



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

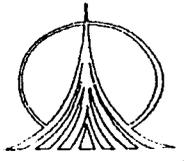
"BIOLOGÍA"

**DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS DEL
PETRÓLEO EN SEDIMENTOS Y AGUA, EN LA
COMUNIDAD DE LA RIVERA,
MUNICIPIO DE TAMPICO ALTO, VERACRUZ.**

T E S I S
Que para obtener el título de:
B I Ó L O G O
P r e s e n t a
CAROLINA MENDOZA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA.

OCTUBRE 2002



Unidad en la diversidad

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA

Nuestra vida se asemeja a las diferentes épocas del año. La primavera es un principio florido, es esperanza y alegría, es un mirar inocente, es el amor incipiente, es ver hacia adelante. El verano es pasión, es el principio de la cosecha. Es fructificación de lo que hemos sembrado previamente, es realizar proyectos y aumentar nuestro haber. Es calor y humedad, es productividad. El otoño es dorado y sereno, es madurez. Es la plena realización de los ideales, es tibieza y luna llena. Es una alfombra de hojas secas que crujen a nuestro paso suavizándolo. Es tiempo de labores y de preparación para que la última estación se llene de amor y de integración, es decir "Misión cumplida". El invierno es inventario. Son bellos recuerdos y contemplación de imágenes. Es satisfacción de lo que se ha logrado. Es verse nuevamente rodeado de retoños que pronto florecerán. Es comunicación con lo eterno y lo imperecedero.

HELEN HERNÁNDEZ



Dedicatorias:

A Dios

Por darme la oportunidad de conocer a este mundo tan maravilloso.

A mi madre:

Aurelia Ramírez Benitez. Por su amor y apoyo incondicional, para la realización y termino de uno de los proyectos más importantes en mi vida profesional, por que se que sin ti no lo hubiera logrado. Ya que este logro es tuyo.

Hay una mujer que siendo joven, tiene la reflexión de una anciana y en la vejez trabaja con el vigor de la juventud. Una mujer que, si es ignorante, descubre los secretos de la vida con más aciertos que un sabio y, si es instruida, se acomoda a la sencillez de los niños. Es quien siendo pobre se satisface con la felicidad de los que ama y, siendo rica, daría con gusto sus tesoros por no sufrir en su corazón la herida de la ingratitud. Esa mujer que, mientras vive, pocas veces sabemos apreciar porque a su lado todos los dolores se olvidan. Sin embargo, después de muerta, daríamos todo lo que somos y todo lo que tenemos por mirarla de nuevo un solo instante, por recibir un sólo abrazo, por escuchar una sola palabra... de los labios de nuestra madre.

JOSÉ GONZÁLEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi padre:

†Paulino Mendoza Macias. A ti padre amoroso que aunque ya no estas conmigo en cuerpo, tu alma siempre esta acompañándome en todos y cada uno de los eventos de mi vida ya que siempre estas en mi corazón y pensamientos. Por que se que donde quiera que estés estas orgulloso de tu casquillo de bala y tu hojito de pez.

Qué duro es para mí, hijo, exigirte virtudes donde se carece de todo, pero tu padre es un hombre común y corriente, hecho, como todos los hombres, de debilidad, pero lleno de ansiedad de hacer de ti un hombre de provecho. Detrás de las casuchas en que habitamos veo para ti un amplio horizonte donde la vida es noble, donde el hombre aprende a convivir con sus semejantes, donde hay ríos cristalinos, aguas y praderas llenas de verdor. Estudia y aprende; a nosotros se nos exige más pero, entre más obstáculos haya en el camino, más legitima es la victoria. Sé noble y se justo con la nobleza franca, y ama la hombre que sabe amar al prójimo. Aprende a ser libre. De nada sirve posición económica y sabiduría si se pierde la libertad. Defiéndela con tu vida si es preciso, nuestra victoria está llena de hechos heroicos, de hombres que ofrecieron su vida antes que aceptar ser esclavos. Y nunca claudiques; vale más ser libre un minuto que toda una vida ser esclavo. Ten presente mis palabras y mañana, cuando tu seas un hombre y yo quizá haya muerto, no olvides lo que tu padre te dijo un día, cuando eras niño.

OCTAVIO CASTILLO ORTIZ

A mi hermano:

†Hugo Mendoza Ramirez. Por que se que tenemos un angelito en el cielo al cuál siempre recordare y siempre será parte esencial de mi vida. Te amo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Agradecimientos:

A la Universidad nacional Autónoma de México. Por dejarme ser parte de ella. En especial a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Por permitirme el uso de sus instalaciones y brindarme su apoyo profesional.

Al laboratorio de Proyectos Ambientales UNAM FES-Z. y sus integrantes.

A mi directora de Tesis M. en C. A. Lourdes Castillo Granuda. Por transmitirme sus conocimientos y permitirme considerarla como una amiga. Por su comprensión, apoyo, y paciencia. Mil gracias.

A la Biól. Maricela Arteaga Mejía. Que me permitió trabajar en su laboratorio y fue parte esencial de la elaboración de este trabajo. Con la que siempre estaré agradecida. Gracias espero que me considere mas que su alumna una amiga.

A los miembros del jurado: M en C. Manuel F. Rico Bernal, Biól. Elvia García Santos, Q. F. B. Ma. del Rocío Breceda Hernández.

A todos y cada unos de mis profesores que contribuyeron en mi formación.

A mis compañeros y amigos:

Angélica Talavera, Fabiola Martínez , Nadia Narváez, Dora Villegas, Olivia, María Elena Pérez, Alejandro Bello, José Patlani, Fernando Z, Gerardo Azuara, Mauricio Roman, Magali Martínez, Luz María, Claudia.

TESIS CON
FALLA DE ORTOGRAFIA

Como hijo de pobre.

¡Ay de aquellos padres,
que por error,
Se proponen darle al hijo felicidad
como quien da un regalo.

Lo más que puede hacerse,
es encaminarlos hacia ella,
para que el la conquiste.

Críalo como hijo de pobre
y lo enriqueceras.

Críalo como hijo de rico
y lo empobreceras
para toda la vida

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**DETERMINACIÓN DE HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO
EN SEDIMENTOS Y AGUA, EN LA COMUNIDAD DE LA RIVERA,
MUNICIPIO DE TAMPICO ALTO, VERACRUZ.**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONTENIDO

	Páginas
Índice de Figuras	i
Índice de Cromatogramas	ii
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. ANTECEDENTES	4
III. MARCO TEÓRICO	
3.1 Hidrocarburos del petróleo	7
3.1.1 Origen del petróleo	16
3.2 Sedimentos	20
3.2.1 Hidrocarburos en sedimentos	24
3.2.2 Sedimentos como depósito de vigilancia de la contaminación	25
3.3 Agua	26
3.4 Zona costera	28
3.5 Características de las lagunas costeras	
3.5.1 Geología	30
3.5.2 Hidrología	34
3.5.3 Propiedades químicas	
3.5.3.1 Oxígeno disuelto	36
3.5.3.2 pH y alcalinidad	36
3.5.3.3 Nutrientes	37
3.5.3.4 Materia orgánica	38
3.5.4 Ecología	39
3.5.5 Vegetación circundante	39
3.6 Cromatografía de Gases	42
3.6.1 Aplicaciones de la Cromatografía de gases	44
3.6.2 Teoría de la Cromatografía de gases	45
IV. ZONA DE ESTUDIO	
4.1 Ubicación geográfica	49

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

4.2 Características generales de la zona de estudio	51
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	54
VI. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	
6.1 Hipótesis	55
6.2 Objetivo general	55
6.3 Objetivo particulares	55
VII. MÉTODO	
7.1 Procedimiento	56
7.2 Diagrama de flujo	
7.2.1 fase de campo	59
7.2.2 fase de laboratorio	60
VIII. RESULTADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
8.1 Hidrocarburos en sedimentos	61
8.2 Hidrocarburos en agua	68
IX. CONCLUSIONES	77
X. SUGERENCIAS	78
X. BIBLIOGRAFIA	79

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Principales procesos involucrados en el destino del petróleo.	12
Figura 2. Esquema de las características de las laguna costera.	31
Figura 3. Representación de diferentes tipos de laguna costera, con base en su comunicación con el mar.	33
Figura 4. Ubicación de la zona de estudio	50
Figura 5. Programa de temperatura	57
Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo	58
Figura 7. Diagrama de flujo (fase de campo).	60
Figura 8. Diagrama de flujo (fase de laboratorio).	61

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE DE CROMATOGRAMAS

Páginas

Cromatograma 1 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado la Rivera.	62
Cromatograma 2 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 1.	63
Cromatograma 3 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 2	64
Cromatograma 4 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Barra	65
Cromatograma 5 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado la Rivera.	69
Cromatograma 6 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 1.	70
Cromatograma 7 se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 2	71

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de hidrocarburos del petróleo, en la parte norte de la Laguna de Tamiahua, municipio de Tampico Alto Veracruz. Se determinó presencia y concentración en agua y sedimentos, empleando la técnica de Cromatografía de Gases. Se ubicaron cuatro sitios para recolección de sedimentos y fueron: La Rivera, estación 1, estación 2 y barra; para las muestras de agua se seleccionaron 3 sitios: La Rivera, estación 1 y estación 2.

Los resultados obtenidos para hidrocarburos totales en agua, exceden en 3 a 30 veces los valores descritos por la UNESCO (1976) de $10\mu\text{L L}^{-1}$ para zonas costeras no contaminadas. Se detectaron alcanos normales, en un rango de concentración de $0.1-833\mu\text{L L}^{-1}$, e hidrocarburos aromáticos en el orden de 2.9 a $60.7\mu\text{L L}^{-1}$.

En los sedimentos la presencia de hidrocarburos totales resultó evidente, al encontrarse concentraciones, que exceden de 5 a 25 veces los valores considerados como normales establecidos por la UNESCO (1976) 70mgKg^{-1} . Por lo que respecta a los alcanos normales, los valores encontrados están en el rango de 9.7 a 496mgKg^{-1} y para los hidrocarburos aromáticos de 2.9 a 232mgKg^{-1} . Es importante señalar que todos los sitios muestreados presentaron niveles altos de hidrocarburos del petróleo tanto en sedimentos como en agua, obteniéndose los valores mas altos para la estación 1, derivado de su cercanía a la refinera Madero. Comparativamente la concentración de hidrocarburos en sedimentos, fue mayor a la encontrada en agua, lo que confirma el comportamiento sedimentario de los hidrocarburos en el ecosistema. Basándose en las estimaciones tanto cuantitativas como cualitativas de hidrocarburos del petróleo es posible determinar que estos tienen un origen antropogénico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación que no se observa visualmente es uno de los problemas mas intensos que afronta el país en zonas costeras. Las Estaciones Oceanográficas por su ubicación geográfica (zonas pobladas) tienen estos problemas auspiciados por un gran flujo de transporte marítimo, sus condiciones climatológicas y su constante crecimiento poblacional afectan en grande el medio ambiente del área (Secretaría De Marina 1989).

Actualmente se puede detectar alrededor de 100,000 tipos de sustancias contaminantes del ambiente. Estas sustancias pueden ser naturales o bien productos de la actividad humana. La concentración de las sustancias contaminantes en cada región terrestre, está conformada por las características biogeoquímicas y socioeconómicas que en ellas prevalecen. Los metales, hidrocarburos y los gases oxidantes son sustancias que están ampliamente diseminadas en los ecosistemas y representan importantes problemas de contaminación, tanto de los países desarrollados como de los países subdesarrollados. El contaminante que es incorporado al ambiente se dispersa en el medio correspondiente e interactúa con los elementos pertenecientes a él, se transporta a ciertas distancias dentro de ese medio y se transfiere hacia otros. En cualesquiera de estos pasos el contaminante se puede transformar y degradar (Vega y Reynaga, 1990).

Tal es el caso de la contaminación por derrames accidentales de petróleo durante la transportación, o derrames permanentes en las zonas de extracción. Ocurridos en una extensa zona del Caribe que está en permanente peligro por derrames de petróleo (zona de paso de buques-tanque), señalándose dos derrames de gran magnitud ocurridos después de 1980. Deben incluirse los derrames masivos durante las actividades de producción, como el Ixtoc-1 en el Golfo de México. Son numerosos a lo largo de las zonas costeras tropicales los de menor volumen pero

de gran perseverancia durante la fase de extracción (Gallegos y Botello, 1986). Por lo anterior, es obvio que el impacto de los derrames en el mar, es considerablemente variable y que es la zona costera con su gran productividad, la más severamente dañada durante un derrame de petróleo y que esta adición de contaminantes químicos al medio marino puede representar un serio problema para el hombre y para el propio ecosistema (Vázquez-Botello y Villanueva, 1987).

En los últimos años, los efectos de la contaminación por petróleo en los ecosistemas costeros y marinos han aumentado considerablemente detectándose concentraciones elevadas de aquél en sus aguas, sedimentos y organismos (www.indues.com.mx/planeta.htm). Tal es el caso de la laguna de Tamiahua localizada al norte del estado de Veracruz, de gran importancia ecológica y económica desde el punto de vista pesquero, esencialmente en lo que se refiere al cultivo del ostión, del que aportan hasta un 90 por ciento de la producción nacional. Dicha laguna se ubica entre las ciudades de Tuxpan y Tampico, por lo que es necesario conocer la situación que guarda con relación a los contaminantes que pudieran afectarla. Por ello, Específicamente, las lagunas costeras reciben hidrocarburos provenientes de efluentes industriales y desagües, derrames de petróleo, quema de combustibles fósiles e incendios forestales y de vegetación. De igual forma, las descargas urbanas y de agricultura liberan cantidades substanciales al ambiente acuático. Por lo que la determinación de la concentración de hidrocarburos tanto en sedimentos y agua pueden ayudar a determinar el grado de contaminación de un ecosistema. El análisis del contenido de hidrocarburos en sedimentos es de gran importancia, ya que es el lugar donde se acumulan, por otro lado, es importante conocer su concentración en el agua ya que este es el medio de transporte y distribución de estos contaminantes que son introducidos en los ambientes acuáticos.

2. ANTECEDENTES

Los océanos, mares y las zonas costeras adyacentes, constituyen un todo integrado que es un componente esencial del sistema mundial de sustentación de la vida y un valioso recurso que ofrece posibilidades para un desarrollo sostenible. La zona costera contiene hábitats diversos y productivos que son importantes para los asentamientos humanos, el desarrollo y la subsistencia local. ([www.ine.gob.mx/dgoera/agenda 21/ocean/prot/htm/](http://www.ine.gob.mx/dgoera/agenda_21/ocean/prot/htm/)). La zona marítima mexicana consta de poco más de 11,000 kilómetros de litoral, de los cuales, alrededor del 68% corresponde a las costas e islas del Océano Pacífico y del Golfo de California, y 32% a las costas, islas y cayos del Golfo de México y del Mar Caribe. Además, esta zona marítima cuenta con 500,000 kilómetros cuadrados de plataforma continental, con 16,000 kilómetros cuadrados de superficie estuarina y con más de 12,000 kilómetros cuadrados de lagunas costeras (www.cce.org.mx/sistemas/biodiversidad./áreas/c.htm/).

Los contaminantes que suponen la mayor amenaza para el medio marino, en orden variable de importancia y en situaciones nacionales o regionales diferentes, son los siguientes: aguas residuales, nutrientes, compuestos orgánicos sintéticos, sedimentos, basura, materiales plásticos, metales, radionuclidos, petróleo y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) ([www.ine.gob.mx/dgoera/agenda 21/ocean/prot/htm/](http://www.ine.gob.mx/dgoera/agenda_21/ocean/prot/htm/)).

En México la industria petrolera en su conjunto ha tenido un gran impacto negativo en materia ambiental, debido a la amplia gama de productos derivados del petróleo, lo cuál no ha sido posible evaluar cuantitativamente; la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta la obtención de los residuos generados de la actividad petrolera (Tait, 1987).

Aproximadamente 600,000 toneladas de petróleo se vierten en los océanos cada año como resultado de operaciones habituales del transporte marítimo, accidentes y descargas ilegales. En cuanto a las actividades de extracción de petróleo y gas frente a las costas, en la actualidad hay normas internacionales respecto de las descargas en el entorno de las maquinarias (www.ine.gob.mx/dgoera/agenda/21/ocean/prot/htm/). Petróleos Mexicanos desde 1997 ha venido registrando un conjunto de indicadores de desempeño ambiental que han determinado la magnitud de la contaminación producida por sus actividades petroleras. Las descargas al agua incluidas en su informe se refieren a los compuestos sujetos a control por parte de la autoridad ambiental que se encuentran presentes en las corrientes de agua, como resultado de su utilización en el procesamiento de hidrocarburos y petroquímicos (Pemex, 2000).

A partir de estos hechos se han realizado trabajos a través de los cuales se evalúa la probable contaminación de agua y sedimentos por hidrocarburos del petróleo. En el estado de Veracruz se han realizado numerosos estudios relacionados con este tema en sus diferentes cuerpos de agua. Como los estudios realizados por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México en el Río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, que formaron parte del proyecto "Petróleo y Medio Ambiente en la Región de los Ríos Coatzacoalcos y Tonalá". Realizados a finales de los ochenta.

En el año de 1993 (Vázquez-Botello, *et al*) publicó un estudio denominado "Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's) en áreas Costeras del Golfo de México" reportándose concentraciones altas de PAH's en las lagunas La Mancha y Salada en Veracruz y la plataforma continental de Tamaulipas y Veracruz. En 1998 (Vázquez-Botello y Calva) se publicó un estudio en el que se reportan niveles de PAH's en tres lagunas al sur del Golfo de México que incluye a la laguna de Tamiahua objeto de estudio en el presente trabajo, reportándose problemas de

contaminación por PAH's, en el que se indica que el origen de esta contaminación es el uso constante de sus medios de transporte (lanchas de motor).

En 1999 (Calva y Vázquez-Botello) evaluaron la concentración de 15 hidrocarburos PAH's en sedimentos superficiales de la Laguna Sontecomapan, Veracruz, estudio en el cual se determina que el aporte de PAH's es de origen principalmente pirogénico. Recientemente se publicó un estudio en el cuál lleva por nombre "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments From Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of México" (Vázquez-Botello, *et al* 2001), estudio realizado en las lagunas de El Llano, Salada, la Mancha y Mandinga. Los resultados que proporcionó este estudio nos permite comparar los resultados anteriormente reportados para la laguna Salada observándose un aumento en la concentración de PAH's en comparación con lo reportado en 1993.

3. MARCO TEÓRICO

Generalidades.

3.1 HIDROCARBUROS DEL PETRÓLEO

Los hidrocarburos son moléculas formadas por Carbono e Hidrógeno pueden considerarse estructuralmente como los esqueletos fundamentales de las moléculas orgánicas. Cualquier estructura orgánica puede derivarse de un hidrocarburo sustituyendo los hidrógenos por diversos grupos funcionales. En el aspecto industrial, la gran mayoría de los productos orgánicos comerciales se obtienen de los hidrocarburos que se encuentran en el petróleo y el gas natural (Weininger y Stermitz, 1988).

