., $>800 \text{ gC/m}^2\text{-año}$ en Laguna Huizache-Caimanero), pero está balanceada por la respiración en el sedimento. En las lagunas costeras, una fuente importante de carbono es aportada por la macrovegetación; sin embargo, la mineralización es rápida debido a las condiciones altamente variables dentro de estos sistemas (De la Lanza, 1986). Esto y el hecho de que están comunicadas con el mar durante un corto tiempo (Lankford, 1977; Mandelli y Botello, 1976), así como el poco volumen que representan, indican que la influencia de la materia orgánica lagunar en los

sedimentos de la plataforma debe de ser mínima.

Márquez y Morales (1984) reportan concentraciones de materia orgánica del orden de 1 a 30% en la fracción arenosa de la plataforma de Guerrero. De acuerdo a Sawlan y Murray (1983) la cantidad de carbono orgánico en los sedimentos de la Cuenca de Guatemala aumenta de 1.67 a 2.70% hacia el margen continental; estos valores son altos si se comparan con el intervalo de 0.1-1.0% de carbono orgánico en la mayoría de los sedimentos oceánicos (Hunt, 1979), y se asemejan más a los de sedimentos de cuencas semicerradas como un fiordo (1-5%; Brown *et al.*, 1972), la cuenca de Guaymas (1.7-2.5%; Simoneit *et al.*, 1979), o la laguna Huizache-Caimanero (2-15%; De la Lanza, 1986). Jahnke *et al.* (1982) calculan que entre el 4 y 10% del carbono producido por la fotosíntesis se deposita en los sedimentos de la Cuenca de Guatemala.

La concentración de la FNS en la zona de estudio puede dar una idea de la cantidad de materia orgánica en el sedimento. La FNS de las muestras es mayor que la fracción lipídica de otras regiones costeras y oceánicas, con hasta un factor de 10. Frente a Michoacán, los valores promedio por región son mayores que frente a Guerrero (Fig. 14), debido a la mayor influencia continental. Esta mayor proporción de hidrocarburos continentales la ejemplifican las estaciones 03, 14 y 17, frente a Michoacán, donde los n-alcenos mayores de $n_{C_{20}}$, predominan sobre los de cadenas cortas.

La plataforma continental de los estados de Guerrero y Michoacán, por lo tanto, presentan niveles altos de materia orgánica en el sedimento, similar a los de regiones altamente reductoras y a los de lagunas costeras muy productivas.

Aún cuando Hunt (1979) asegura que el origen y la cantidad de la materia orgánica es de poca importancia relativa para su preservación en el sedimento, los resultados de la estación 107 (frente a Laguna Chautengo) sugieren lo contrario. En esta estación no se encontraron n-alcenos de cadena larga ($>n_{C_{20}}$), y las concentraciones de los n-alcenos de cadena corta fueron hasta 6 veces más bajos que en las otras muestras. Las estaciones 03, 14 y 17 (frente a Michoacán), en cambio, mostraron concentraciones elevadas de alcenos de cadena larga, y los de cadena corta también se encontraron en concentraciones elevadas. Por lo tanto la naturaleza de la materia orgánica en la zona de estudio si influye en los niveles de los n-alcenos, al menos durante la diagénesis temprana.

El origen de los n-alcenos en la plataforma de Guerrero y Michoacán es una combinación alóctona y autóctona. Aparentemente, los n-alcenos de origen terrestre se depositan sin sufrir alteración, por lo que se pueden considerar como hidrocarburos preformados. Los n-alcenos de cadena corta, en cambio, son el resultado de la degradación de los diversos compuestos de las plantas terrestres.

El hecho de que la productividad del fitoplancton y el zooplancton en la columna de agua sea moderada indica que la materia orgánica presente es el resultado de la preservación en un ambiente anóxico, más que el efecto de un exceso en la producción que alcance a depositarse en el sedimento.

7.7.3 Ambiente de acumulación. La materia orgánica sedimentada se transforma en otros compuestos de acuerdo a las reacciones de diagénesis predominantes; estas reacciones son función del ambiente de acumulación y del origen de la materia orgánica (Tissot y Welte, 1978; Hunt, 1979).