El petróleo es el combustible fósil más importante, es una mezcla compleja de hidrocarburos (Hart *et al.*, 1995), gaseosos, líquidos y sólidos, formado de todo tipo de isómeros; la mayoría de ellos tienen de 1 a 40 átomos de carbono (Primo, 1996), formados en el curso del tiempo, por el decaimiento gradual de material animal y vegetal enterrada. El petróleo crudo es un líquido negro, viscoso, que se colecta a grandes profundidades, donde hay rocas sedimentarias. La palabra *petróleo* significa, literalmente, aceite de piedra, y proviene del latín *petra*, piedra y *oleum*, aceite, (Hart *et al.*, 1995).

La composición del petróleo varía mucho según los yacimientos. En general, la mayoría de los hidrocarburos son alcanos y cicloalcanos (éstos se llaman naftenos en el argot petroquímico), hay una proporción menor de aromáticos, en algunos yacimientos es mayor al 30% (Primo, 1996). La densidad de la mayor parte de los crudos se halla comprendida entre 0.78 y 1.00 g/mL. Puede presentarse como un líquido negro y espeso como el alquitrán o fluido e incoloro como el agua. Todo depende como se mencionó anteriormente del yacimiento al que pertenece. Los crudos de Pennsylvania son ricos en alcanos de cadena lineal (llamados parafinas

en la industria del petróleo) lo que les hace adecuados para la fabricación de aceites lubricantes, mientras que los de California y Texas contienen un porcentaje mayor de cicloalcanos (también llamados naftenos). Algunos campos petrolíferos del Oriente Medio producen crudos con un 90% de hidrocarburos ciclicos. El número de átomos de carbono de las moléculas que forman el petróleo va desde uno hasta sesenta (Pavia *et al*, 1988). El petróleo crudo se forma de mezclas de compuestos, entre los cuales los hidrocarburos pueden alcanzar hasta un 90% del total, los demás son compuestos heterociclicos con átomos de nitrógeno, azufre y oxígeno y algunos metales en concentraciones traza como vanadio, níquel, hierro y zinc. Estos hidrocarburos se agrupan de acuerdo a su punto de ebullición y complejidad estructural en cuatro categorías principales: a) parafinas b) naftenos o cicloparafinas, c) aromáticos y d)oleofinas.

Las parafinas o alcanos tiene como fórmula general C_nH_{2n+2} , en ellas se agrupan desde el alcano más sencillo, conocido como metano (CH_4), hasta compuestos con más de 60 átomos de carbono, como el n-hexacontano ($C_{60}H_{122}$).

Los naftenos o cicloparafinas presentan como fórmula general C_nH_{2n} , y la mayoría de estos compuestos no presentan más de 5 ó 6 átomos de carbono; éstos se unen a anillos que frecuentemente se sustituyen por grupos alquilo.

El grupo de las oleofinas o alquenos está normalmente ausente en los petróleos crudos y se forma durante algunos procesos de refinación; se halla a su vez presente en compuestos derivados del petróleo. Su formula general es C_nH_{2n} .

Los compuestos aromáticos tienen como constituyente básico el anillo del benceno, el cual contiene tres dobles ligaduras. En el petróleo crudo, el contenido de aromáticos es muy variable, aunque en general va del 40 al 45% (Toledo *et al.*, 1987). Con respecto a la composición de los distintos tipos de petróleo, se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Los hidrocarburos pertenecen a las siguientes clases: parafinas normales isoparafinas, naftenos ó aromáticos.
- Todos los tipos de petróleo contienen en gran medida la misma clase de hidrocarburos.
- El cociente cuantitativo entre las clases de hidrocarburos, varía en límites muy amplios de un tipo de petróleo a otro, dependiendo del yacimiento. En cada clase, los hidrocarburos individuales se encuentran en proporciones que son del mismo orden de magnitud para distintos tipos de petróleo (Hernández, 2001)

El consumo mundial de petróleo es de aproximadamente 3,500 millones de toneladas/año. La mayor parte se destina al consumo de energía (combustibles para autos, aviones, centrales eléctricas, calefacción, calderas de vapor, principalmente). Sólo una parte menor se destina a la industria química (menos del 10%). Las reservas probables de petróleo, en el mundo, son de 6×10^{11} toneladas. Más de la mitad están en el Próximo Oriente, algo menos del 15% en la Europa Oriental, otro tanto en América (EE.UU., México, Venezuela, etc.) y cantidades menores en África, Europa Occidental y Extremo Oriente. (Primo, 1996). Uno de los principales derivados del petróleo es la gasolina que se obtiene de la destilación fraccionada del crudo se llama a veces <<gasolina de extracción directa>> (Weininger y Stermitz 1988). Las fracciones de gasolina tienen la mayor demanda por su empleo en los motores y esto se debe a una conjunción de propiedades esenciales: volatilidad, rendimiento energético, punto de inflamación, tiempo de combustión de las mezclas con aire y abundancia de las fuentes (Primo, 1996). La fracción que forma la gasolina, constituye aproximadamente el 25% del petróleo crudo. Sin embargo, representa la fracción más valiosa ya que se utiliza como combustible y como materia prima para la industria petroquímica, la cual fabrica las fibras sintéticas, plásticos y muchos otros materiales de gran utilidad (Hart *et al.*, 1995).

La combustión de los productos del petróleo, libera menos contaminantes perjudiciales que el carbón; pero la contaminación de los mares ríos y lagos por

accidentes o negligencia en la extracción y transporte han generado problemas muy graves en áreas extensas. Los grandes barcos-tanque, que lo transportan, con frecuencia se accidentan o derraman al océano grandes cantidades, producen enormes manchas flotantes de aceite que destruyen la vida de los litorales, afectan el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el océano, liberan sustancias que destruyen el fitoplancton y algunos peces y causan además, grandes daños a las aves marinas. Los campos petrolíferos, los puertos petroleros y las refinerías se caracterizan por el efecto que ejercen sobre el medio circundante debido a la descarga en el agua, atmósfera o suelo de gran número de compuestos derivados del procesamiento de hidrocarburos; los mecheros de los campos petroleros modifican el microclima. Las regiones de Tampico, Minatitlán y Poza Rica muestran el efecto que esas alteraciones pueden llegar a tener a través del tiempo (Vázquez-Yañes, 1982).

El petróleo puede ser considerado como una sustancia tóxica, pero gran parte del daño que provoca es ambiental debido a sus propiedades físicas. Los efectos más evidentes son debidos a su naturaleza hidrófoba y a su impermeabilidad respecto al oxígeno. por consiguiente, cuando, recubre los organismos, éstos mueren por asfixia. Análogamente, las áreas contaminadas experimentan empobrecimiento en oxígeno. las propiedades hidrófobas están asociadas a la estabilidad química y esto da lugar a la persistencia.

Los efectos dañinos del petróleo en los organismos vivos pueden dividirse en físicos y químicos. Los efectos físicos vienen causados por el recubrimiento de los organismos o de su ambiente inmediato con petróleo. Los efectos químicos se relacionan con los componentes implicados. En los ecosistemas acuáticos, el petróleo en concentración baja, aproximadamente $0.1 \mu\text{g/g}$, retarda la división celular y el crecimiento del plancton en concentración superior a $1.0 \mu\text{g/g}$, produce la muerte de gran cantidad de organismos y especies fitoplanctónicas, así como de larvas y huevecillos de peces, los que flotan muertos junto con el plancton (Albert,

1990). Los hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición como mínimo hasta el octano en concentraciones inferiores, pueden producir anestesia y narcosis en muchos animales inferiores, mientras que en altas concentraciones causan daño celular y muerte. Los hidrocarburos aromáticos de bajo punto de ebullición son incluso más tóxicos y su mayor solubilidad en el agua dulce hace que aumente su distribución y su absorción por los organismos acuáticos. El benceno, tolueno, naftaleno y fenantreno son compuestos pertenecientes a este grupo. el benceno inhibe de modo característico la formación de glóbulos sanguíneos en la médula ósea. Todos estos compuestos causan irritación local del sistema respiratorio y excitación o depresión del sistema nerviosos central. Muchos son mutágenos, carcinógenos o teratógenos. Los hidrocarburos aromáticos y saturados de alto punto de ebullición no ejercen mucha toxicidad directa, interfieren en la respuesta de los organismos acuáticos a los estímulos químicos, por ejemplo, agentes de atracción sexual, con consecuencias igualmente graves. Los naftenos o cicloparafinas interfieren con los procesos biológicos de los organismos marinos como búsqueda de alimentos, selección del hábitat y atracción sexual e incluso, los pueden bloquear totalmente.

Puesto que muchos de los componentes del petróleo son químicamente estables y no se metabolizan o son excretados una vez que han sido absorbidos, están sujetos a la magnificación en las cadenas tróficas. De esta manera pueden dar sabores desagradables a los alimentos consumidos por el hombre o hacer que éstos sean tóxicos. Es incluso factible que el petróleo existente en las aguas naturales pueda concentrar sustancias tóxicas solubles en grasas, con lo cual su toxicidad aumenta (Duffus, 1983).

El petróleo contiene compuestos tóxicos para los organismos marinos, pero además de los que se solubilizan, algunos se evaporan sobre la superficie, otros forman extensas y delgadas películas, y también los hay que se precipitan al fondo incorporando grandes cantidades de arenas en glóbulos. Los residuos permanecen

después de la evaporación de las sustancias volátiles, al precipitar y aglutinar casi nunca reaparecen en las capas superiores, pero en aguas someras de la zona costera los precipitados del fondo pueden ser llevados a la superficie y a la línea de la costa por acción del oleaje, vientos y corrientes litorales. Sólo muy pocos derrames de petróleo han sido analizados científicamente con investigaciones sobre ecología e impacto ambiental en áreas tropicales (Yañes-Arancibia, 1986).

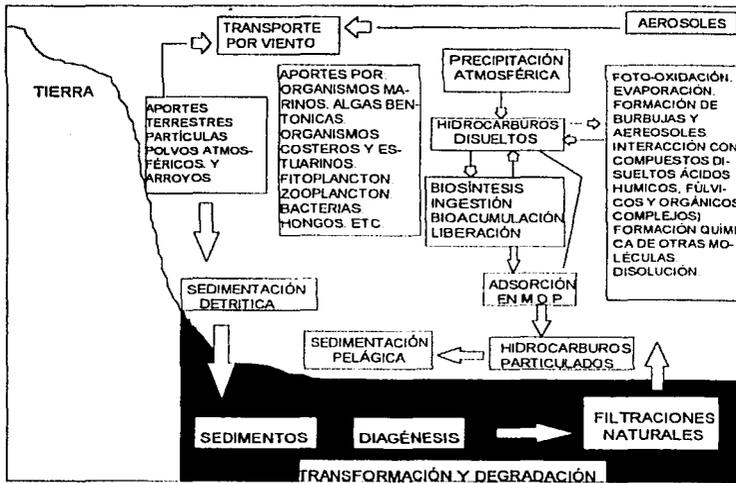


Figura 1. Principales procesos involucrados en el destino del petróleo en el mar y zonas costeras (Toledo A., *et al.* 1987).

Por lo que se refiere a los efectos adversos de los hidrocarburos en los ecosistemas marinos, después de una descarga o derrame de petróleo, se ha observado que se forma una delgada capa en la superficie del mar y la penetración de la luz por debajo de esta capa se reduce hasta un 90%, con lo cual decrece drásticamente la tasa de fotosíntesis en el fitoplancton. Esta capa se dispersa al ambiente por acción

del oleaje y los vientos. Sobre esta capa actúan factores físicos como: evaporación, emulsionamiento, disolución de las fracciones, adsorción sobre materia orgánica particulada, sedimentación de algunos residuos en la Figura 1 se muestran los principales procesos involucrados en el destino del petróleo en el mar y en zonas costeras,.

Evaporación: por este medio, la pérdida de moléculas de hidrocarburos de bajo peso molecular (12 átomos de carbono o menos) de la superficie de las manchas de aceite es muy rápida. Como los hidrocarburos de C_4 a C_{12} pueden formar casi el 50 % de un petróleo crudo típico, puede haber una pérdida importante muy rápida por evaporación a la atmósfera después de un derrame. Cuando más agitado este el mar, más rápido será este proceso. La formación de glóbulos de aceite y el estallido de burbujas aumenta la superficie de petróleo en la que puede ocurrir la evaporación. Se ignora el destino de estos hidrocarburos de bajo peso molecular en la atmósfera, así como lo que se refiere a su retorno potencial a los océanos.

Emulsionamiento: el petróleo y el agua pueden formar emulsiones lo que se facilita por la presencia de compuestos tensoactivos en las aguas. En el caso de las emulsiones de agua en petróleo, la absorción de agua depende del tipo de éste. Se ha sugerido que la emulsión de agua en petróleo llamada "crema de chocolate" es la precursora del alquitrán, que se forma después de su disolución y de la alteración química de sus componentes.

Disolución: un hidrocarburo será más soluble en el agua cuanto menor sea su peso molecular y mayor su polaridad. Los hidrocarburos saturados lineales son menos solubles que los aromáticos. Se calcula que la solubilidad de estos compuestos en agua de mar son 25 % menos debido al efecto de las sales o la degradación inorgánica y la microbiológica que pueden producir compuestos más solubles. Por ejemplo, datos obtenidos de solubilidad en la oxidación del n-octanol (1 ppm) produce ácido n-octanoico (600 ppm).

Sedimentación: se produce cuando los componentes del petróleo se agregan en conglomerados, emulsiones o residuos alquitranados de densidad superior a la del agua de mar. El envejecimiento del petróleo por evaporación y disolución de los compuestos de bajo peso molecular, así como la fijación de materia mineral en su superficie, aumenta su densidad. Los productos iniciales de la evaporación y disolución, combinadas con otros procesos como oxidación y degradación, son los conglomerados de alquitrán o glóbulos semisólidos que flotan en la superficie. La degradación ulterior de esas partículas de alquitrán producen formas más pequeñas y densas que se precipitan hasta el fondo del mar. En algunos casos, bastan pequeñas cantidades de materia mineral asociada a ellos para provocar el proceso de sedimentación en las aguas costeras poco profundas, el movimiento turbulento puede hacer subir material sedimentario en suspensión a la superficie. El contacto ulterior con partículas de petróleo puede dar lugar a la adherencia y precipitación de las masas de aceite y sedimentos.

En aguas costeras (particularmente en áreas estuarinas, donde la marea ejerce una influencia considerable), el depósito de productos del petróleo tiene un alto índice de sedimentación, pues aquéllos se mezclan con grandes cantidades de partículas en suspensión, removidas constantemente por los ciclos maréales. Se advierte entonces que el depósito de partículas presentes con una mayor rapidez en las aguas dulces que en las salobres y las marinas. Para explicar esto se toman las siguientes consideraciones:

- Las áreas costeras y estuarinas reciben la mayor parte de los hidrocarburos vertidos al ecosistema marino como consecuencia de la actividad humana.
- Estas áreas son más susceptibles y sensitivas a la contaminación por petróleo que las áreas de océano abierto.
- La zona costera es mucho más productiva que la oceánica localizada en la misma latitud; de ahí se desprende su considerable importancia económica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Y Los componentes volátiles del petróleo son por lo general más tóxicos que los no-volátiles.
- Y Las condiciones climáticas influyen grandemente en el rango de degradación del petróleo, así como en sus efectos biológicos (Toledo *et al.*, 1987).

La importancia del impacto de los contaminantes químicos sobre los organismos acuáticos depende de sus propiedades ecotoxicológicas. La biodegradabilidad limita la persistencia del contaminante en el medio y sus efectos fisicoquímicos y biológicos y favorece su integración en los ciclos biogeoquímicos. La bioacumulación representa la capacidad del contaminante de ser almacenado en los tejidos animales y contaminar los ecosistemas a través de las cadenas tróficas, queda definida por el factor de acumulación que es la relación entre las concentraciones registradas en el organismo y en el agua. La toxicidad define los niveles a partir de los cuales se alteran las funciones biológicas, la toxicidad aguda es determinada por la concentración que causa el 50% de mortalidad de una población experimental (Barnabé, 1989).

En el hombre la toxicidad de los componentes del petróleo en general es inversamente proporcional a la viscosidad. La inhalación de productos de alta viscosidad como grasas y aceites (150-250 centipoises), no presentan riesgo, pero los de menos de 30 centipoises de viscosidad afectan al pulmón, es decir, causan neumonitis. La ingestión de productos de destilación del petróleo en cantidad de 1 mLKg de peso corporal produce vómito, irritación de las membranas mucosas, depresión del sistema nervioso central, cianosis, taquicardia, albuminuria, hematuria, daños hepáticos y arritmias cardíacas. La ingestión de 10 mLKg de peso corporal produce la muerte (Albert, 1990).

Los estudios de la distribución de compuestos orgánicos sintéticos e hidrocarburos del petróleo en el medio marino son mucho más limitados. Y sin embargo los hidrocarburos clorinados (plaguicidas) y los policlorados (PCB's) se determinan ya

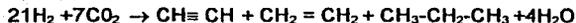
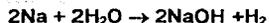
en una gran variedad de muestras de diferentes regiones; en contraste, escasea la información sobre los hidrocarburos del petróleo. Existe una considerable variación en las fracciones de hidrocarburos medidos en estudios aislados; por lo tanto, no es posible hacer comparaciones detalladas de la concentración de hidrocarburos, a partir de la información disponible en las diferentes regiones oceánicas. Los efluentes municipales y las descargas de refinerías, complejos petroquímicos y otras industrias, constituyen los mayores aportes a la contaminación por hidrocarburos en las áreas costeras. En suma se debe prestar una mayor atención a los aportes crónicos de petróleo hacia el medio marino, más que a los eventuales derrames ocurridos en alta mar o cerca de las costas (Vázquez-Botello y Páez, 1987).

3.1.1 ORIGEN DEL PETRÓLEO

Desde el punto de vista químico existen dos tipos de hipótesis, una de origen inorgánico y otra de origen orgánico:

Las hipótesis de origen inorgánico son las siguientes:

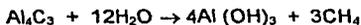
Teoría de Berthelot: Esta teoría esta basada en la reducción del bióxido de carbono con hidrógeno, dando lugar a la formación del acetileno y otros hidrocarburos; suponiendo que varias reacciones de este tipo tuvieron lugar en el interior de la tierra, debido a las altas temperaturas y presiones se formaron hidrocarburos con peso molecular mayor al acetileno. Las otras dos reacciones son:



La teoría de Berthelot se basa en la reacción de la síntesis directa de los elementos hidrógeno y carbón, cuando se pasa una corriente eléctrica entre dos

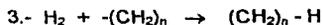
electrodos de carbón en una atmósfera de hidrógeno se obtienen hidrocarburos de considerable peso molecular; esta reacción fue básica en el proceso de Bergius para la obtención de gasolinas sintéticas.

Teoría de Mendeleev: Esta teoría supone que la acción del agua y ácidos diluidos sobre carburos metálicos forman hidrocarburos. Además admite que en diferentes épocas geológicas pudieron haberse efectuado éste tipo de reacciones:



La hipótesis de Mendeleev se apoya en los trabajos de hidrogenación catalítica del acetileno, en los cuales se obtienen hidrocarburos semejantes a los del petróleo crudo.

- *Teoría de Sokolov:* sostiene que los hidrocarburos que se formaron en la atmósfera de la tierra, cuando ésta se hallaba en su estado incandescente, cayeron en forma de lluvia como hidrocarburos de bajo peso molecular que sometidos a presiones elevadas durante épocas geológicas pasaron a formar los hidrocarburos de mayor peso molecular.
- *Hipótesis de Fischer Tropsch.* Esta hipótesis considera que el gas de agua (CO y H_2) en presencia de catalizadores metálicos de Fe y Co , formaron mezclas de hidrocarburos gaseosos y líquidos (desde 5 a 12 átomos de carbón), así como parafinas sólidas. Estos presentan una variación en su composición dependiendo de las condiciones ambientales. Se admite que en las capas inferiores de la tierra se ha formado gas de síntesis enriquecido con óxido de carbono e hidrógeno, originado del carbón, a temperaturas entre 200 y 250 °C.



El proceso Fischer - Tropsch es la base para la obtención de gasolinas sintéticas.

Argumentos en contra de las teorías de origen inorgánico:

- a) *Geológicos.*-Desde éste punto de vista la formación de los yacimientos petrolíferos se encuentra en un 99.9% en rocas sedimentarias raras veces en rocas volcánicas y ésta gran excepción se debe a que los petróleos crudos sufren migraciones.
- b) *Presencia de I₂ y Br₂.*- La presencia de I₂, Br₂ y agua salada en los yacimientos demuestra restos de las aguas marinas que acompañaron al petróleo crudo en su formación.
- c) *Presencia de O, N, S.*- La presencia de O, N, S, en el petróleo crudo formando parte de algunas moléculas orgánicas simples como las que supone la hipótesis inorgánica. El oxígeno se encuentra en compuestos semejantes a la fitosterina y colesterina (de origen vegetal y animal respectivamente).
- d) *Actividad óptica.*- Es una propiedad específica de las sustancias orgánicas presentes en el reino animal y vegetal que consiste en la rotación de la luz polarizada y el petróleo crudo contiene moléculas con esta propiedad.

Hipótesis de origen orgánico: Estas hipótesis están basadas en las teorías de Lomonosov relacionadas con la transformación química de los restos animales y vegetales en carbón o petróleo según las condiciones ambientales.

Teoría de Engler - Hofer. Engler demostró que se pueden tener productos similares a los del petróleo crudo a partir de grasas vegetales y animales.

Durante la formación de rocas sedimentarias, se acumularon grandes cantidades de sustancias de naturaleza animal y vegetal formando almacenamientos. Posteriormente estas sustancias sufrieron transformaciones que llevaron a la formación de petróleo.

Estas transformaciones constituyen el proceso natural de bituminización que comprende dos partes:

1. *Procesos bioquímicos de corta duración.* Se caracterizan por la acción de bacterias anaerobias que produjeron la descomposición de los hidratos de carbono y sustancias proteicas, las cuales fueron eliminadas en forma de gases y sustancias solubles en agua.
2. *Proceso bioquímico de larga duración.* Las grasas, aceites, ceras y resinas, que no se transformaron en el proceso bioquímico de corta duración, sufren una serie de transformaciones químicas tales como: polimerización, condensación, ciclización, entre otras, debido al efecto de la presión, la temperatura, los catalizadores naturales, el agua salada y demás factores del proceso. Consecuentemente los resultados son análogos a los del craqueo térmico formando un producto bituminoso llamado proto-petróleo.

Esta teoría presenta una gran aceptación desde el punto de vista químico y geológico, pero una de las partes más discutidas es que nunca se han producido procesos tales como el craqueo de tipo tecnológico ya que a estas temperaturas se descompone la porfirina que se encuentra en el petróleo crudo. Se ha demostrado mediante consideraciones cinéticas que el efecto de la temperatura puede ser

sustituido por el efecto de los factores geológicos y de los catalizadores naturales (Tissot y Welte, 1978).

3.2 SEDIMENTOS

Sobre el fondo de ríos y lagos se acumula material sólido en partículas, que limita inferiormente la extensión de los ecosistemas acuáticos. El cual se puede considerar desde puntos de vista distintos y complementarios: Representa la acumulación de materiales arrastrados o alóctonos, o bien producidos en la misma masa de agua autóctonas, minerales (evaporitas, arcillas, fragmentos de rocas o materiales clásticos, minerales formados en la propia agua) y orgánicos (organismos enteros que mueren en el sedimento, organismos muertos y fragmentos de los mismos excrementos, materia orgánica floculada, material detrítico alóctono).

Los estuarios pueden contener sedimentos de grano fino y grueso o depósitos, de los cuales el más importante depende del tipo de estuario, fuerza de las corrientes de marea, flujo del río y de la cantidad de material de grano fino suspendido. Una de las características más importantes de un estuario arenoso es la existencia separada de canales de flujo y reflujo. El flujo predomina en los canales que se hacen menos profundos hacia tierra, mientras que los canales de reflujo siguen un curso serpenteado.

Las características físico-químicas de los depósitos de lodo están determinadas por la circulación del estuario y las diferencias de salinidad. La geología y sedimentación en cuerpos de agua semicerrados son fenómenos importantes que ayudan a comprender la formación y comportamiento biológico de éstos.

Aunque a ciencia cierta no se ha logrado un acuerdo entre las diferentes disciplinas acerca de su origen, es un hecho que deltas, estuarios y lagunas costeras tienen la

capacidad de mantener materia suspendida estableciendo un equilibrio sedimentario. Las propiedades de la consolidación, cohesión y floculación, así como los obstáculos que sufren las partículas para sedimentarse, son debidas principalmente al retraso por asentamiento y rozamiento aunados a un medio muy dinámico donde los vientos, corrientes, mareas y las diferentes densidades del agua producidas por la diferencia de salinidad y el tipo de partículas presentes, formarán zonas muy características.

La distribución de los sedimentos dentro de una laguna está controlada principalmente por las condiciones hidrológicas. En los canales de la laguna donde la velocidad es alta, los sedimentos arenosos predominan y las ramificaciones por corrientes están comúnmente desarrolladas. En los canales con corrientes de baja velocidad predominan los sedimentos limosos y lodosos. La arena es acarreada principalmente al interior durante las tormentas y éstas forman laminación horizontal. Las lagunas costeras, geográficamente, se ubican en tres grupos:

- Áreas con condiciones climáticas húmedas, y depósitos predominantemente terrígenos
- Regiones áridas con depósitos terrígenos con mezcla de evaporaciones euxínicas.
- Áreas tropicales húmedas con sedimentos calcáreos, una combinación de precipitación química y otros tipos de roca caliza. Los sedimentos de estas lagunas se formaron durante los pasados 6000 a 7000 años. En áreas húmedas, las lagunas, tienen modelos muy similares, con una predominancia de cienos en las porciones profundas, arena en el margen y cerca de la entrante, fango arcilloso en la desembocadura de las corrientes y numerosos arrecifes de ostras.

Los sedimentos terrígenos provienen desde las entradas de las corrientes y desde mar abierto, estos sedimentos difieren de los depósitos marinos de agua somera adyacente, en tener raramente gluconita y equinoideos. Los sedimentos del fondo

muestran una estratificación escarpada, pero cerca de la desembocadura de los ríos son laminados.

En regiones áridas, las lagunas reciben una preponderante depositación de arena, introducida por el viento, desde las islas de barreras y dunas tierra adentro. En las lagunas que están protegidas por material calizo (arrecifes), los depósitos son en su mayoría granos finos de esqueletos de calcio debido a la precipitación del calcio de las aguas saturadas que viene desde mar abierto y que son calentadas a su paso sobre los bancos someros. Las ondas y las corrientes también transportan sedimento fino carbonatado desde los arrecifes.

El tamaño de las partículas depositadas en los fondos lagunares presentan varias propiedades de importancia biológica. Si las partículas son pequeñas, la superficie total de un volumen dado de suelo lagunar va a ser mayor que si fueran más grandes. Esto es de suma importancia para las bacterias pues se ha demostrado que la concentración de bacterias es mucho mayor en la medida de la reducción del grano.

Otra propiedad inherente al tamaño de las partículas es la capilaridad, y está dada por el tamaño de los intersticios entre los granos; en arena fina el agua sube diez veces más que en arena gruesa. Lo anterior es de vital importancia para los organismos que viven en las zonas intermareales, donde la sequedad producida por la marea baja puede llegar a ser crítica; esto, está muy relacionado con la retención del agua que es mayor entre más finas sean las partículas, y que también se traduce en una menor evaporación.

La porosidad de un suelo es el volumen de espacio entre las partículas y se expresa en porcentaje del volumen total del suelo. Los factores que determinan la variación en la porosidad son:

- El tamaño absoluto del grano.
- La heterogeneidad del tamaño.
- La proporción entre varios tamaños.
- La forma del grano.
- El mecanismo de depositación.
- La solidificación (Contreras, 1993)

Los sedimentos juegan un importante papel en la Ecología del bentos y en los procesos inherentes a la contaminación, además de brindar superficies para la adsorción de la materia orgánica, proveen un sustrato adecuado sobre el que pueden crecer muchos microorganismos como bacterias y hongos, así uno supone que su impacto será positivo ya que brindaría alimento al bentos, pero tienen también efectos negativos, al estar en suspensión interrumpen el paso libre de la luz e incide negativamente sobre la fotosíntesis, y puede colmar las estructuras de alimentación o de respiración, o ambas, en muchos invertebrados. Al mismo tiempo, dada la gran cantidad de materia orgánica que se absorbe al sedimento, se promueve la proliferación masiva de bacterias, que eventualmente abate el oxígeno disponible y conduce a la anoxia con todas sus consecuencias esta característica de los sedimentos a concentrar gran cantidad de materia orgánica provoca la formación de emulsiones contaminantes tales como los hidrocarburos del petróleo (Salazar-Vallejo, 1991).

En la Laguna de Tamiahua se distinguieron cinco grupos de sedimentos en función al diámetro de las partículas y su grado de clasificación:

- GRUPO I: arenas finas, entre bien y moderadamente clasificadas, distribuidas en la parte norte de la laguna, en áreas cercanas al sotavento de la barrera arenosa y a las playas.
- GRUPO II: arenas finas, de transición, pobremente clasificadas.

- GRUPO III: limos pobremente clasificados, procedentes de ríos y esteros del sur, distribuidos en las porciones occidental y sur de la laguna.
- GRUPO IV: arcilla muy pobremente clasificada, que predomina en la parte subcentral de la laguna .
- GRUPO V: arcilla pobremente clasificada, en la porción central de la cuenca (Cruz-Orozco, R., 1968).

3.2.1 HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS

Los sedimentos son el receptáculo de materiales y sustancias dispersas en la columna de agua, por lo que su análisis químico es de gran utilidad para detectar algunos contaminantes en ecosistemas acuáticos. Los hidrocarburos de origen biológico se encuentran en gran parte de los organismos marinos y en todos los sedimentos recientes. Afortunadamente, existen diferencias de composición y estructura entre los hidrocarburos indígenas y los derivados del petróleo, de esta manera es posible distinguirlos claramente (Clark, y Blumer, 1967). En los sedimentos de las zonas contaminadas, los niveles de hidrocarburos de origen fósil pueden variar en un amplio rango, según el origen de la contaminación y las características del ecosistema, de tal forma que la composición de los mismos se ve influenciada directamente por el tiempo que estos tengan en los sedimentos y desde luego de la composición original del petróleo de donde provengan. Los tiempos de residencia de los hidrocarburos fósiles en los sedimentos pueden ser de 3 a 10 años, según la velocidad de degradación de éstos (Moore y Dwyer, 1974). Cabe decir que en las zonas costeras tropicales la velocidad de degradación es mayor debido a factores como la cantidad de nutrientes, luz, temperatura, oxígeno y sustrato, lo cual permite altas tasas de biodegradación por bacterias así como de oxidación fotoquímica (Zieman, 1975).

3.2.2 SEDIMENTOS COMO DEPÓSITO DE VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN

Las características geoquímicas de los sedimentos hacen de éstos un valioso dispositivo de vigilancia frente a problemas de contaminación; ya que tales sedimentos constituyen el más grande y estable depósito y recurso para la existencia de una amplia variedad de elementos orgánicos e inorgánicos en el ambiente marino. El empleo de ellos como indicadores de contaminación ha sido amplio, aunque su uso presenta de manera general las siguientes ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Concentran contaminantes por períodos más largos.
- Son más estacionarios.
- Son fáciles de analizar.
- Representan el hábitat de muchos organismos.
- Representan la base alimenticia
- Son fáciles de obtener, muestrear y repetir muestreo en los mismos sitios que nos señalen tendencias de contaminación.
- Dan información más precisa en áreas pequeñas y distribución regional de ciertos contaminantes en la biota.
- Brindan información en escala de tiempo, aún en etapas previas a la introducción de un contaminante.
- En regiones de gradientes físicos altos (estuarios) son el mejor medio para obtener datos comparables aún sobre el alto rango de variación de las condiciones ambientales.

Desventajas:

- Los niveles reales o potenciales de contaminación en sedimentos son algunas veces el producto de una compleja interacción y transformación antes de que el contaminante este finalmente incorporado a ellos.

- En algunas áreas, la erosión y sedimentación alternada da como resultado un registro geológico fragmentado, en áreas de baja deposición la bioturbación puede alterar la deposición de los contaminantes.
- Los sedimentos usualmente no concentran contaminantes en la misma magnitud que los organismos lo cual dificulta la detección de aportes antropogénicos a cierta distancia del origen.

En los últimos veinte años varios estudios se han dado a la tarea de tratar de comprender los factores fisicoquímicos que controlan la distribución y el destino de sustancias de origen natural o antropogénico, estas se apoyan principalmente en minuciosas técnicas analíticas útiles para la determinación precisa de constituyentes inorgánicos y orgánicos presentes (González, 1990).

3.3 AGUA

La ubicuidad del agua en los seres vivos como parte del metabolismo bioquímico, descansa en sus particulares características físicas y químicas, que regulan eficazmente el metabolismo de los lagos, lagunas y otras fuentes de agua; las modificaciones del medio acuático se producen como respuesta a variaciones climáticas y geográficas. El agua proporciona un medio adecuado en el cual las fluctuaciones extremas de sus características y temperatura se encuentran amortiguadas mas o menos que en el medio aéreo. Estas propiedades unidas a un grado de viscosidad relativamente alto, han hecho posible el desarrollo de un gran número de adaptaciones bióticas, que han servido para aumentar la productividad.

A lo largo de todas las costas se dan oportunidades para la mezcla de agua dulce y agua marina; las lagunas saladas o hipersalinas bordean gran parte del Golfo de México y en una sección del Mediterráneo, pueden tener importancia económica y pesquera y actualmente están amenazadas de manera particularmente directa por la contaminación.

En las aguas someras costeras las características físicas y químicas del agua son menos estables que en las zonas profundas; en particular, se producen cambios de temperatura más amplios y rápidos, variaciones de la salinidad producidas por la evaporación y por la dilución con agua dulce. Es frecuente que las aguas cercanas a la orilla estén muy turbias debido a la gran cantidad de partículas en suspensión que son resuspendidas del fondo por las olas o llevadas al mar por los ríos (Tait, 1987).

El elemento más sencillo de un estuario es la mezcla gradual de agua dulce y agua de mar según el eje de un estuario o desembocadura de río. Ecológicamente el estuario es la manifestación de un proceso de mezcla. El agua dulce se mueve fuera de la superficie y se mezcla progresivamente con agua de mar, generándose como compensación una corriente profunda de agua marina en dirección al río.

Es imposible delimitar distintos tipos de ambientes, pero al pasar de los estuarios propiamente dichos a los brazos y lagunas en deltas y marismas, el transporte horizontal disminuye y se pasa insensiblemente a otras lagunas, generalmente algo más profundas, donde la mezcla vertical es menos profunda de agua salada de origen marino (Margalef, 1983).

El agua de los estuarios no es el resultado de una simple dilución del agua de mar. Implica muchos cambios poco notables que dependen de las condiciones locales. Las proporciones relativas de los distintos elementos que la constituyen son muy distintas en el río y en el mar. Algunos componentes minoritarios del agua del mar, por ejemplo, hierro, sílice y fosfatos, se presentan en ocasiones en una concentración mucho menor que en la de río. Consecuentemente, el agua de los estuarios difiere de la del mar abierto no sólo en la concentración sino también en las cantidades relativas de muchos constituyentes (Tait, 1987).

3.4 ZONA COSTERA

La zona costera es uno de los ambientes naturales más ricos y en ella los procesos de producción, consumo e intercambio energético se realizan de manera más intensa que en otros lugares. La constituyen ecosistemas que representan en conjunto el 7.3% de la superficie terrestre. Estos generan, en términos de productividad primaria, 10 a 25 veces más que la mayoría de los ecosistemas marinos o terrestres conocidos. Y poseen por tanto una gran importancia biológica y económica (Gallegos y Vázquez-Botello, 1986).

Las lagunas costeras son parte de las interacciones propias de la zona litoral y están influenciadas directamente por el mar y/o ríos (Yañez-Arancibia, 1986). Son cuerpos acuáticos litorales que tienen en su mayoría comunicación permanente o efímera con el mar y son el encuentro entre dos masas de agua de diferentes características, lo que causa fenómenos peculiares en su comportamiento físico-químico y biológico, con las consecuentes pautas ecológicas. Las más de 130 lagunas costeras mexicanas exhiben diferentes tamaños, regímenes hidrológicos, biota, hábitats, flujos de energía y problemas específicos, (Gallegos y Vázquez-Botello, 1986) tales masas acuíferas conforman ecosistemas con una fuerte productividad potencial. En otras palabras, al recibir un subsidio energético considerable, unido a los procesos ecológicos fundamentales en estos sistemas, la energía disponible es claramente mayor comparada con la de otros sistemas acuáticos. Esta energía sigue varios caminos, principalmente en:

- la presencia de biota local abundante.
- una notable pérdida de materia y energía por exportación hacia la zona costera adyacente, debida al intercambio mareal.
- una pérdida por la retención de formas nutritivas y materia orgánica en los sedimentos. (Contreras, F. 1985).