Kvenvolden y Weizer (1967) desarrollaron un modelo cuantitativo para la producción de n-alcanos a partir de n-ácidos grasos. Ellos consideran que los ácidos grasos pueden degradarse a otro ácido de menor cadena, descarboxilarse a un alcano de cadena menor, o reducirse a un alcano de cadena igual, según las condiciones de óxido-reducción del medio. La distribución que generan con un 50% de alcanos producidos por reducción (Fig. 16) se asemeja a la distribución de n-alcanos frente a Guerrero (Fig. 9), con valores altos de nC_{11} , y un máximo secundario en nC_{18} . Bajo condiciones que favorecen una reducción del 90% de la materia orgánica, predominan los n-alcanos de cadenas pares.

En la zona de estudio se observan picos de nC_{18} en casi todas las muestras. Por lo tanto, hay reacciones de reducción en la superficie del sedimento de la zona de estudio, aunque no se producen en todas las longitudes de cadena de hidrocarburos. Las reacciones de reducción deben de aumentar dentro del sedimento, principalmente por el aumento en la demanda de oxígeno disponible. Esta anoxia, además de favorecer la preservación de la materia orgánica, produce reacciones de reducción de los metales en el sedimento (Sawlan y Murray, 1983; De la Lanza, 1986).

La relación pristano:fitano es menor de la unidad sobre la plataforma continental (Tabla 8). Esto sugiere que el fitol de la clorofila es reducido a fitano (Lytle y Lytle, 1979), y que el pristano presente es de origen biológico. La descarboxilación del fitol al pristano es poco probable ya que se requiere de la oxidación previa de un alcohol (Blumer, 1965). En las lagunas costeras de la región la relación pristano:fitano es mayor (Botello y Macko, 1980) debido a que el ambiente en los sedimentos no es tan reductor.

Entre los n-alcanos de bajo peso molecular destaca la ausencia de compuestos atribuibles al fitoplancton tales como el nC_{11} y nC_{17} (Tabla 3). Sobre la plataforma continental de la zona de estudio se presenta una termoclina pronunciada (Gallegos et al., 1984), que debe disminuir la velocidad de hundimiento de los restos del fitoplancton y otros organismos. Este material particulado a su vez sirve de sustrato para los microorganismos en la columna de agua, quienes deben de modificar la materia orgánica con reacciones

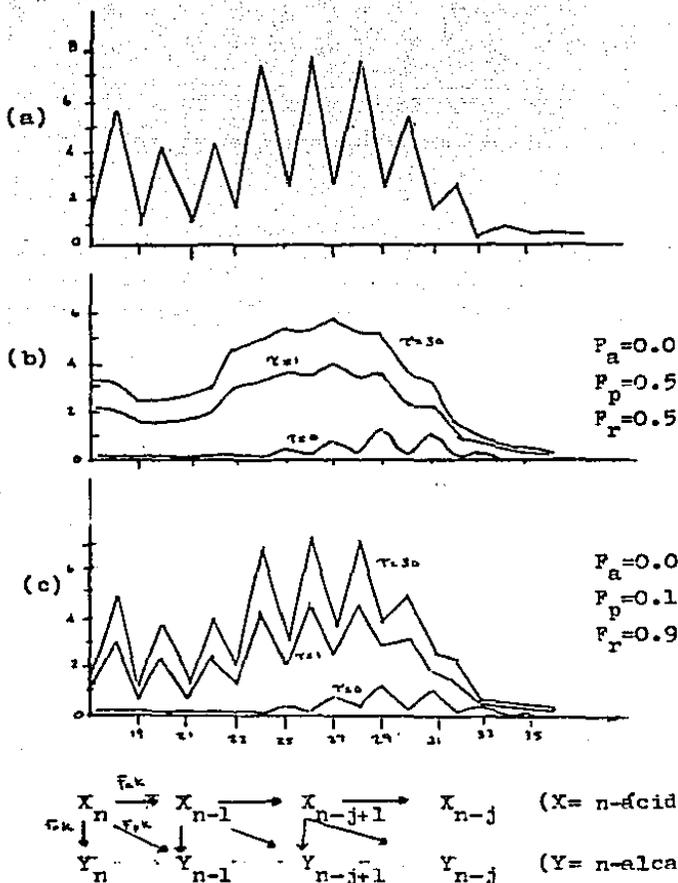


Fig. 16. MODELO DE GENERACION DE N-ALCANOS (b y c) A PARTIR DE N-ACIDOS GRASOS (a). F_a = FRACCION DE ACIDOS DESMETILADOS; F_p = FRACCION DE ACIDOS DESCARBOXILADOS; F_r = FRACCION DE ACIDOS REDUCIDOS. τ = Tiempo Relativo. (ADAPTADO DE KVENVOLDEN Y WEISER, 1967).