Debido a que el ambiente terrestre circundante y las condiciones atmosféricas adquieren así, una particularidad asombrosa que explica y justifica su estudio como unidades semi-aisladas. Para la obtención de un modelo conceptual, los principios de productividad y la naturaleza de la trama trófica son básicos. Asimismo, cerca del 20% de la producción mundial del petróleo proviene de la zona costera y aproximadamente el 70% de las reservas petroleras del mundo yacen bajo el suelo oceánico de la zona costera. Los estuarios y lagunas que forman parte de la zona costera constituyen un elevado porcentaje de las costas del mundo. En efecto, del 80 al 90 % de la costa Atlántica estadounidense y de su porción del Golfo de México y el Caribe. Dicho porcentaje es de gran importancia para este país pues representa su principal y más perdurable rasgo geográfico, y un patrimonio cultural y económico de trascendencia para el futuro desarrollo socioeconómico de sus estados litorales. La zona costera es patrimonio cultural porque históricamente las sociedades humanas han buscado áreas costeras semicerradas para establecerse, navegar, obtener recursos naturales y depositar desechos de sus actividades biológicas (materiales orgánicos y domésticos), sociales e industriales (insecticidas, metales pesados, hidrocarburos, radiactividad, plantas termoeléctricas, etc.); también es económico porque de ella se extraen recursos biológicos y pesqueros como los camarones, jaibas, langostinos, ostiones, mejillones, caracoles, almejas, peces, y vegetación acuática y semiacuática. México posee 10,000 km de litoral, 500,000 km² de plataforma continental 1 600 000 hectáreas de superficie y, aproximadamente 12, 000 km² de lagunas costeras, el Golfo de California, Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe.

Por su complejidad ambiental, el ecosistema de la zona costera es objeto de estudio de múltiples disciplinas científicas. La zona costera se caracteriza por ser un ecosistema en el que interactúan las propiedades y características físicas y químicas de sus aguas por las fuerzas y procesos que forman, mantienen y modifican áreas y sistemas de esa zona por las relaciones entre el agua, los sedimentos, la línea de costa, el clima, los organismos vivientes de la comunidad y

los movimientos de materia y energía provenientes de las aguas y tierras continentales próximas y del ambiente marino.

La comprensión ecológica de la zona costera mediante la integración de investigaciones multidisciplinarias, permite disponer de las mejores opciones para:

- Detectar cambios producidos tanto por la evolución natural del sistema ecológico como por los efectos producidos.
- Evaluar el potencial de sus recursos.
- Recomendar una explotación racional de los recursos renovables y no renovables.
- Administrar adecuadamente la zona costera, con óptimo uso de sus recursos (Yañez-Arancibia, 1986).

3.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS COSTERAS

3.5.1 Geológicas

Las lagunas costeras nacieron en la última glaciación, hace aproximadamente unos 18 mil años, la elevación del nivel del mar ocasionó que el océano invadiera depresiones costeras, valles, deltas de ríos, generando así la actual línea costera, incluyendo bahías y entradas de mar, en las áreas donde existía aporte de agua proveniente del drenaje continental, se formaron estuarios y lagunas costeras, y ésta en una propiedad que distingue a esos cuerpos acuáticos.

El nacimiento de las lagunas costeras puede resumirse en 4 puntos importantes:

- Características geomórfológicas originales (historia del nivel del mar).
- Historia geográfica del área (geología y fisiografía general).
- Oceanografía costera (olas, corrientes y mareas).
- Climatología regional (vientos, lluvias y gastos de ríos)

ESQUEMA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAGUNAS COSTERAS.

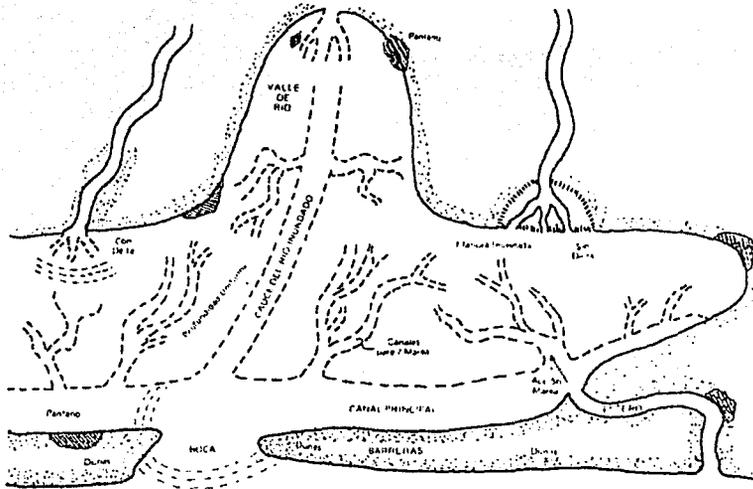


Figura 2. Esquema de las características de la laguna costera (Contreras, 1985).

TESIS DE
FALLA DE ORIGEN

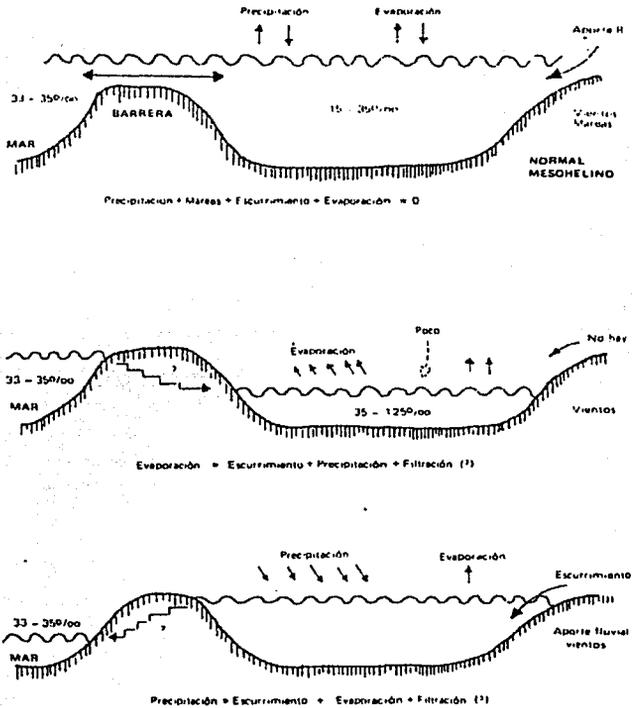
La morfología y la evolución se deben principalmente a cinco factores:

- Origen de la laguna
- fuerza de la marea del río, lluvias, vientos, acarreo continental, etc. (componentes físicos).
- Presencia de manglares, pastos marinos, pantanos, marismas etc., (componentes biológicos).
- Edad de la laguna.
- Influencia del hombre.

La mezcla de dos masas de agua, una marina y otra continental, se denomina estuarinidad. Un estuario se define como "un área semicerrada donde el agua de mar que penetra se encuentra mesurablemente diluida con el agua proveniente del los ríos (Prtchar, 1967). Las lagunas costeras también exhiben esta peculiaridad, y sólo se reconoce que tiene la características estuarinas. La diferencia topográfica primordial entre ambos cuerpos de agua es que el estuario se dispone en perpendicular a las costas (valle de río inundado) y en las lagunas costeras el eje principal está paralelo a está (figura 2).

Las dos corrientes acuáticas engendran sedimentos de origen marino y terrestre. La distribución de éstos se determina por la acción de las corrientes locales y viceversa. En términos generales, los sedimentos dominantes son de tamaño pequeño como el cieno, el fango y la arcilla; en los canales de circulación, conformados por la acción de la marea o la influencia de los ríos, predominan las arenas. Las lagunas costeras son llanuras de inundación; por su extensión son someras, de corrientes lentas y sedimentos predominantemente fangosos, lo que causa una biota bentónica muy peculiar (Yañez-Arancibia, 1986).

REPRESENTACION DE DIFERENTES TIPOS DE LAGUNA COSTERA,
CON BASE EN SU COMUNICACION CON EL MAR



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Figura 3. Representación de diferentes tipos de laguna costera, con base en su comunicación con el mar (Contreras, F.1985).

3.5.2 Hidrología

Por la poca profundidad y la amplia extensión de estuarios y lagunas costeras, la temperatura del agua es similar a la atmosférica; por ello se originan variaciones más marcadas que en la zona marítima adyacente a la continental. Estas fluctuaciones se minimizan conforme una de las dos masas de agua domina sobre el sistema. En México, miembro de la región tropical, estas variaciones de temperatura son leves, al menos espacialmente; estacionalmente se establecen dos épocas de origen climático, cuya temperatura mínima es de 19°C y la máxima de 32°C aproximadamente.

Las lagunas muestran considerables variaciones en su salinidad, tanto en el espacio como en el tiempo, ya que la mayoría de ellas recibe afluentes de ríos cuyo volumen cambia en cada estación. En lagunas someras (1.09 a 1.50 m de profundidad) llegan a aparecer estratificaciones salinas muy locales, pero en lagunas de mas de 2 m de profundidad, es común la estratificación por densidad, ocasionada por la salinidad y la temperatura, aunque se sujeta a la variación estacionaria. La circulación lagunar tiene mucho que ver con la concentración de sales la cuál depende del encuentro de dos corrientes de agua, que motivan diferencias de temperatura y salinidad por otro lado se debe a factores locales tales como:

- Morfología de la laguna.
- Vientos dominantes.
- Profundidad.
- Amplitud de su comunicación con el mar.

Las propiedades estuarinas de las lagunas costeras se refieren fundamentalmente a la circulación. Los estuarios denuncian distintas modalidades en su patrón circulatorio. Sin embargo, existen tres tipos básicos (Contreras, 1983): circulación

positiva, negativa (estuarina y anti-estuarina) neutra. Las tres se establecen por la diferencia de densidad entre el agua marina y la continental.

Circulación positiva: La marea penetra por debajo de la capa de agua dulce, y se convierte en una estratificación vertical, con un descenso paulatino conforme se aleja de la zona de influencia directa. Este fenómeno sobresale en estuarios y lagunas con profundidades mayores de 2 m.

Circulación neutra: No muestra variaciones de densidades, pues la circulación se da solamente por el movimiento que provoca la marea, con el cual aumenta la concentración de materiales en suspensión hacia la parte más lejana de la laguna.

Circulación negativa: Se llama también anti-estuarina, ya que el movimiento es opuesto a la circulación positiva y se genera cuando la evaporación excede a la precipitación, hecho que incrementa la salinidad y paralelamente la densidad a niveles mayores que los del mar; el agua más densa desciende y fluye hacia el océano. En la superficie permanece agua de menor salinidad proveniente del mar. Aunque el exceso de evaporación no persiste todo el año, este fenómeno puede ocurrir durante uno o varios días, o hasta en la mayor parte del ciclo. Si la circulación anti-estuarina perdurara, produciría condiciones de claridad en el agua, pocos nutrientes y materiales particulados, aparte de una productividad escasa. La diferencia de salinidad genera además corrientes verticales, pues hay la tendencia a equilibrar la concentración de sales, por medio de una difusión del agua (de mayor a menor densidad).

Un factor determinante en la circulación de las lagunas costeras es el viento, a causa de la escasa profundidad de aquéllas. Y, en términos generales, al existir una mínima contribución por parte de los ríos (salvo en época de lluvias), la influencia éstos se manifiesta solamente como una alteración local. Por otro lado, las lagunas, al ser someras, establecen zonas de calentamiento. El número y el tamaño de las

bocas de comunicación con el mar son otro factor determinante, tanto en la circulación como en el funcionamiento de las lagunas. Por su batimetría, éstas enseñan olas de longitudes cortas y alta frecuencia, lo que contribuyen al aumento de turbidez en el agua. Así, las lagunas costeras, independientemente de su tipo de circulación, son más ricas en materiales químicos y orgánicos que el mar colindante Figura 3 .

3.5.3 Propiedades Químicas

3.5.3.1 Oxígeno disuelto

El gran contenido de materia orgánica en las lagunas costeras hacen oscilar notablemente las variaciones diarias de oxígeno disuelto Por la elevada productividad, frecuentemente en estos sistemas, la depositación de materia orgánica hacia los sedimentos es considerable y ésta requiere de mucho oxígeno para su descomposición. La buena mezcla de agua en las lagunas ofrece volúmenes suficientes de este elemento, aunque los sedimentos presentan condiciones anaerobias inmediatamente debajo de la capa superficial del sedimento. Valores superiores al 100% de saturación de oxígeno son dominantes a lo largo del ciclo, en algunas lagunas costeras; por ejemplo en la laguna de Tamiahua en Veracruz, la saturación mínima registrada fue de 110% y la máxima de 180%; esto se obtuvo en un ciclo anual puede suponerse que dominan el sistema procesos autotróficos (Edwars, 1978; Mee, 1977)..

3.5.3.2 pH y alcalinidad

Parámetro considerablemente variable, justificado por la tierra que aportan los ríos, la constante agitación de los sedimentos, la influencia mareal, los procesos de descomposición en las zonas profundas y los asentamientos humanos e industriales. El valor promedio de pH para el océano es de 8.2; este valor aparece

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

frecuentemente en lagunas con influencia marina, como la de Términos en Campeche (Contreras, 1987).

3.5.3.3 Nutrientes

Frecuentemente las lagunas son ricas en éstos además el constante movimiento provee a la columna de agua de nutrientes del fondo casi todo el año, suceso fundamental para la productividad primaria del cuerpo acuático hacia la biota fitoplanctónica.

Las variaciones estacionales de los nutrientes son amplias. La concentración más elevada se sitúa después del período de lluvias, cuando además de los elementos autóctonos, se suman los provenientes del arrastre terrígeno originado por los ríos. La concentración mínima se detecta después del florecimiento fitoplanctónico primaveral; pero aun en estos meses abundan en cantidad superior a la disponible en la zona marina cercana. La marea genera un suministro sustancial de nutrientes hacia la zona costera.

Las fuentes de nitrógeno (amonio, nitratos y nitritos) son abundantes todo el ciclo; el amonio representa del 60 al 90% del nitrógeno total. Ahora bien, la urea es una importante fuente de nitrógeno en zonas costeras y estuarinas (McCarthy, *et al*, 1979) y ocupa el segundo lugar en preferencia, por parte del fitoplancton, después del amonio. Se ha observado que la proporción porcentual $\text{NH}_4^+/\text{N}_{\text{total}}$, desciende abruptamente en los meses de florecimiento fitoplanctónico, mientras que aumenta la proporción $\text{NO}_3/\text{N}_{\text{total}}$.

El índice de N:P en el océano es de 15:1; en cambio, en los lagos, es de 40:1; mientras en éstos el fósforo inorgánico es el elemento limitante para la productividad, el nitrógeno inorgánico lo es en aquél. En las lagunas costeras, los valores para la relación N:P oscilan entre 1:1 y 4:1, lo que sugiere, con base en las

concentraciones detectadas y en el valor de la relación N:P, que ninguno de los dos elementos restringe el proceso de la productividad primaria. Una sobre saturación de éstos ocasiona un serio daño a los sistemas acuáticos esto es motivo de eutroficación o sobrepoblación de biota fitoplanctónica propiciada por una cantidad anormal de nutrientes. Este fenómeno resulta perjudicial por los cambios significativos en el pH y la aparición de una sucesión bacteriana dominante, por anoxia en la columna de agua y generación de ácido sulfhídrico o metano y por una abrupta caída del potencial de reducción (Doremus, *et al*, 1980).

3.5.3.4. Materia orgánica

Dada la mayor biomasa en las lagunas costeras que en otros sistemas acuáticos, la cantidad de materia orgánica disuelta o particulada es muy importante. En sistemas productivos someros, los productos derivados de la producción primaria se sedimentan en su mayoría en el fondo y llegan en forma no disociada o como materia fecal no desintegrada. Éstas son fuentes ricas de alimento para las comunidades heterótrofas o degradadoras del bentos, ya sea en forma directa o previamente atacadas por las bacterias. Por otro lado, la materia orgánica en cantidad sustancial comúnmente denominada detritus, tiene una importancia básica en estos ecosistemas, como. Según varios autores, de entre los que destacan, los detritus son la base de trama tróficas completas, quien inclusive llegan a ser dominantes temporal y espacialmente sobre otras vías energéticas, debido a su disponibilidad. Así, presumiblemente son los detritus los principales sustentadores de la biota estuarina, además de que cadenas tróficas basadas en otras fuentes, sobre todo la fitoplanctónica, son fenómenos de indudable impacto ecológico pero con características más estacionales.

Los principales insumos de detritus hacia el sistema son de tipo alóctono y provienen de las vastas cantidades de organismos que habitan éste; vienen también de la fragmentación de las hojas de la vegetación circundante, como es el caso de

los pastos pantanosos y manglares. Éstos se relacionan fuertemente con las lagunas costeras; la defoliación de estos vegetales incrementa la relevancia de la entrada de material orgánico susceptible de descomponerse. *Rhizophora mangle* desecha 19 toneladas de hojas por hectárea anualmente (Contreras, 1985).

3.5.4 Ecología

Cómo zona de transición entre dos ecosistemas definidos, la laguna costera constituye un *ecotono*. Lo anterior lleva implícita una interesante complejidad biológica debida a las adaptaciones fisiológicas de los organismos en su intento de adecuarse a los cambios, principalmente de salinidad. Las lagunas costeras se influyen directamente por el mar, los ríos y el ambiente terrestre circundante, y adquieren así una particularidad asombrosa que justifica su estudio como "unidades semi-aisladas". Para la obtención de un modelo lagunar, las nociones básicas son la determinación de la productividad y la naturaleza de la trama trófica.

Los listados de especies son ciertamente muy importantes como punto de partida para estudios ecológicos, pero si consideramos que cada laguna tiene decisivas influencias locales en su formación y crecimiento, aquéllas pierden importancia, ya que tanto la diversidad como la variedad de organismos son enormes, y la mayoría de los nombres sólo tiene importancia local (Colombo, 1977).

3.5.5 Vegetación circundante

Una de las comunidades neríticas más interesantes y características de las aguas tropicales y subtropicales, que vale la pena mencionar especialmente son los pantanos de mangle, ya que son importantes "constructores terrestres" que contribuyen a formar islas y costas extensas. El mangle figura entre las pocas plantas terrestres emergentes que toleran la salinidad del alta mar (Odum, 1995). Los manglares son ecosistemas limitados en su expansión a latitudes de

características tropicales, 25° N y 25° S. En México cubre alrededor de 600,000 ha (Contreras, 1993).

Los manglares son un tipo de vegetación característico de las costas tropicales y subtropicales del mundo. Predominan en ellos los árboles, aunque pueden presentarse hierbas en el piso. los han caracterizado como unidades integradas, autosuficientes, con componentes vegetales altamente adaptados a las condiciones específicas del ambiente: suelos periódicamente sumergidos por la acción de las mareas, salinidad fluctuante y clima homogéneo. Los manglares están compuestos por dos clases de plantas: 1) géneros y taxa superiores que se encuentran sólo en el manglar, y 2) especies y géneros terrestres adaptados a la vida en los pantanos. Su composición florística varía de acuerdo con las condiciones ambientales y con las comunidades circundantes, y precisamente por esta variación se conoce a esta comunidad en algunas regiones del mundo. Bajo otros términos, sin embargo, el término manglar caracteriza a éste desde el punto de vista fisonómico.