metabólicas. La ausencia de n-alcenos típicos del fitoplancton también puede indicar la falta de una producción primaria excedente que alcance a depositarse directamente en el sedimento.

8 CONCLUSIONES

Las concentraciones de hidrocarburos alifáticos, aromáticos y totales en los sedimentos del Pacífico Tropical Mexicano se encontraron dentro del intervalo observado en otras regiones no contaminadas. Sus valores relativamente altos corresponden a los de una región costera con tendencia a la preservación de materia orgánica.

Los n-alcenos de los sedimentos corresponden a un origen predominantemente terrígeno; la proporción $n_{C_{31}}:n_{C_{29}}$ es casi invariable y puede reflejar la influencia de plantas superiores relacionadas taxonómicamente. La predominancia de hidrocarburos terrígenos en la región se explica por la cercanía de la Sierra Madre del Sur a la costa, y por la estrecha plataforma continental.

Los hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular son de origen autóctono ya que se detectan aún en muestras carentes de hidrocarburos terrígenos. Entre estos alcanos destacan el n-octadecano y el n-nonadecano, cuyo origen probable es bacteriano y/o diagenético. El aporte de hidrocarburos del fitoplancton es mínimo ya que no se detectan los n-alcenos típicos de estos organismos. Esto contrasta con la alta densidad fitoplanctónica reportada para la zona de estudio e implica que los productores primarios son transferidos a otros niveles de la trama trófica y son depositados en los sedimentos como productos de desecho de otros organismos. La presencia de una termoclina somera e intensa y la ausencia de corrientes generadoras de surgencias intensas pueden explicar la ausencia de restos fitoplanctónicos sobre la plataforma.

El fitano se encuentra en una mayor proporción que el pristano; esto es poco común en sedimentos recientes y sugiere que la región es ideal para estudios de la transformación diagenética del fitol clorofiliano a sus isoprenoides.

La relación IPC es baja ($\approx 1-3$) y refleja la presencia de los n-alcenos pares de bajo peso molecular. Los valores PNP describen mejor la relación entre los alcanos nones y los pares en la zona de estudio ya que su valor muestra la transición entre los hidrocarburos producidos por diagénesis (de bajo peso molecular) y los depositados como tales ($\geq n_{C_{29}}$).

La fracción aromática consiste de hidrocarburos aromáticos policíclicos agrupados en un intervalo estrecho de

tiempos de retención y dominados por un sólo compuesto. Estos hidrocarburos parecen tener un origen biológico común, y posiblemente se derivan de triterpenos de las resinas de las plantas continentales. La presencia de perileno es factible dada las características geográficas y químicas de la zona de estudio.

La diagénesis en los sedimentos recientes de la zona de estudio está dominada por reacciones de reducción de compuestos orgánicos como ácidos grasos, hidrocarburos insaturados, fitol, y moléculas alicíclicas y aromáticas. El ambiente reductor de la región se manifiesta en la columna de agua donde existe una capa de mínimo oxígeno con aereación limitada, y debe de intensificarse en los sedimentos. En las lagunas costeras del Pacífico Tropical Mexicano las condiciones anóxicas no son tan drásticas y por lo tanto la cantidad de hidrocarburos sedimentados es menor, y las relaciones pristano:fitano y $nC_{17}:n_{17}$, son mayores de la unidad, aún cuando el origen de los hidrocarburos puede ser el mismo que en la plataforma adyacente.

Algunos parámetros indicadores de contaminación calculados para la región sirven como referencia para estudios posteriores (tales como alcanos/ nC_{14} , índice de madurez, pristano/ nC_{17} , y fitano/ nC_{18}). Sin embargo, algunos de ellos no son de utilidad ya que enmascaran el posible aporte antropogénico debido a la presencia de compuestos similares a los del petróleo. Por lo tanto, se requiere generar indicadores específicos para esta región.

Las características ambientales de la plataforma continental del Pacífico Tropical Mexicano favorecen la preservación de la materia orgánica en los sedimentos. Su concentración dentro de los sedimentos debe de ser estudiada, principalmente en los sedimentos de los cañones submarinos frente a las bocas de los ríos, ya que son zonas de sedimentación rápida y de transformación diagenética incompleta.

9 BIBLIOGRAFIA

- Aizenshtat, Z. 1973. Perylene and its geochemical significance. Geochim. Cosmochim. Acta, 37: 559-567.
- Aizenshtat, Z., M.J. Baedeker, y I.R. Kaplan. 1973. Distribution and diagenesis of organic compounds in JOIDES sediment from Gulf of Mexico and western Atlantic. Geochim. Cosmochim. Acta, 37:1881-1898.
- Albaiges, J., y J.M. Torradas. 1974. Significance of the even-carbon n-paraffin preference of a Spanish crude oil. Nature, 250: 567-568.
- Albrecht, P., M. Vandenbroucke, y M. Mandegue. 1976. Geochemical studies on the organic matter from the Douala Basin (Cameroon)-I. Evolution of the extractable organic matter and the formation of petroleum. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 791-799.
- Blackburn, M., L.M. Laurs, R.W. Owen, y B. Zeitzschel. 1970. Seasonal and areal changes in standing stocks of phytoplankton, zooplankton and micronekton in the eastern tropical Pacific. Mar. Biol., 7: 14-31.
- Blumer, M. 1965. Organic pigments: their long-term fate. Science, 149: 722-726.
- Blumer, M., R.R.L. Guillard, y T. Chase. 1971. Hydrocarbons of marine phytoplankton. Mar. Biol., 8: 183-189.
- Blumer, M., M.M. Mullin, y D.W. Thomas. 1963. Pristane in zooplankton. Science, 140: 974.
- Blumer, M., M.M. Mullin, y D.W. Thomas. 1964. Pristane in the marine environment. Helgol. Wiss. Meeresunters, 10: 187- 201.
- Blumer, M., y W.D. Snyder. 1965. Isoprenoid hydrocarbons in recent sediments: Presence of pristane and probable absence of phytane. Science, 150: 1588-1589.
- Blumer, M., y W.W. Youngblood. 1975. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and recent sediments. Science, 188: 53-55.
- Botello, A.V. 1978. Presencia de hidrocarburos fósiles en ecosistemas estuarinos del Golfo de México. Rev. Biol. Trop., 26: 135-151.

- Botello, A.V., y S.A. Macko. 1980. Presencia de hidrocarburos fósiles (n-parafinas) en sedimentos recientes de lagunas costeras en el Pacífico de México. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México, 7: 159-168.
- Botello, A.V., y E.F. Mandelli. 1978. Distribution of n-paraffins in sea-grasses, benthic algae, oysters and recent sediments from Términos Lagoon, Campeche, México. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 19: 162-170.
- Botello, A.V., y E.F. Mandelli. 1979. Distribution of normal paraffins in the leaves of Thalassia testudinum from the Gulf of Mexico. Bull. Mar. Sci., 29: 436-440.
- Botello, A.V., S. Villanueva, y M. Mendelewicz. 1987. Programa de vigilancia de los hidrocarburos fósiles en sedimentos del Golfo de México y Caribe Mexicano: 1978-1984. Carib. J. Sci., 23: 29-39.
- Bray, E.E., y E.D. Evans. 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. Geochim. Cosmochim. Acta, 22: 2-15.
- Brown, F.S., M.J. Baedeker, A. Nissebaum, y I.R. Kaplan. 1972. Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Columbia-III. changes in organic constituents of sediment. Geochim. Cosmochim. Acta, 36: 1185-1203.
- Button, D.K. 1976. The influence of clay and bacteria on the concentration of dissolved hydrocarbon in saline solution. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 435-440.
- Carranza Edwards, A., M. Gutiérrez Estrada, y R. Rodríguez Torres. 1975. Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México, 2: 81-88.
- Clark, R.C., y M. Blumer. 1967. Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediment. Limnol. Oceanogr., 12: 79-87.
- Clark, R.C., y D.W. Brown. 1977. Petroleum: Properties and analyses in biotic and abiotic systems. In: D.C. Malins (Ed) Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and Organisms. Vol. 1. Nature and fate of petroleum. Academic, N.Y. p 1-89.