Ecológicamente, los manglares son sistemas abiertos al flujo de la energía y la materia de las cuales dependen. Como todo sistema ecológico, reaccionan a cualquier cambio anormal externo, que en este caso se manifiesta en su estructura florística y faunística, en los procesos de transformación del suelo y en su capacidad para fijar energía y sintetizar materia orgánica (Gallegos y Vázquez-Botello, 1986).

De acuerdo con Chapman (1975), las características más significativas del manglar son las siguientes:

- Los elementos arbóreos dominantes presentan marcadas modificaciones de sus sistemas radiculares en forma de raíces zancos, o constituyen tapices de raíces que emergen del suelo en forma de espárragos, denominados neumatóforos, de 10 a 40 cm de largo.

- Presentan una alta capacidad en el mantenimiento del balance osmótico de los tejidos, por medio de la especialización de mecanismos para eliminar las sales de cloruro de sodio.
- El viviparismo es un fenómeno convergente en algunas especies dominantes.
- El sistema foliar es muy semejante entre los principales componentes del manglar en cuanto a forma, textura, color, succulencia, persistencia y algunas estructuras microscópicas, como los estomas y el sistema de venación.

Presentan un gradiente florístico estructural o zonación, de acuerdo con su localización respecto al mar abierto (Tait, 1987).

Los manglares son especies vegetales que colonizan superficies aprovechando los cambios geológicos y sedimentación, según Thom (1974) en Tait R. V., 1987. Manifiestan adaptaciones muy parecidas a las de plantas xerófitas. Regulan la sal por tres mecanismos: exclusión, extrusión y acumulación con base en lo anterior. Los clasifican en dos grandes tipos: segregadoras y agregadoras de sales. Las adaptaciones están dadas por su relación con los suelos generalmente anóxicos, propiciando adaptaciones tales como raíces aéreas (*Rhizophora* sp.) y pneumatóforos (*Avicennia* sp.), métodos reproductivos (vivipara por propágulos, *Rhizophora*), aunque están sujetas también a polinización. La sucesión más común es *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus* (champan, 1975; Menéndez, 1973; Lot-Helgueras et al., 1975; Gallegos, 1986 en Tait, 1987). En Chiapas se presenta *Rhizophora harrisonii*, mezclado con *R. mangle*.

El mangle no sólo es importante por cuanto extiende las costas y forma islas, sino también por la protección que presta a las mismas contra la erosión excesiva que, en otro caso, podría producirse como consecuencia de las violentas tormentas tropicales. Se ha comprobado que los detritus de las hojas del mangle aportan a las pesquerías unos de los principales suministro de energía (Odum, 1995).

3.6 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La Cromatografía de Gases (CG) es una técnica analítica utilizada en la separación, identificación y cuantificación de los componentes de una mezcla. Se basa en la diferencia de velocidad de migración de los componentes de una mezcla, al ser arrastrados por un gas inerte a través de una columna de un material adecuado. La Cromatografía de gases fue iniciada por los científicos ingleses A. T. James y A. J. P. Martin en 1941. Comenzó a utilizarse en varios laboratorios a partir de 1950 y la construcción de instrumentos comerciales empezó en 1955, (Perkin-Elmer 1995). Es la técnica analítica de separación que ha experimentado un gran desarrollo, se ha utilizado para resolver numerosos problemas en la industria, medicina, y análisis ambiental (Volcárce, *et al* 1994), utilizándose en gran escala en el análisis de mezclas orgánicas complejas, como las que se encuentran comúnmente en petróleo, aceites esenciales, perfumes, sabores, sustancias de origen biológico, pesticidas y ácidos grasos, entre otros. Esta técnica sobresale por su gran versatilidad tanto en lo que se refiere a tipos de trabajos, como también a la naturaleza y cantidad de muestra. La Cromatografía de Gases se emplea para analizar mezclas de compuestos que vaporicen o se volatilicen a temperaturas por debajo de 0° hasta 450° C, para cualquier sustancia que pueda calentarse dando una presión de vapor de unos 30 mm de mercurio sin alterarse o descomponerse. La Cromatografía de gases es, en muchos casos, la única técnica que permite separar en una sola operación más de 100 componentes de una mezcla (Perkin-Elmer, 1995). Esta técnica cromatográfica es la que ofrece mayor resolución para compuestos orgánicos volátiles. Su principal limitación se encuentra en la labilidad térmica de los solutos, los cuales deben ser estables a la temperatura de volatilización.

En CG la fase móvil es un gas, mientras que la fase estacionaria puede ser: a) un sólido absorbente, b) un líquido retenido en un soporte sólido (columna

empaquetada) o impregnando las paredes de una columna capilar (columna abierta), cabe distinguir por lo tanto dos tipos generales de CG:

- Cromatografía gas-sólido (CGS) (Cromatografía de adsorción).
- Cromatografía gas-líquido (CGL) (Cromatografía de partición).

El fundamento de las separaciones mediante CGS se encuentra en las diferencias de volatilidad de la mezcla de los solutos y en su capacidad para ser absorbidos por el sólido activo. La Cromatografía gas-sólido utiliza un absorbente sólido como fase estacionaria. En el caso de las separaciones por CGL, tienen como fundamento las diferencias en volatilidad y solubilidad de la mezcla de los solutos a separar (Volcárce, *et al* 1994).

La Cromatografía gas-líquido lleva a cabo la separación por medio del reparto de los componentes de una mezcla química, entre una fase gaseosa que fluye (móvil) y una fase líquida estacionaria sujeta a un soporte sólido.

Un cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados:

- Proporciona un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil).
- Permite la introducción de la muestra vaporizada y la hace fluir en la corriente del gas inerte
- Contiene la longitud apropiada de fase estacionaria.
- Mantiene la columna a la temperatura apropiada (o la secuencia del programa de temperatura).
- Detecta los componentes de la muestra conforme eluyen de la columna.
- Provee una señal legible proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente (Hubart, *et al*. 1991).

3.6.1 Aplicaciones de la Cromatografía de gases

Es una técnica de separación que se basa, por lo general, en el reparto de un compuesto entre una fase móvil en estado de vapor y una fase estacionaria líquida sujeta a un soporte sólido, en donde el gas fluye a través del soporte recubierto con una fase estacionaria en una columna precalentada y por último o través de un detector. Mediante la selección en la polaridad de la fase estacionaria líquida, pueden separarse casi todos los compuestos sensibles que posean una volatilidad significativa, salvo los compuestos sensibles al calor y la mayor parte de los polímeros (Schenk *et al.* 1984).

Por regla general, los compuestos con presión de vapor de por lo menos 10 torr a la temperatura de operación de la columna, pueden separarse por Cromatografía de gases. Las columnas generalmente funcionan hasta temperaturas de 300° o aun mayores, por lo cual, gran número de sustancias orgánicas y algunas inorgánicas cumplen con este requisito. Hace tiempo era imposible analizar a la mayoría de los no volátiles por cromatografía de gases, pero en la actualidad los investigadores han desarrollado métodos para convertir a la mayoría de estos en derivados volátiles. Algunos tipos de compuestos orgánicos que pueden derivarse son los siguientes.

- Ácidos grasos de alto peso molecular (-COOH) a ésteres metílicos (-COOMe).
- Alcoholes de alto peso molecular y carbohidratos (-OH) a éteres de trimetilsililo (-OSiMe₃).
- Aminoácidos A ésteres de N-trifluoroacetil-*n*-butilo.
- Fenoles (-OH) a acetatos (-O-COCH₃).

Un ejemplo de la utilidad de los derivados es el análisis de los ácidos grasos en alimentos y material biológico. La mayor parte de estos ácidos son de peso molecular elevado (el ácido esteárico, C₁₇H₃₅CO₂H, tiene peso molecular de 284) que no son volátiles, pero pueden convertirse a ésteres metílicos volátiles.

Otro punto que se considera es la identificación de un pico de elución, especialmente cuando hay muchos picos presentes. Las mezclas de extrema complejidad podrán analizarse con éxito, siempre que sea posible identificar los picos individuales. Los picos suelen identificarse con frecuencia comparando sus tiempos de retención con los de los compuestos conocidos, separados en las mismas condiciones.

La Cromatografía de Gases se usa con frecuencia para separar y analizar mezclas que contengan grupos que difieran sólo en un grupo $-CH_2-$ es decir, series homólogas de compuestos orgánicos. Un ejemplo de este tipo de series es el metano, etano, propano, *n*-butano, *n*-pentano, etc. Esta técnica también es de gran utilidad para la separación de gases raros por Cromatografía de gas-sólido. La columna cromatográfica se empaca con una resina porosa de poliestireno. La separación de gases raros se considera bastante difícil, a causa de su volatilidad y por ser inertes químicamente (Fritz, 1986).

3.6.2 Teoría de la Cromatografía gas-líquido

Teoría de los platos. En esta teoría se describe la columna cromatográfica en términos de platos teóricos. Se supone que existe un estado de equilibrio, aunque en sentido estricto no se mantengan las condiciones de equilibrio. En las siguientes ecuaciones la tasa de distribución de concentración D_c y la tasa de distribución de masa D_m para un componente de la muestra, se define como:

$$D_c = \frac{\text{Concentración del componente en la fase estacionaria}}{\text{Concentración del componente en la fase móvil}} \quad (1)$$

$$D_m = \frac{\text{Cantidad de componente en la fase estacionaria}}{\text{Cantidad de componente en la fase móvil}} \quad (2)$$

En CGL la fase móvil es el gas de arrastre (que casi siempre es He o N₂) y la fase estacionaria es el recubrimiento líquido del soporte sólido.

El volumen V_R de gas de arrastre que se necesita para eluir un soluto de la muestra a su concentración máxima V_R esta dado por la expresión:

$$V_R = D_c V_S + V_M \quad (3)$$

Donde V_R es el volumen de retención y D_c es la tasa de distribución definida anteriormente.

V_S es el volumen de líquido estacionario en la columna, y que se encuentran entre el inyector y la salida del detector. En Cromatografía de Gases, el volumen de retención del pico de aire, V_A , suele ser igual a V_M porque la columna no retiene el aire; por tanto, la ecuación 2 se transforma en:

$$V_R = D_c V_S + V_A \quad (4)$$

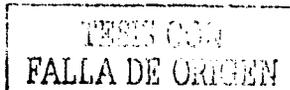
Si restamos V_A de V_R , la ecuación 4 se transforma en:

$$V_R' = D_c V_S \quad (5)$$

Donde V_R' es el volumen de retención corregido.

El volumen de retención de un componente de la muestra también puede describirse en términos de la relación de distribución de masa, D_m .

$$V_R = V_A(D_m + 1) \quad (6)$$



Experimentalmente, el tiempo de retención t_R de un componente de la muestra, se mide directamente en el cromatograma. Es fácil medir el tiempo de retención, porque la velocidad del graficador se fija a un número determinado de cuadrados de papel por minuto. Si desea, puede calcularse el volumen de retención a partir de t_R y la velocidad del flujo del gas de arrastre, F_c :

$$V_R = t_R F_c \quad (7)$$

La tasa de distribución y el espacio de la fase líquida estacionaria en la columna son los factores que determinan principalmente el volumen de retención del componente de la muestra (ecuación 5). Reduciendo el espesor del líquido estacionario que recubre el soporte sólido, también se disminuirá el tiempo de retención del componente de la muestra. La tasa de distribución de concentración también puede variar si se modifica: (1) la naturaleza química de la fase líquida estacionaria o (2) la temperatura de la columna. La concentración en la fase móvil (gas de arrastre) es proporcional a la presión parcial del componente en el gas. Al aumentar la temperatura, aumenta la volatilidad de la fase estacionaria, y por lo tanto se incrementará la presión parcial en la fase móvil, y al aumentar la temperatura D_c disminuirá y aumentará la velocidad a la que el componente pasa a través de la columna.

Si se va a separar la mezcla que contenga sustancias con puntos de ebullición altos y bajos, la temperatura necesaria para separar con eficacia a los volátiles probablemente ocasione que los de alto punto de ebullición tarden mucho en separarse. Se puede usarse un control de programación lineal de temperatura. En este procedimiento la temperatura aumenta linealmente con el transcurso del tiempo, a velocidad determinada. Los de bajo punto de ebullición se separan a temperaturas más bajas, y los de alto punto de ebullición se separan posteriormente, a medida que la temperatura aumenta. Se puede emplear también un control de programación por rampa.

La resolución de los picos es un punto de importancia vital en Cromatografía de Gases. La ecuación para la resolución (R_s) de picos de *área igual*, establece en resumen que es necesario que exista un factor de separación α , favorable, un gran número de platos teóricos n , y que la relación.

$$R_s = \frac{1}{4} (\alpha - 1/\alpha) \sqrt{n} (D_B/1 + D_B) \quad (8)$$

Generalmente puede obtenerse una altura de plato teórico (h) del orden de mm en Cromatografía de Gases, mediante la ec. 8 puede estimarse el valor de n (y por consiguiente la longitud de la columna L) para una separación determinada cuando se conozca α . (Fritz S. J., Schenk H. G., 1991).

4. ZONA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación geográfica

El sitio en el cuál se realizó el presente estudio se ubica en la porción occidental del Golfo de México, en la comunidad de la Rivera, municipio de Tampico Alto, Veracruz. Aproximadamente entre las coordenadas, 22°07' latitud Norte y 97°48' longitud Oeste. Se encuentra localizada en la parte norte de la laguna de Tamiahua. La fisiografía de esta zona, se ubica al norte en la Llanura Costera del Golfo, caracterizándose por presentar llanuras y lomeríos. Tiene una longitud de 85 km y una anchura máxima de 18 km; ocupa un área de 88,000 ha aproximadamente, por su extensión es la tercera más grande del país fig. 1.

Sus rasgos fisiográficos más notables son:

- La presencia de numerosos arroyos, en su mayoría de flujo estacional.
- Varias islas, tres de la cuales son notablemente más grandes.
- Una gran barrera arenosa .
- Canales que la conectan con los ríos Pánuco y Tuxpan.
- Una boca angosta.

El clima es de tipo aw^2 (e) subhúmedo, lluviosos en verano seco en invierno, modificado por las frecuentes tormentas o "nortes" que se presentan con fuertes vientos, durante el verano prevalecen vientos del Este. La evaporación es moderada (Ayala-Catañares *et al* 1969) la región hidrológica es la 27. Lankford en 1977 la clasifica en el tipo III-B-; (Carranza, *et al.* 1975) en la unidad morfotectónica.

La laguna de Tamiahua recibe la descarga de numerosos ríos; entre los más grandes se hallan Estero Laja, Estero Cucharas, Estero Carbajal, Estero Tancochin (con un importante delta externo que se proyecta hacia el interior del la laguna); Arroyo de Tampache y el Estero Palmas.

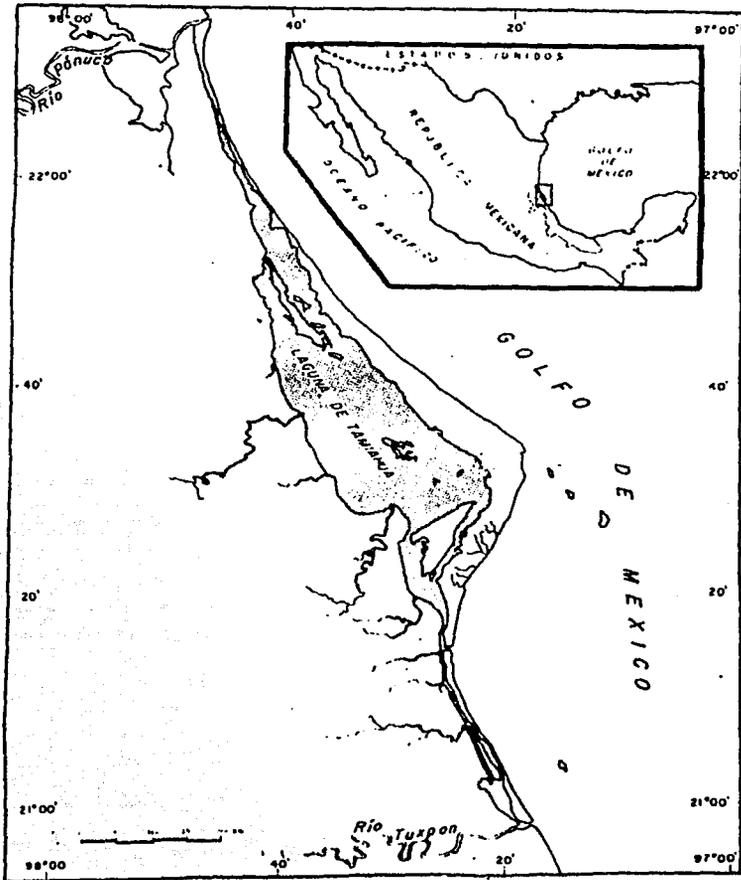


Fig. 4. Ubicación de la zona de estudio INEGI 1999, (Escala 1:20,000).

Dentro de este cuerpo acuático existen las islas: Juan Ramírez, Del Toro y del Ídolo; en las dos primeras hay antiguas dunas estabilizadas que representan vestigios de una antigua barrera arenosa: en la isla del Ídolo sólo se observan bermas y antiguos meandros de vías.

Frente a la costa hay una cadena de arrecifes coralinos vivos; en el subsuelo de Cabo Rojo, a 12.5 m de profundidad existen evidencias de un arrecife muerto, al igual que en el centro de la laguna; estas formaciones fueron de especial importancia para la gestación de las barreras en la antigüedad (Cruz-Orozco, 1967).

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se trata de un sistema estuarino-lagunar somero, con una profundidad de 2 a 3 m; es un poco más hondo en la zona adyacente interior de la barra arenosa Cabo Rojo; ésta tiene forma triangular y dos porciones, su vértice exterior se proyecta hacia el Golfo de México; en la porción norte existen grandes dunas activas; en la sur, dunas estabilizadas. Esta barrera se compone principalmente de arena. Se desconoce en detalle el régimen de mareas, pero comparándolo con la información sobre Tampico, Tamps. y Tuxpan, Ver., puede extrapolarse que es diurno y su rango muy pequeño. Asimismo, se desconocen las características de la circulación del agua, aunque los principales factores que la afectan son las mareas, el viento y las descargas de los ríos (Cruz, 1966 en Ayala *et al.*, 1969).