- Clark, R.C., y W.D. MacLeod. 1977. Inputs, transport mechanisms, and observed concentrations of petroleum in the marine environment. In: D.C. Malins (Ed) Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and Organisms. Vol. 1. Nature and fate of petroleum. Academic, N.Y. p 91-223.
- Cline, J.D., y F.A. Richards. 1972. Oxygen deficient conditions and nitrate reduction in the Eastern Tropical North Pacific Ocean. Limnol. Oceanogr., 17: 885-900.
- Cretney, W.J., C.S. Wong, D.R. Green, y C.A. Bawden. 1978. Long-term fate of a heavy fuel oil in a spill-contaminated B.C. coastal bay. J. Fish. Res. Board Can., 35: 521-527.
- Cromwell, T., y E.B. Bennett. 1959. Surface drift charts for the Eastern Tropical Pacific Ocean. Bull. inter-Am. trop. Tuna Commn., 3: 217-237.
- Cuevas Pérez, A., G.C. Flores Rosete, y R. Castellanos Tamayo. 1980. Cromatografía de gas como técnica para la identificación de fuentes de derrames de crudo. Rev. IME., 13: 30-41.
- De la Lanza Espino, G. 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache Caimanero: Importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. Anal. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 13: 251-265.
- De la Lanza Espino, G. 1987. Química de la fase sedimentaria en las lagunas costeras. In: S. Gómez Aguirre y V. Arenas Fuentes (Eds). Contribuciones en Hidrobiología. Memoria de la Reunión Alejandro Villalobos (24-26 oct, 1983). Univ. Nal. Autón. México. p 135-153.
- Dembicki, H., W.G. Mensein, y D.E. Hattin. 1976. Possible ecological and environmental significance of the predominance of even-carbon number C20-C30 n-alkanes. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 203-208.
- Devol, A.H., T. Packard, y O. Holm-Hansen. 1976. Respiratory electron transport activity and adenosine triphosphate in the oxygen minimum of the eastern tropical North Pacific. Deep-Sea Res., 23: 963-973.
- Edwards, R.C.C. 1978. Ecology of a coastal lagoon complex in Mexico. Est. Coast. Mar. Sci., 6: 75-92.
- Eisma, E., y J.W. Jurg. 1964. Petroleum hydrocarbons generation from fatty acid. Science, 144: 1451-1452.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Ettre, L.S. 1964. The Kováts retention index system. Anal.Chem., 36: 31A-41A.
- Farrington, J.W., y G.W.Quinn. 1973. Petroleum hydrocarbons in Narrangansett Bay. I. Survey of hydrocarbons in sediments and clams (Merccenaria mercenaria). Est. Coast. Mar. Sci., 1: 71-79.
- Farrington, J.W., y B.W. Tripp. 1975. A comparison of analysis methods for hydrocarbons in surace sediments. ACS Symposium Series, No. 18. Marine Chemistry in the Coastal Environment. p 267-284.
- Farrington, J.W., y B.W. Tripp. 1977. Hydrocarbons in western North Atlantic surface sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 41: 1627-1641.
- Fernández, H., F. Vázquez, y F.J. Millero. 1983. The density and composition of hypersaline waters of a Mexican lagoon. Limnol. Oceanogr., 27: 315-321.
- Gallegos García, A., F. de la Lanza Espino, F. Ramos Durón, y M. Guzmán Arroyo. 1984. The 1982-1983 warm episode in the offshore waters of Guerrero, México (northeastern tropical Pacific Ocean). Rev. Geofis., 21: 43-55.
- García de Miranda, E., y Z. Falcón de Gyves. 1972. Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana. Porrúa, México. 197 p.
- Gearing, P., J.N. Gearing, T.F., Lytle, y J.S. Lytle. 1976. Hydrocarbons in 60 northeast Gulf of Mexico shelf sediments: a preliminary survey. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 1005-1017.
- Gelpi, E., H. Schneider, J. Mann, y J. Oró. 1970. Hydrocarbons of geochemical significance in microscopic algae. Phytochem., 9: 603-612.
- Gibson, D.T. 1977. Biodegradation of aromatic petroleum hydrocarbons. In: D.A. Wolfe (Ed). Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems. Pergamon, N.Y. p 385-396.
- Giger, W., y M. Blumer. 1974. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment: isolation and characterization by chromatography, visible, ultraviolet, and mass spectrometry. Anal. Chem., 46: 1663-1671.
- Han, J., y M. Calvin. 1969. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria, and microbiological activity in sediments. Proc. Nat. Acad. Sci., 64: 436-443.

- Han, J., E.D. McCarthy, W. Van Hoveen, M. Calvin, y W.H. Bradley. 1968. Organic geochemical studies, II. A preliminary report on the distribution of aliphatic hydrocarbons in algae and bacteria, and in a recent lake sediment. Proc. Nat. Acad. Sci., 59: 29-33.
- Hase, A., y R.A. Hites. 1976. On the origin of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments: biosynthesis by anaerobic bacteria. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 1141-1143.
- Hodgson, G.W., B. Hutchinson, K. Taguchi, B.L. Baker, y E. Peake. 1968. Geochemistry of porphyrins, cholrins and polycyclic aromatics in soils, sediments and sedimentary rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 32: 737-772.
- Huang, W.Y., y W.G. Meinschein. 1976. Sterols as source indicators of organic materials in sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 323-330.
- Hunt, J.M. 1961. Distribution of hydrocarbons in sedimentary rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 22: 37-49.
- Hunt, J.M. 1979. Petroleum Geochemistry and Geology. Freeman, San Francisco. 617 p.
- Hunt, J.M., J.K. Whelan, y A.Y. Yuc. 1980. Genesis of petroleum hydrocarbons in marine sediments. Science, 209: 403-404.
- I.M.P. 1984. Impacto ambiental en plancton y bentos debido a las descargas al mar procedentes de la refinería Salina Cruz, Oax. Subdirección de Tecnología de Refinación y Petroquímica. Proyecto G-i000. 2do Informe de Avance, enero de 1984.
- Jahnke, R., S. Emerson, y J.W. Murray. 1982. A model of oxygen reduction, denitrification and organic matter mineralization in marine sediments. Limnol. Oceanogr., 27: 610-623.
- Johnson, R.W., y J.A. Calder. 1973. Early diagenesis of fatty acids and hydrocarbons in a salt marsh environment. Geochim. Cosmochim. Acta, 37: 1943-1955.
- Jurg, J.W., y E. Eisma. 1964. Petroleum hydrocarbons: generation from fatty acid. Science, 144: 1451-1452.
- Keizer, P.D., J. Dale, y D.C. Gordon. 1978. Hydrocarbons in surficial sediments from the Scotian Shelf. Geochim. Cosmochim. Acta, 42: 165-172.
- Kvenvolden, K.A., y D. Weiser. 1967. A mathematical model of a geochemical process: Normal paraffin formation from normal