Las medidas de temperatura del agua de la superficie y del fondo, que en términos generales se comportan de manera similar. Las temperaturas más bajas (23.1°C) en el área cercana a la boca; y en el resto de la laguna oscila entre 29 °C y 31.4 °C; la máxima fue de 33.4°C. Las temperaturas más elevadas se encontraron en las marismas y manglares. Actualmente cuenta con dos bocas: una al norte del sistema, la Boca de Tampachiche, de 200 m aproximadamente de ancho; otra al sur, la Boca o "Barra de Corazones".

Según Ayala *et al* (1969), hay en la laguna cinco tipos de sedimentos, 3 biofases de foraminíferos con 42 géneros y 72 especies. Así como micromoluscos con 35 especies de pelicipodos y 37 de gasterópodos. El fondo del ecosistema lo constituyen sedimentos limo-arcillosos procedentes de los esteros o de la erosión de las islas.

En lo que se refiere a la vegetación circundante, los manglares están ampliamente distribuidos en los bordes de la laguna, observándose las siguientes especies: *Rizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*. Además existen palmeras, selva mediana y una vegetación pionera a lo largo de las playas, representada por las siguientes especies *Ipomoea littoralis*, *Croton cortesianus*, *Coccoloba uvifera*, *Randia echinocarpa* (Poggie, 1962 y Gonzáles, 1966 en Ayala, Segura 1981).

En 1980 se obtiene un reporte del ciclo anual, realizado por el laboratorio de Oceanografía de la UAMI (Contreras, 1983); obteniéndose los siguientes resultados:

PARAMETRO (UNIDADES)	MINIMA	MÁXIMA
TEMPERATURA (°C)	21.0	31.0
SALINIDAD (0/00)	16	37
OXÍGENO DISUELTO (mL/L)	5	8
pH	8.1	8.8
N-NH ₄ ⁺ (µg-at/L)	3.61	8.68
N-NO ₂ + NO ₃ ⁻ (µg-at/L)	0.735	4.72
P-PO ₄ ⁻ (µg-at/L)	0.840	2.01
P TOTAL (µg-at/L)	1.51	3.04
CLOROFILA (mg/m ³)	0.001	20.68

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Laguna de Tamiahua hidrológicamente ha sido dividida en tres zonas: norte, centro y sur. Las zonas norte y sur se caracterizan por carecer de aportes importantes de agua continental, además, en éstas se ubican las bocas de comunicación con el mar, lo que determina que sean áreas con características eurihalinas durante todo el año; mientras que en la zona centro, que es la mas extensa, es donde desembocan las principales descargas de agua dulce que se mezclan con el agua marina, creando condiciones mixohalinas durante casi todo el año (Calva y Alvarado, 2000).

Existía una sola boca hasta antes de 1970: al abrirse una nueva comunicación con el mar, el patrón hidrológico ha cambiado significativamente. Este fenómeno es responsable de un aumento en la productividad de esta área. De los géneros más representativos de moluscos y crustáceos se registran especies de *Crassotrea*, *Crepidula*, *Penaeus* y *Callinectes*.

Entre los peces más comunes se encuentran la guabina, anchoveta, mojarra, bagre, chucumite, lisa, lenguado, sábalo, aguja, jurel, robalo, sargo, entre otros.

En Tamiahua se encontraron 56 especies de peces, de los cuales se considera que el 75% son de importancia comercial (Reséndis, 1970 en Contreras, 1993).

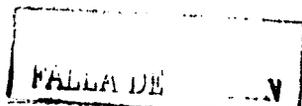
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La emisión de sustancias contaminantes al medio ambiente es inevitable, como resultado de procesos industriales; que al ser liberadas al medio ambiente, circulan y sufren alteraciones dependiendo de varios factores naturales y artificiales interrelacionados.

Durante los últimos años, en la zona costera han surgido grandes complejos industriales y portuarios, así como actividades de explotación de los campos petrolíferos que se localizan en sus áreas o en las plataformas continentales adyacentes. Las cuáles operan sin una correcta planificación y sin las medidas necesarias para la protección del medio ambiente lo que ha provocado grandes derrames de petróleo en estas zonas causando daños, a la ecología de estos ambientes naturales.

En diversas partes del mundo, las lagunas costeras se ven expuestas cada vez con mayor frecuencia, a una pérdida energética por la contaminación con petróleo (Gallegos, y Vázquez-Botello, 1986).

Por lo que es importante realizar investigación en aquellos sitios en los cuales se tengan indicios de una probable contaminación por hidrocarburos del petróleo, para que basados en estos datos se den los pasos a seguir para prevenir el sitio sin contaminación, detenerla, o buscar alternativas para su recuperación. Ya que es imprescindible la conservación de nuestros recursos naturales y su adecuada explotación con sustentabilidad



6.1 HIPÓTESIS

Debido a las actividades de extracción del petróleo cercanas a la zona de estudio, se puede prever la acumulación de hidrocarburos; tanto en la columna de agua como en los sedimentos.

6.2 OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de hidrocarburos, en agua y sedimentos de la parte norte de la laguna de Tamiahua en el estado de Veracruz.

6.3 OBJETIVOS PARTICULARES

- ✓ Determinar por Cromatografía de Gases, hidrocarburos del petróleo presentes en sedimentos y agua de la parte norte de la laguna de Tamiahua.
- ✓ Identificar mediante estándares los hidrocarburos presentes.
- ✓ Cuantificar por el método área bajo la curva, hidrocarburos totales.

7. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 Procedimiento

Para llevar a cabo la identificación de hidrocarburos presentes en sedimentos y agua se procedió a la toma de muestra, obteniéndose sedimento superficial y agua a un metro de profundidad en 4 sitios de muestreo (Rivera, Barra, y Estación 1 y 2) (Figura 6). Las muestras se tomaron en viales, que fueron perfectamente sellados, refrigerados y analizados en el Laboratorio de Proyectos Ambientales FES-Zaragoza UNAM. Los muestreos se llevaron a cabo en los meses de Diciembre (2000) y Febrero (2002) con un total de 36 muestras para sedimentos y 27 muestras para agua (que fueron trabajadas por triplicado).

Toda la cristalería se lavo previamente con detergente, agua destilada, etanol y dicloro metano (figura 7). El procedimiento adoptado para el análisis de sedimentos y agua es de Burrows (1983) tomado de Macías-Zamora J. V. (1996) con algunas modificaciones.

Sedimentos: las muestras se descongelaron, se tomaron aproximadamente 5 g de muestra y una cantidad igual de Sulfato de Sodio Anhidro (grado reactivo J. T. Baker), esta mezcla se puso dentro de un dedal de papel filtro y se cubrió con una pieza limpia de vidrio, lana o papel filtro. Todas las muestras se extrajeron en Soxhlet con diclorometano (grado Cromatografía de Gases, J. T. Baker) por 24 horas se concentraron en un rotavapor hasta obtener 5 mL de muestra.

Agua: se colocaron 10 mL de muestra en un matraz esmerilado de 50 mL, se le adicionaron 2 mL de diclorometano (grado Cromatografía de Gases, Baker). Todas las muestras se llevaron a reflujo durante 1 hora. Se separa la fase orgánica (figura 8)

Todas las muestras de agua y sedimentos se analizaron por Cromatografía de Gases, separándose a cada uno de los componentes de la muestra, se identificaron al comparar los tiempos de retención de un estándar analizado previamente las concentraciones se obtuvieron calculando el área bajo la curva en los cromatogramas. En este estudio se utilizó un cromatografo de gases Perkin-Elmer (Auto System) equipado una columna Carbowax 20 M 0.53 mm, I.D. 1. Ou de 25 M, detector de ionización de flama, con programación de temperatura utilizando como gas de arrastre Helio.

Cabe mencionar que previamente se introduce al cromatografo de gases una curva de calibración, realizada con una mezcla de estándares que contiene los compuestos que fueron analizados en este estudio. Utilizándose el siguiente programa de temperatura:

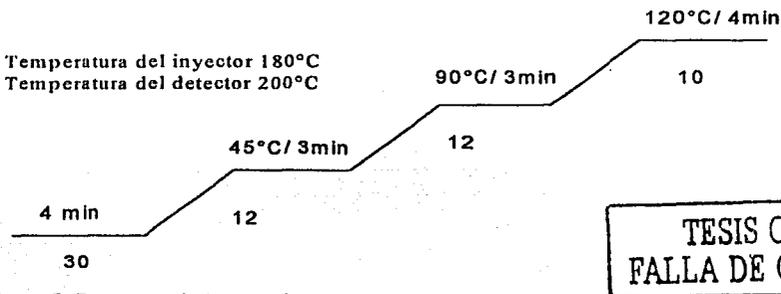


Figura 5. Programa de temperatura.

Temperatura del horno en °C	Tiempo de calentamiento en min.	Velocidad de calentamiento en °C/min.
T ₁ = 30	t ₁ = 4	R ₁ = 12
T ₂ = 45	t ₂ = 3	R ₂ = 12
T ₃ = 90	t ₃ = 3	R ₃ = 10
T ₄ = 120	t ₄ = 4	Total de la corrida = 34 min

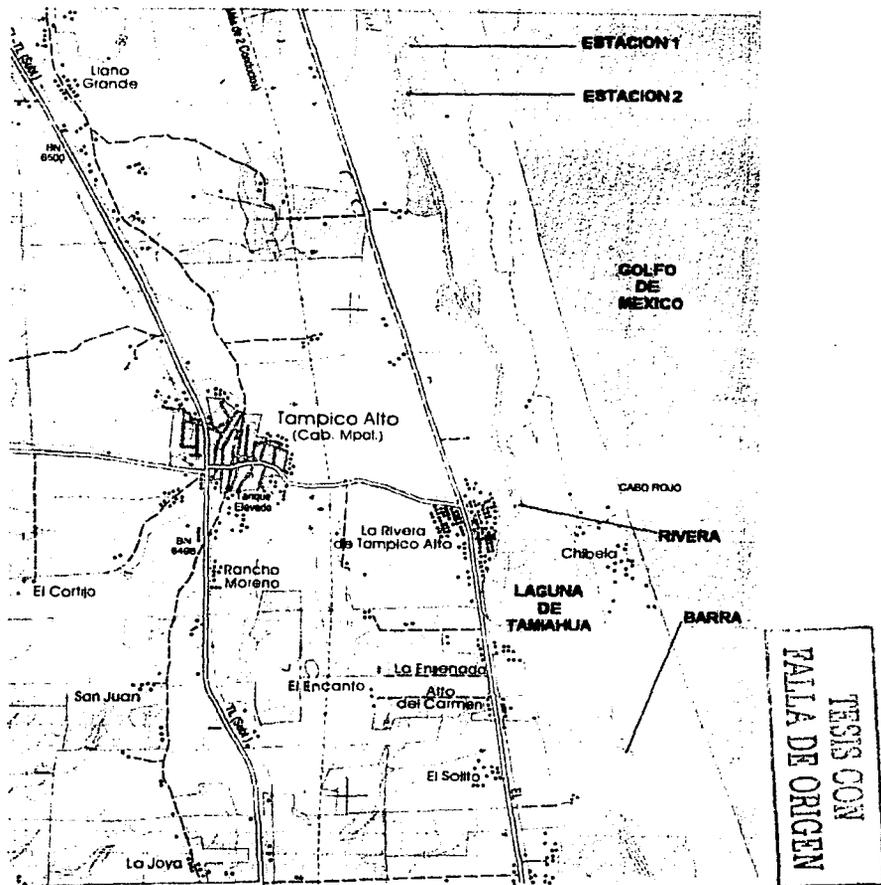
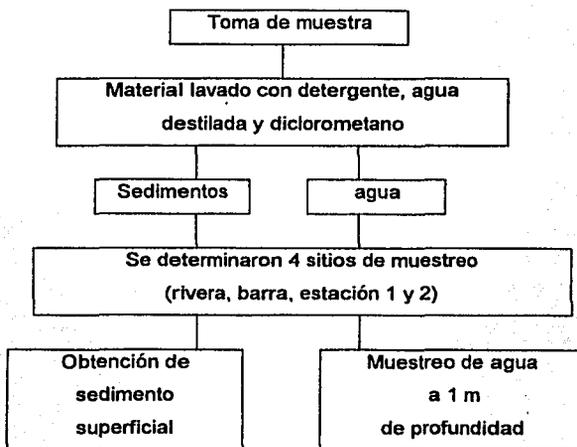


Fig. 6 Ubicación de los sitios de muestreo (INEGI 1999, (Escala 1:25,000)

7.2 DIAGRAMA DE FLUJO

7.2.1 FASE DE CAMPO



Nota: La toma de las muestras se realizó de forma directa en los viales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 7.

7.2.2 FASE DE LABORATORIO

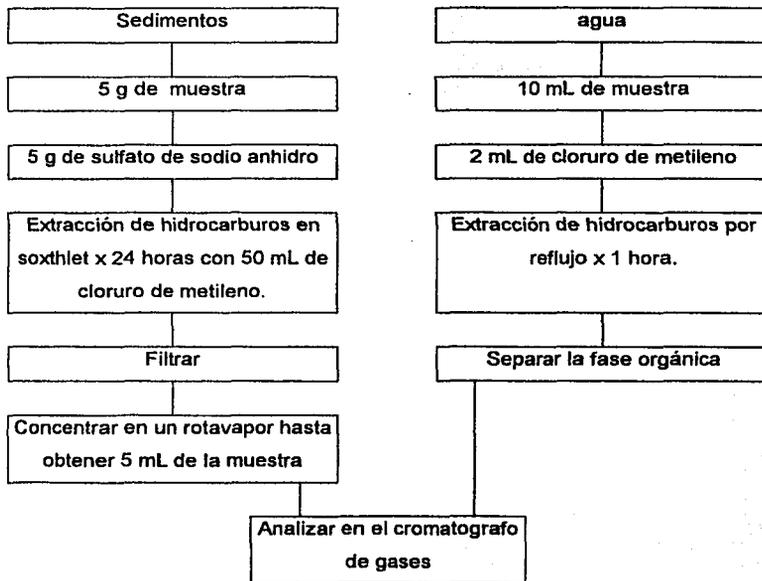


Figura 8.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En diversos sistemas costeros del Golfo de México se han llevado a cabo una gran variedad de estudios para evaluar los niveles de hidrocarburos en la columna de agua y los sedimentos, con el avance de las técnicas analíticas, actualmente se pueden detectar e identificar una gran cantidad de compuestos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto a la evaluación de los niveles de hidrocarburos del petróleo en agua y sedimentos de la porción occidental del Golfo de México, en la comunidad de la Rivera, municipio de Tampico Alto Veracruz. Se consideró a los sedimentos en el presente estudio debido a que ofrece ventajas analíticas y representa un aspecto significativo como indicador de la acumulación y disponibilidad de los hidrocarburos en un sistema costero.

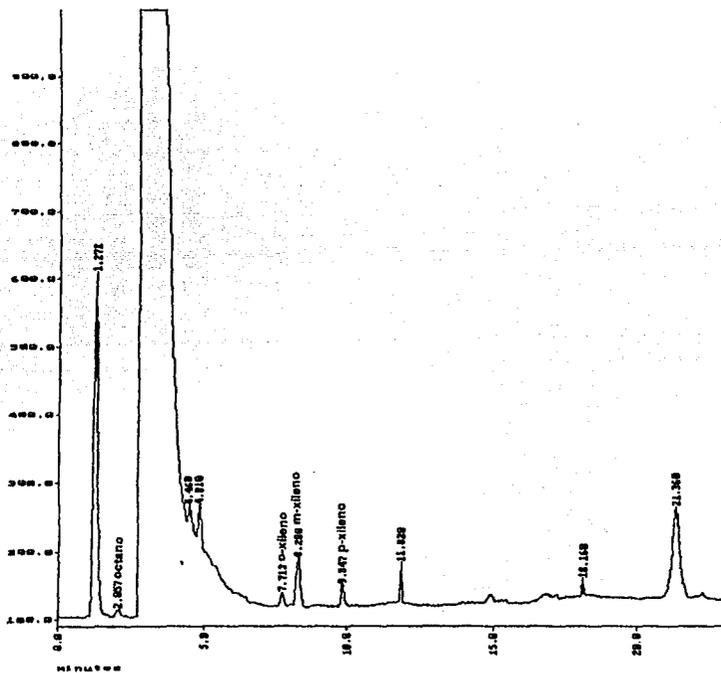
8.1 HIDROCARBUROS EN SEDIMENTOS

En la tabla 1 se muestra un resumen de los resultados obtenidos para sedimentos en los diferentes sitios de muestreo:

COMPUESTO	SITIO DE MUESTREO (mg Kg ⁻¹)			
	RIVERA	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2	BARRA
Benceno	ND	ND	ND	232.4
Hexano	ND	368.1	ND	496.2
Isooctano	ND	9.8	ND	211.9
Isopropanol	ND	836.3	ND	ND
Octano	9.7	ND	ND	43.5
Tolueno	2.9	244.3	15.1	18.6
o-xileno	15.3	ND	ND	ND
m-xileno	60.7	ND	ND	ND
p-xileno	21.5	ND	ND	ND
H. NI	236.8	402.0	1148.5	464.3
H. Totales	347.8	1860.5	1153.6	1466.9

Tabla 1. Niveles promedio de hidrocarburos del petróleo en sedimentos, parte norte de la Laguna de Tamiahua municipio de Tampico Alto Veracruz (valores en mg Kg⁻¹). *H. NI = hidrocarburos no identificados, H. Totales = hidrocarburos totales. ND=no detectado.

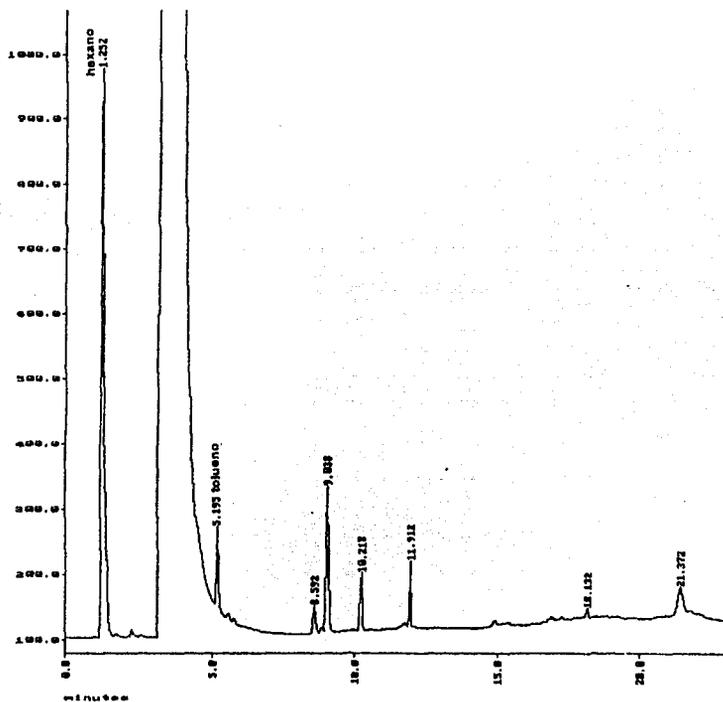
En la estación de muestreo denominada la Rivera se encontró el valor más bajo de hidrocarburos totales (347.8 mg Kg^{-1}) y no identificados (236.8 mg Kg^{-1}), el nivel de concentración para octano fue de 9.7 mg Kg^{-1} , y tolueno con 2.9 mg kg^{-1} , los xilenos orto, meta y para se encontraron en una concentración de 15.3 , 60.7 y 21.5 mg kg^{-1} respectivamente, en el cromatograma 1 correspondiente a la Rivera se observa al octano que presenta un tiempo de retención (RT) de 2.057 min , mostrándose también los tiempos de retención para o-xileno (7.713 min), m-xileno (8.280 min), y p-xileno (9.847 min).



TESS CON
FALLA DE ORIGEN

Cromatograma 1 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado la Rivera.

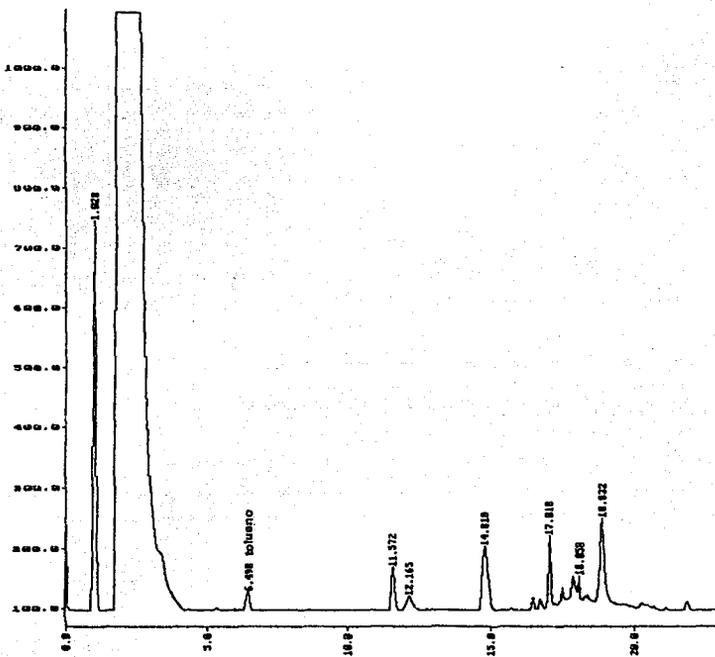
En el siguiente punto de muestreo denominado como Estación 1 se obtuvo el valor más alto de hidrocarburos totales ($1860.5 \text{ mg Kg}^{-1}$) y de tolueno con (244.3 mg Kg^{-1}) en comparación con los demás sitios, se obtuvo además el valor más bajo de hidrocarburos no identificados (402.0 mg Kg^{-1}), mientras que el isopropanol solo se detectó en esta estación en una concentración de 836.3 mg Kg^{-1} , al hexano con 368.1 mg Kg^{-1} . El cromatograma 2 perteneciente a la Estación 1 se observan los picos correspondientes al hexano con un RT de 1.252 min y tolueno con 5.195 min.



Cromatograma 2 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 1.

INSTITUTO DE QUÍMICA
UNAM

En el siguiente sitio de muestreo denominado Estación 2 se obtuvo el valor más alto de hidrocarburos no identificados con $1148.5 \text{ mg Kg}^{-1}$ y la presencia de tolueno con una concentración de 15.1 mg Kg^{-1} y un tiempo de retención de 6.498 min cromatograma 3 y una concentración de $1153.6 \text{ mg Kg}^{-1}$ de hidrocarburos totales.

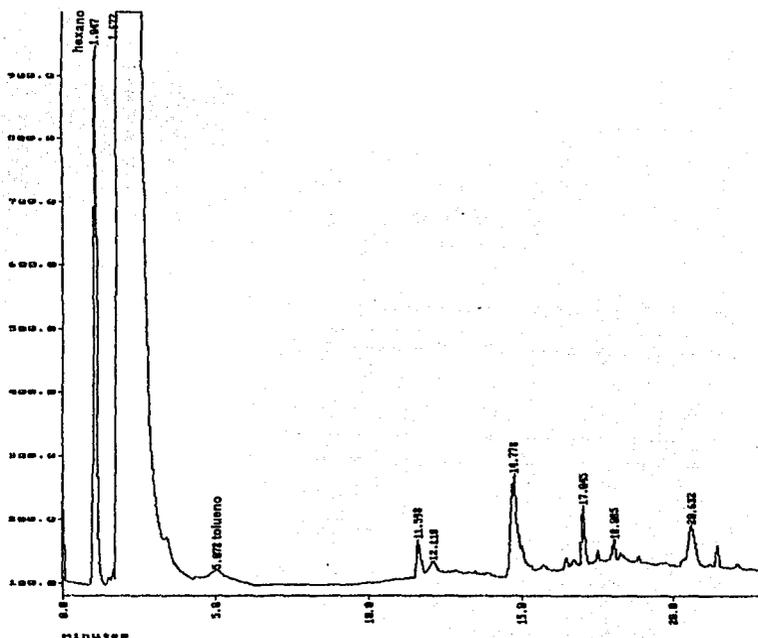


Cromatograma 3 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 2.

En el sitio de muestreo al que se le asignó el nombre de Barra se identificó al benceno con una concentración de 232.4 mg Kg^{-1} , este compuesto es uno de los catalogados dentro del grupo de los hidrocarburos más peligrosos debido a sus características cancerígenas y ser altamente tóxico. En esta estación se obtuvo el

2005 CON
PALLA DE ORIGEN

valor más alto de hexano, isooctano y octano, con una concentración de 496.2, 211.9 y 43.5 en mg Kg^{-1} respectivamente. Con respecto a los hidrocarburos Totales el nivel de concentración fue de 1466.9 mg Kg^{-1} y para los hidrocarburos no identificados de 464.3 mg Kg^{-1} . En el cromatograma 4 correspondiente a la Barra se muestra al hexano con un RT de 1.047 min y al tolueno con 5.072 min.



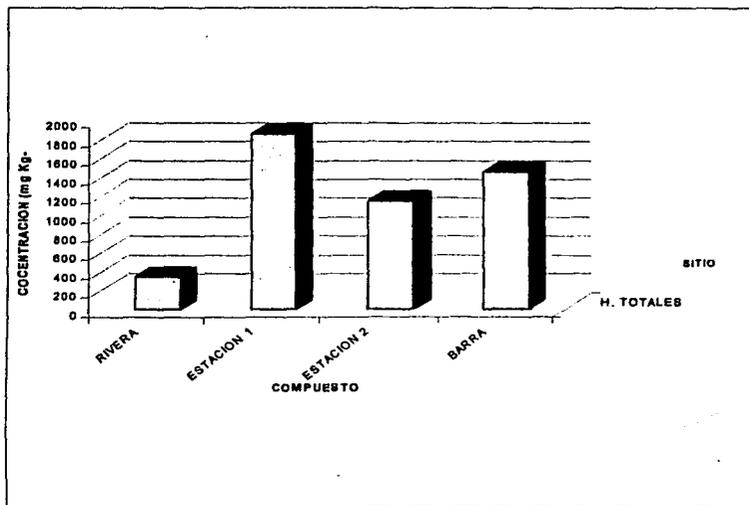
Cromatograma 4 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Barra.

En la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos con respecto a los hidrocarburos totales en donde podemos observar que el valor promedio más alto de hidrocarburos totales en sedimentos se dió en la Estación 1 que fue de 1860.5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

mg Kg⁻¹, con un mínimo de 347.8 mg Kg⁻¹ que se presentó en la Rivera, mientras que en la Estación 2 (1153.6 mg Kg⁻¹) y la Barra (468.9 mg Kg⁻¹) presentaron valores muy similares.

Estos resultados rebasan de 5 a 25 veces la norma establecida por la UNESCO (1978) de 70 mg Kg⁻¹ para hidrocarburos totales. Lo que nos permite concluir que esta zona se encuentra afectada por niveles altos de hidrocarburos del petróleo, que es más notable en la Estación 1.

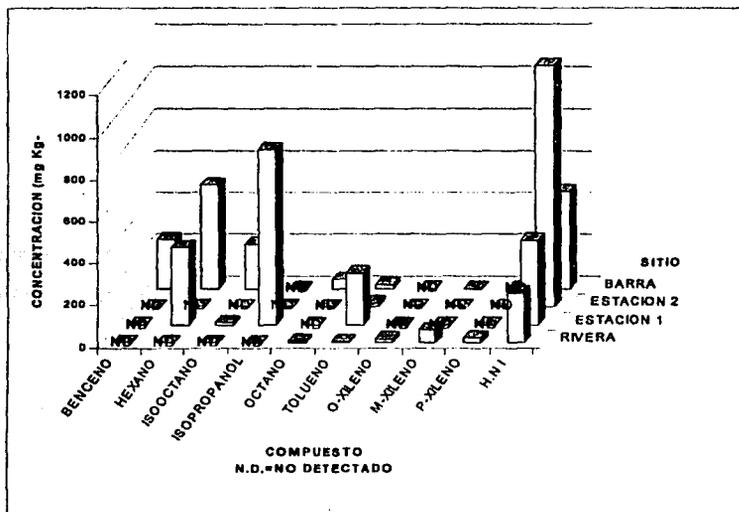


Gráfica 1. Niveles de Hidrocarburos del petróleo totales en sedimentos de la parte norte de la laguna de Tamiahua, (Valores promedio).

Por otro lado la finalidad de la gráfica 2 es la de comparar a cada una de las estaciones de muestreo y visualizar que compuestos no fueron detectados (ND) en cada uno de los sitios. En este gráfico se observa claramente que la concentración más baja de hidrocarburos se registro en la Rivera, aunque es importante mencionar que apesar de que esta estación registró el nivel más bajo, sin embargo, los valores

TESIS CON
 FALLA DE ORDEN
 NUMERO

obtenidos se encuentran por arriba de la norma establecida por la UNESCO (1976). En este mismo gráfico se visualizan todos los compuestos que fueron analizados en el presente estudio y en que estaciones se presentan en mayor o menor concentración y cuales solo aparecen en algunos sitios de muestreo como es el caso del isopropanol que solo se detectó en el sitio de muestreo Estación 1, el benceno en el punto de muestreo denominado como Barra y a los xilenos orto, meta y para en la Rivera.



Grafica 2. Niveles de hidrocarburos del petróleo en sedimentos de la parte norte de la laguna de Tamiahua. Valores promedio.

Los resultados obtenidos para hidrocarburos totales mostrados en la tabla 1 concuerdan con lo descrito por Botello y Caiva (1998), ya que ellos reportaron valores para las lagunas de Pueblo Viejo de 5210 mg Kg⁻¹, Tampamachoco con 4711 mg Kg⁻¹ y Tamiahua 4940 mg Kg⁻¹, estos datos nos permiten afirmar que esta región es uno de los sitios costeros más contaminados del Golfo pues las

TRIS CON
 PALA DE ORO

concentraciones que presentan superan a los valores descritos en otras áreas industrializadas.

Es importante destacar que a pesar de que los xilenos orto, meta y para, se encuentran en concentraciones muy bajas es necesario continuar monitoreando esta zona ya que constantemente reciben importantes aportes de contaminación por petróleo debido a las actividades propias de la Refinería Madero, y las actividades de pesca y extracción de los productos del mar realizado por los mismos habitantes del lugar que nos informan que cuentan con alrededor de 500 embarcaciones con motor que trabajan de día y de noche.

8.2 HIDROCARBUROS EN AGUA

Los resultados obtenidos en la columna de agua de los diferentes sitios de muestreo se resumen en la tabla 2:

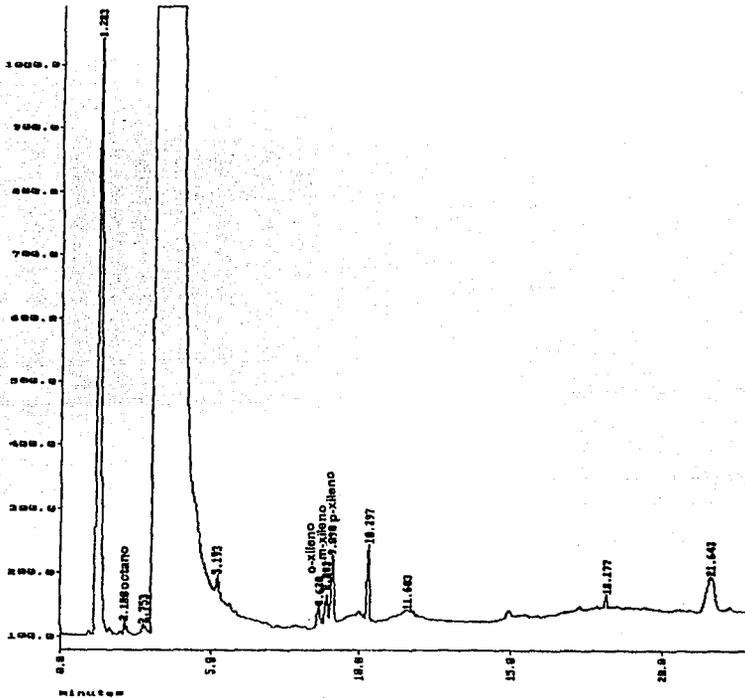
COMPUESTO	SITIO DE MUESTREO ($\mu\text{L L}^{-1}$)		
	RIVERA	ESTACIÓN 1	ESTACIÓN 2
Benceno	ND	28.74	15.53
Hexano	ND	24.41	ND
Isooctano	ND	ND	2.5
Isopropanol	ND	115.75	83.63
Octano	0.18	16.77	7.4
Tolueno	15.43	22.90	47.55
o-xileno	ND	ND	ND
m-xileno	ND	ND	ND
p-xileno	ND	ND	ND
H. NI	2.31	117.31	8.45
H. Totales	17.92	325.88	165.17

Tabla 2. Niveles promedio de hidrocarburos del petróleo en agua. Parte norte de Laguna de Tamiahua municipio de Tampico Alto Veracruz (valores en $\mu\text{L L}^{-1}$) *H. NI = hidrocarburos no identificados, H. Totales = hidrocarburos totales ND=no detectado.

En la estación de muestreo a la que se le asignó el nombre de la Rivera se registró el valor mas bajo de hidrocarburos totales ($17.92 \mu\text{L L}^{-1}$) y no identificados ($2.31 \mu\text{L L}^{-1}$), el nivel de concentración para tolueno fue de $15.43 \mu\text{L L}^{-1}$ y octano con $0.18 \mu\text{L L}^{-1}$.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

En el cromatograma 5 correspondiente a la Ribera en el cuál se aprecia la señal del octano con un tiempo de retención (RT) de 2.180 min, y los picos del o-xileno (8.630 min), m- xileno (8.883 min) y el p-xileno (9.090 min).

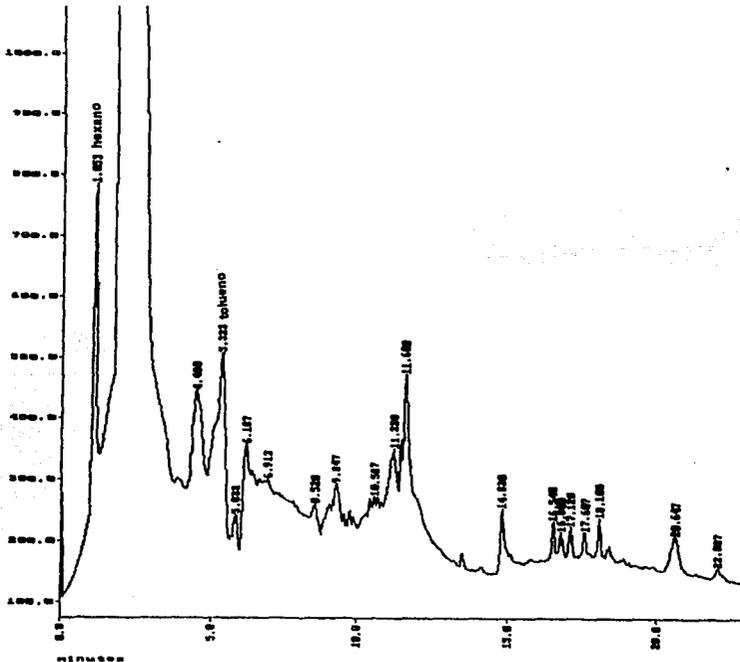


Cromatograma 5 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado la Ribera.

En el siguiente punto de muestreo denominado como Estación 1 se presentó el valor más alto de hidrocarburos totales ($325.88 \mu\text{L L}^{-1}$), hidrocarburos no identificados ($117.31 \mu\text{L L}^{-1}$), isopropanol ($115.75 \mu\text{L L}^{-1}$), octano ($16.77 \mu\text{L L}^{-1}$) y

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

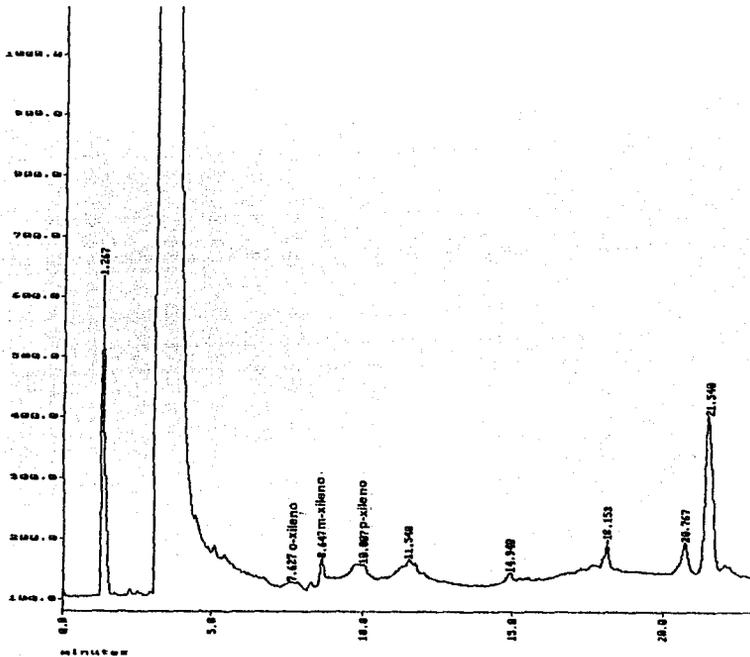
benceno con 28.74, en esta estación también se detectó la presencia del hexano (24.41 $\mu\text{L L}^{-1}$) que no fue identificado en las otras estaciones de muestreo y la presencia del Tolueno (22.90 $\mu\text{L L}^{-1}$). El cromatograma 6 perteneciente a la Estación 1 se observan los RT del hexano (1.053 min) y tolueno (5.323 min), en donde se muestran una gran cantidad de picos lo que nos indica, la presencia de más hidrocarburos de variado peso molecular de origen petrogénico, que en esta estación es mas evidente lo que concuerda con los resultados previamente expuestos en donde se nos indica que la estación de muestreo que mas evidencia la presencia de niveles altos de contaminación por hidrocarburos.