- fatty acids. Geochim. Cosmochim. Acta, 31: 1281-1309.
- Lafamme, R.E., y R.A. Hites. 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 42: 289-303.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of México- their origin and classification. In: M. Wiley (Ed). Estuarine processes, Vol. 2. Academic. N.Y. p 182-215.
- Leo, R.F., y P.L. Parker. 1966. Branched-chain fatty acids in sediments. Science, 152: 649-650.
- Longhurst, A.R. 1976. Interactions between zooplankton and phytoplankton profiles in the eastern tropical Pacific Ocean. Deep-Sea Res., 23: 729-754.
- Love, C.M. (Ed). 1972. Eastropac Atlas 1. CNC 330, Natl. Mar. Fish. Serv., Washington, D.C.
- Lytle, T.F., y J.S. Lytle. 1976. Sediment hydrocarbons as environmental indicators in the NE Gulf of Mexico. In: D.A. Wolfe (Ed). Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems. Pergamon, N.Y. p 404-412.
- Lytle, T.F., y J.S. Lytle. 1979. Sediment hydrocarbons near an oil rig. Est. Coast. Mar. Sci., 9: 319-330.
- Mackie, P.R., K.J. Whittle, y R. Hardy. 1974. Hydrocarbons in the marine environment I. n-alkanes in the Firth of Clyde. Est. Coast. Mar. Sci., 2: 359-374.
- MacLeod, W.D., D.W. Brown, R.G. Jenkins, y L.S. Ramos. 1977. Intertidal sediment hydrocarbon levels at two sites on the Strait of Juan de Fuca. In: D.A. Wolfe (Ed). Fate and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Marine Organisms and Ecosystems. Pergamon, N.Y. p 385-396.
- Malone, T.C. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. Limnol. Oceanogr., 16: 633-639.
- Mandelli, E.F., y A.V. Botello. 1976. Informe final de la tercera etapa de estudio sobre uso de la zona costera en los estados de Michoacán y Guerrero. Subprograma de Hidrología. Cent. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 126 p.

- Márquez García, A.Z., y E.A. Morales de la Garza. 1984. Sedimentología de la plataforma continental del Estado de Guerrero, México. Tesis Profesional. Fac. de Ingeniería. Univ. Nal. Autón. Mexico. 53 p.
- Martin, J.H., y G.A. Knauer. 1984. VERTEX: manganese transport through oxygen minima. Earth Planet. Sci. Let., 67: 35-47.
- Meinschein, W.G. 1961. Significance of hydrocarbons in sediments and petroleum. Geochim. Cosmochim. Acta, 22: 58-64.
- Meinschein, W.G. 1969. Hydrocarbons- saturated, unsaturated and aromatic. In: G. Eglinton y M.T. Murphy (Eds). Organic Geochemistry: Methods and Results. Springer, Berlin. p 330-356.
- Murray, J.W., S. Emerson, y R. Jahnke. 1980. Carbonate saturation and the effect of pressure on the alkalinity of interstitial waters from the Guatemala Basin. Geochim. Cosmochim. Acta, 44: 963-972.
- Murray, J.W., B.S. Spell, y B. Paul. 1983. The contrasting geochemistry of manganese and chromium in the Eastern Tropical Pacific Ocean. In: C.S. Wong et al. (Eds). Trace Metals in Sea Water. Plenum, N.Y. p 643-669.
- National Academy of Sciences. 1975. Petroleum in the marine environment. Workshop on inputs, fates, and effects of petroleum in the marine environment. NAS. Washington, D.C. 107 p.
- Nissebaum, A., M.J. Baedecker, y I.R. Kaplan.. 1972. Organic geochemistry of Dead Sea sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 36: 709-727.
- Oró, J., J.L. Laseter, y D. Weber. 1966. Alkanes in fungal spores. Science, 154: 399-400.
- Oró, J., T.G. Tornabene, D.W. Noonan, y E. Gelpi. 1967. Aliphatic hydrocarbons and fatty acids of some marine and freshwater microorganisms. J. Bacteriol., 93: 1811-1818.
- Orr, W.L., y J.R. Grady. 1967. Perylene in basin sediments of southern California. Geochim. Cosmochim. Acta, 31: 1201-1209.

- Overton, E.B., y J.L. Laseter. 1978. Distribution of aromatic hydrocarbons in sediments from selected Atlantic, Gulf of Mexico and Pacific OCS areas. In: ACS Symposium on Analytical Chemistry of Petroleum Hydrocarbons in Marine/Aquatic Environment. Miami, Sep. 10-15, 1978. p 935-941.
- Owen, R.W. y B. Zietzschel. 1970. Phytoplankton production: seasonal change in the oceanic eastern tropical Pacific. Mar. Biol., 7: 32-36.
- Parker, P.L., C. Van Baalen, y L. Maurer. 1967. Fatty acids in eleven species of blue-green algae: geochemical significance. Science, 155: 707-708.
- Philippi, G.T. 1965. On the depth, time and mechanism of petroleum generation. Geochim. Cosmochim. Acta, 29: 1021-1049.
- Riley, J.L., y R. Chester. 1971. Introduction to Marine Chemistry. Academic, Londres. 465 p.
- Sawlan, J.J., y J.W. Murray. 1983. Trace metal remobilization in the interstitial waters of red clay and hemipelagic marine sediments. Earth Planet. Sci. Let., 64: 213-230.
- Scalan, R.S., y J.E. Smith. 1970. An improved measure of the odd-even preference in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum. Geochim. Cosmochim. Acta, 34: 611-620.
- Secretaria de Marina. 1974. Estudio Geográfico de la Región de Salina Cruz, Oax. Dir. Gral. Ocanogr. Señal. Mar. 347p.
- Shaw, D.G., D.J. McIntosh, y E.R. Smith. 1979. Arene and alkane hydrocarbons in nearshore Beaufort Sea sediments. Est. Coast. Mar. Sci., 9: 435-449.
- Shimoyama, A., y W.D. Johns. 1972. Formation of alkanes from fatty acids in the presence of CaCO₃. Geochim. Cosmochim. Acta, 36: 87-91.
- Simoneit, B.R.T. 1977. Diterpenoid compounds and other lipids in deep-sea sediments and their geochemical significance. Geochim. Cosmochim. Acta, 41: 463-476.
- Simoneit, B.R.T., M.A. Masurek, S. Brenner, P.T. Crisp, y I.R. Kaplan. 1979. Organic geochemistry of recent sediments from Guaymas Basin, Gulf of California. Deep-Sea Res., 26A: 879-891.
- Steel, R.G.D., y J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistics. McGraw, N.Y. 481 p.

- Swetland, P.J., y J.F. Wehmiller. 1975. Lipid geochemistry of recent sediments from the Great Marsh, Lewes, Delaware. ACS Symposium Series, No. 18. Marine Chemistry in the Coastal Environment. p 285-303.
- Tissot, B.P., y D.H. Welte. 1978. Petroleum Formation and Occurrence. Springer, Berlin. 538 p.
- VanVleet, E.S., y J.G. Quinn. 1978. Contribution of chronic petroleum inputs to Narragansett Bay and Rhode Island Sound sediments. J. Fish. Res. Board Can., 35: 536-543.
- Wade, T.L., y J.G. Quinn. 1980. Incorporation, distribution and fate of saturated petroleum hydrocarbons in sediments from a controlled marine ecosystem. Mar. Environ. Res., 3: 15-33.
- Wakeham, S.G. 1976. A comparative survey of petroleum hydrocarbons in lake sediments. Mar. Pollut. Bull., 7: 206-211.
- Walker, J.D., J.J. Calomiris, T.L. Herbert, y R.R. Colwell. 1976. Petroleum hydrocarbons: degradation and growth potential for Atlantic Ocean sediment bacteria. Mar. Biol., 34: 1-9.
- Warner, J.S. 1976. Determination of aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine organisms. Anal. Chem., 48: 578-583.
- Welte, D.H., y G. Ehardt. 1968. Distribution of long chain n-paraffins and n-fatty acids in sediments from the Persian Gulf. Geochim. Cosmochim. Acta, 32: 465-466.
- Welte, D.H., y D. Waples. 1973. Über die Bevorzugung geradzahlicher n-Alkane in Seidmentgesteinen. Naturwissenschaften, 60: 516-517. Citado en: B.P. Tissot y D.H. Welte. 1978. Petroleum Formation and Occurrence. Springer, Berlin. 538 p.
- Winters, K., P.L. Parker, y C. Van Baalen. 1969. Hydrocarbons of blue-green algae: geochemical significance. Science, 158: 467-468.
- Wyrski, K. 1966a. Un estudio de la oceanografía del Pacifico Oriental Ecuatorial. I. Seminario Latino-americano Sobre el Océano Pacifico Oriental. Univ. Nal. Mayor de San Marcos.
- Wyrski, K. 1966b. Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 4: 33-68.
- Wyrski, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. & Limnol., 1: 117-147.

Yen, T.F. 1975. Genesis and degradation of petroleum hydrocarbons in marine environments. ACS Symposium Series, No. 18. Marine Chemistry in the Coastal Environment. p 231-266.

Youngblood, W.W., y M. Blumer. 1973. Alkanes and alkenes in marine benthic algae. Mar. Biol., 163-172.