Cromatograma 6 en donde se visualizan los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado la Estación 1.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

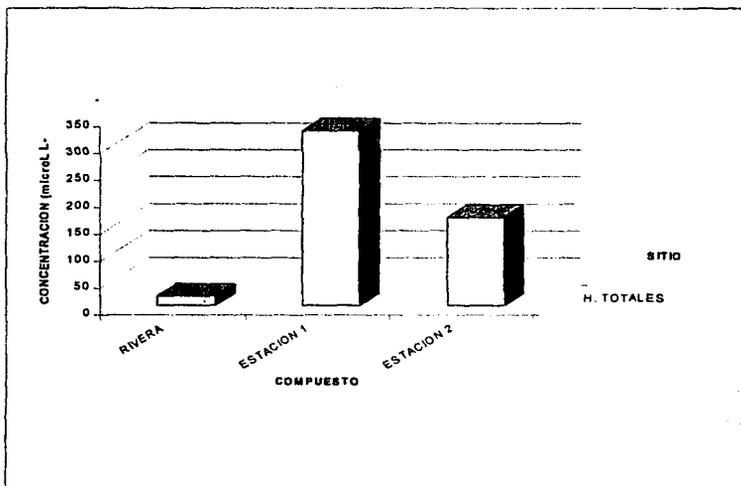
En otro de los puntos de muestreo al que se le asignó el nombre de Estación 2 se registró la concentración más alta de tolueno ($47.55 \mu\text{L L}^{-1}$), benceno con $15.53 \mu\text{L L}^{-1}$, el cual no fue detectado en los sedimentos en esta misma estación al igual que isopropanol ($83.63 \mu\text{L L}^{-1}$), isooctano ($2.5 \mu\text{L L}^{-1}$), y octano ($7.4 \mu\text{L L}^{-1}$), con respecto a los hidrocarburos totales el nivel de concentración fue de $265.17 \mu\text{L L}^{-1}$ y para los hidrocarburos no identificados de $8.45 \mu\text{L L}^{-1}$. En el cromatograma 7 correspondiente a la esta Estación 2 se señalan los tiempos de retención del o-xileno (7.627 min), m-xileno (8.647 min) y el p-xileno (10.007).



Cromatograma 7 correspondiente a los compuestos identificados en el sitio de muestreo denominado Estación 2, en donde se muestran sus Tiempos de Retención

TEJES CON
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado en la gráfica 3 se muestran los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo en la columna de agua con respecto a los hidrocarburos totales en donde podemos observar que el valor promedio más alto, se presentó en la Estación 1 que fue de $325.88 \mu\text{L L}^{-1}$ y el valor mínimo en la Rivera ($17.92 \mu\text{L L}^{-1}$), registrándose el valor de $165.17 \mu\text{L L}^{-1}$ en la Estación 2.

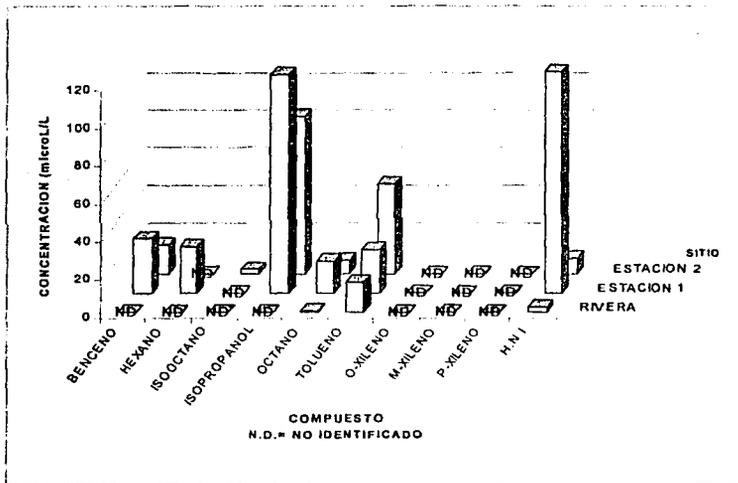


Gráfica 3 Niveles de hidrocarburos del petróleo totales en agua, de la parte norte de la laguna de Tamiahua. Valores promedio.

Con el objeto de comparar cada una de las estaciones de muestreo en lo que respecta a los resultados obtenidos en agua, en la parte norte de la laguna de Tamiahua, se elaboró la gráfica 4 en donde se visualiza que la Estación 1 presenta la mayor cantidad de los compuestos y registra los valores más altos de hidrocarburos no identificados y de isopropanol, además de ser la única estación en la que se detectó al hexano. Por otro lado en este mismo gráfico se puede observar que nuevamente la estación de muestreo denominado como la Rivera presentó los niveles más bajos de hidrocarburos en comparación con los resultados obtenidos en

FESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

este mismo estudio para sedimentos, y que en general en los 3 sitios de muestreo no se detectó la presencia de los xilenos (o, m, p.), en donde se visualizan aquellos hidrocarburos que no fueron detectados (ND).



Gráfica 4 Niveles de hidrocarburos del petróleo en agua, de la parte norte de la laguna de Tamiahua. Valores promedio

Los resultados antes mencionados nos indican que los hidrocarburos rebasan (3 a 30 veces) los límites establecidos por la UNESCO de $10 \mu\text{L L}^{-1}$ para zonas costeras no contaminadas. Basados en esta información podemos afirmar que las aguas de esta parte de la laguna se encuentran significativamente contaminadas indicando la existencia de aportes constantes de hidrocarburos del petróleo como fruto de las actividades antes mencionadas.

Por otro lado la utilidad en el análisis de los cromatogramas obtenidos, está con relación a la interpretación de la naturaleza y origen de los hidrocarburos presentes en los sedimentos y agua de la zona estudiada. En la mayoría de los

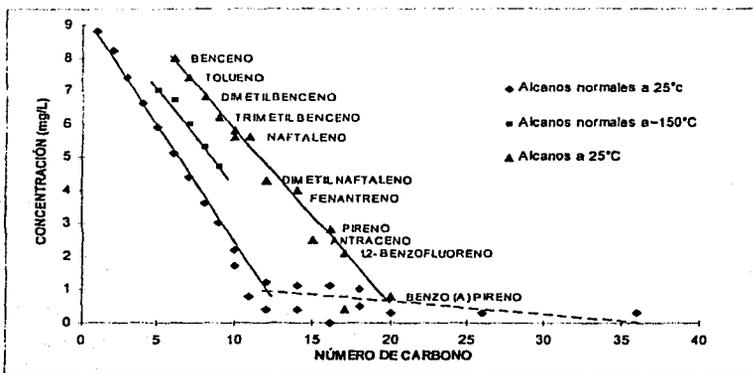
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

cromatogramas analizados se evidencia la presencia de alcanos normales y aromáticos, lo que nos indica su origen petrogénico, los cuales rebasan los valores considerados como normales para sedimentos y agua no contaminados presentándose los cromatogramas más representativos de cada uno de los sitios muestreados. En cada cromatograma se observaron varios picos lo que nos indica la presencia de otros hidrocarburos de variado peso molecular de origen antropogénico.

Estos resultados nos indican que a pesar de que algunos de los hidrocarburos del petróleo son altamente volátiles, permanecen dentro de este sistema estuarino debido a que en el se dan una gran cantidad de procesos complejos que permiten su permanencia dentro de la columna de agua, Boudow, *et al* 1989 señala que hay 3 componentes que juegan un mayor papel, primeramente son las condiciones de la contaminación, en este caso es la cercanía de la zona a una de las áreas más productivas de petróleo crudo y gas natural del continente; derivado de esto, existe una gran infraestructura relacionada con la exploración, explotación, procesamiento y transporte del petróleo en tierra firme y mar abierto, como lo son los grandes complejos petroquímicos e industrial (Refinería Madero), representando un riesgo de contaminación por petróleo en esta región. El segundo factor son las propiedades fisicoquímicas del contaminante cómo la solubilidad, punto de ebullición etc., y el tercero se da a partir de una gran variedad de reacciones cumpliendo con los diferentes elementos presentes en la fase acuática.

Como ya se mencionó las propiedades fisicoquímicas son de gran importancia en la persistencia de los hidrocarburos del petróleo analizados en este estudio, a este respecto se sabe que la mayoría de los hidrocarburos del petróleo son moderadamente solubles en agua sin embargo en base a los resultados obtenidos por Petraks *et al* en 1980, los cuales nos indican el grado de solubilidad de estos hidrocarburos en agua salobre, la que disminuye conforme el número de átomos de carbono, aunque los aromáticos son aun más solubles que los alcanos Gráfica 5. lo cuál confirma nuestros resultados ya que aquellos compuestos aromáticos analizados son los que se encuentran en mayor concentración, lo que nos permite aseverar que la solubilidad de estos compuestos es uno de los tantos factores

fisicoquímicos que explican la permanencia de estos dentro de la columna de agua ocasionando que estos se acumulen en los sedimentos.



Gráfica 5. Solubilidades de alcanos normales y hidrocarburos aromáticos en agua (Petraks et al, 1980).

Los hidrocarburos aromáticos con punto de ebullición bajo abundan en el petróleo y representan su fracción más peligrosa, compuestos como el Benceno , tolueno y xilenos se encuentran en dicha fracción y son los que en este estudio se detectaron lo cuál evidencia la problemática existente en esta zona, ya que se encuentran en altas concentraciones dentro del sistema y su destino final son los sedimentos.

Junto con estas propiedades de solubilidad influenciadas directa o indirectamente por otros factores abióticos como temperatura, pH y por muchas otras características fisicoquímicas, debemos de tomar en cuenta los rasgos propios de una laguna que tiene aguas someras que es otro de los factores que favorece la permanencia de estos hidrocarburos. Otra particularidad que se observa en este tipo de ecosistema es que tienen valores muy altos de materia orgánica reportados por Calva B.G. y Alvarado T. R. (2000), que en este tipo de agua salobre permite que aumente la solubilidad de los hidrocarburos y que por ser altamente tóxicos aumentan su impacto sobre el ecosistema estuarino, además de ayudar a la

TESIS CON
 CALVA DE ORIGEN

formación de emulsiones provocando que los hidrocarburos permanezcan dentro del sitio y al ser más pesados tienda a formar parte de los sedimentos.

Como ya se abordó con anterioridad parte de estos hidrocarburos se depositan en los sedimentos produciendo su contaminación existiendo una gran variedad de procedimientos para que esto se lleve a cabo como la absorción o la adhesión de los hidrocarburos del petróleo formando gotas uniéndose a pequeñas partículas de barro que se encuentren suspendidas que se acumularían hasta ser lo suficientemente grandes y densas para precipitarse llevándose consigo a los hidrocarburos del petróleo. Y aquellos hidrocarburos poco solubles como los alcanos sean atrapados y formen parte de los sedimentos lo cuál provocaría su permanencia por mucho tiempo. Es notable, que los valores obtenidos en este estudio rebasan por mucho lo reportado en otras regiones del mundo, lo que puede deberse a que en los sistemas costeros mexicanos está ocurriendo una contaminación por petróleo misma que ya había sido señalada por Atwood *et al* en 1987.

9. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos sobre la presencia de hidrocarburos disueltos y dispersos en los diferentes sitios de muestreo podemos concluir que:

- La parte norte de la Laguna de Tamiahua evidencia la presencia de elevadas concentraciones de hidrocarburos del petróleo totales; en sedimentos rebasa de 5 hasta 25 veces los valores establecidos por la UNESCO (1976) para zonas costeras no contaminadas, ocurre lo mismo en agua en proporción de 3 a 30 veces.
- Se evidencia la presencia de hidrocarburos tanto petrogénicos como antropogénicos en muestras de sedimentos y agua. Presentándose la mayor concentración de hidrocarburos totales en la estación 1 lo que sugiere una mayor grado de perturbación en esta parte de la laguna que se relaciona con su cercanía a la refinería Madero y la continua utilización de embarcaciones por la población.
- La presencia de elevadas concentraciones de hidrocarburos de bajo peso molecular tanto en agua como en sedimentos, sugiere un aporte continuo o un vertimiento reciente de petróleo y/o sus derivados.
- La presencia de hidrocarburos aromáticos como el benceno, tolueno y xilenos (O, M, P) en este sistema estuarino/lagunar pone de manifiesto el riesgo que existe para los organismos marinos y la salud humana ya que la laguna de Tamiahua tiene una importancia fundamental por su producción pesquera siendo el ostión la fuente principal de ingresos.

10. SUGERENCIAS

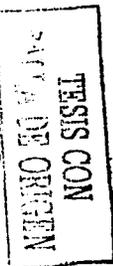
- Evaluar la fuente principal de contaminación (Refinería Madero), mediante el muestreo directo de sus desechos.
- Realizar muestreos durante un ciclo anual, para identificar en que periodo aumentan o disminuyen su concentración y que tanto se ven influenciadas por las condiciones medioambientales
- Aumentar los puntos de muestreo con la finalidad de detectar cuáles son las principales fuentes de contaminación.
- Se recomienda evaluar la concentración de hidrocarburos, en tejidos de peces, moluscos y crustáceos provenientes de esta laguna ya que si estos compuestos se están bioacumulando en altas concentraciones implicarían importantes riesgos para la salud.
- También sería aconsejable evaluar la concentración en planta, y suelo.

11. BIBLIOGRAFÍA

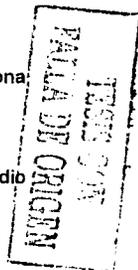
- Agenda 21 2000. Protección a los océanos y los Mares de todo tipo incluidos los Mares cerrados y semicerrados y de las Zonas Costeras. Protección, utilización racional y Desarrollo de sus Recursos Vivos. Direcc. URL:<http://www.ine.gob.mx/dgoera/agenda21/ocean/prot/html/>.
- Albert, L. A. 1990. Curso básico de: Toxicología Ambiental, ed. Limusa, Segunda Edición pp. 247-263
- Ayala C., Cruz R., Garcia-Cubas A., Segura L., 1969. Síntesis de los Conocimientos Sobre la Geología Marina de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México. Lagunas costeras un simposio. Mem. Simp. Intern. UNAM-UNESCO, Nov 28-30 México D. F. p. 39-48
- Baugh J. Gas Chromatography 1993. A practical Approach Senes. Oxford University. 2-3, 126-134
- Boudow A., Ribeyte F., 1989. Acuatic ecotoxicology fundamental concep and methodologies. Vol.1 De. CRC, Press Incc. pp 45-71, 115-137
- Calva L. G. V, y Vázquez-Botello, 1999. Polycyclic aromatic hidrocarbons in sediments from Sontecomapan Lagoon, Veracruz México. Hidrobiológica 9(1): 45-52
- Calva B. G. y Alvarado T. R., 2000. Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos costeros de tres lagunas costeras del Golfo de México. Hidrobiológica 10 (2): 101-114.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Carranza, E. A., Gutiérrez M. E., Rodríguez R. T., 1975 Unidades Morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. UNAM 2(1): 81-88
- Chapman, C. V., 1975. Mangrove Biogeography. Proceedings of International Symposium on Biology and Management of Mangoves 1:3-22.
- Colombo, G., 1977.) Lagoons. En Barnes, R. S. K. (E.d.) .The Coastline. pp. 63-81. Wiley Interscience. New York.
- Cruz-Orozco, R., 1967. Geología marina de la laguna de Tamiahua. Resultados preliminares. II Congre. Nal. Oceanogr. pp 1-5.
- Cruz-Orozco, R. 1968. Geología marina de la laguna de Tamiahua, Ver., México. Bol. Inst. Geol. UNAM. 88:1-47 .
- Clark, R. C., Blumer, M. Jr., 1967; Distribución of n-paraffins in marine organism and sediments. Limnol. Oceanogra. 12:79-87 .
- Céspedes 2001. Recursos Marinos y Ecosistemas Costeros. Direcc. URL:<http://www.cce.org.mx/sistemas/biodiversidad/areas/c.html/>.
- Clement R. E. 1990. Gas Chromatography, and Clinical Applications, Chemical analysis. Wiley- Interscience Publicación, vol III. United States de America. pp. 1-5.
- Contreras E. F., 1983. Variaciones en la hidrología y concentración de nutrientes del área estuarino-lagunar de Tuxpan-Tampamachoco, Ver., México *Biótica* 9 (2):201-213.



- Contreras E. F., 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de ecodesarrollo. Secretaria de pesca. México D. F. pp. 10-33
- Contreras E. F., 1987. Algunos índices y relaciones de la productividad primaria en la laguna de Tamiahua Ver., México. Mem. VII Simp. Latinoamericano de Oceanografía y Biología. pp.183-200
- Contreras E. F. 1993. Ecosistemas Marinos Mexicanos. UAM Iztpalapa. 1ª Edición pp 334
McCarthy, J. J., Taylor W. R., Taft J. L. 1979. Nitrogenous nutrition of teh plankton in the Chessaopeake Bay. Y. Nutrients. availability and phytoplankton preferences. Limnol. Oceanogr. 22 (6): 996-1011.
- Doremus, C. M., Nixon, S. W., Roques, P. F., Seitzinger, 1980. Nitrogen limitation in the Ocean versus phosphorus limitation in lakes. Poster Session. En: Falkowskil, P.G. (Ed.). Primary productivity in the sea. Plenum Press. pp. 23-45
- Duffus H. J. 1983. Toxicología Ambiental. Ediciones Omega. Barcelona España. pp 114-117.
- Edwards, R. R. C., 1976. Ecology of a coastal lagoon complex in México. Est. Coast. Mar. Sci. 6:75-92
- Fritz, S. J. Schenk H. G. 1984. Quantitative Analytical Chemistry. Edición Fifth Allyn and Bacon, inc. Boston pp 689
- Fincham, A. A. 1987. Biología Marina Básica. Ediciones. Omega. Barcelona España pp 89-91
- Gallegos M. y Vázquez-Botello, A. 1986. Petróleo y Manglar. Serie Medio Ambiente en Coatzacoalcos, vol III Centro de Ecodesarrollo. México pp 145



- Gonzalez E. C., 1990. Determinación de los niveles de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos recientes de la plataforma continental de los estados de Campeche. Tesis de Licenciatura. UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza pp 10-15.

- Gui-Peng, Y. 2000. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of the South China Sea. Environmental Pollution. 108:1, 163-171.

- Hart J. H., Hart J. D., Craine E. L. 1995. Química Orgánica. Ed. Mc. Graw-Hill. Interamericana de México S. A. de C. V. Novena edición. pp. 13-19

- Hernández J. 2001. Metodos para caracterizar fracciones solidas del petróleo. Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de Mexico. FES-ZARAGOZA. pp. 8-10

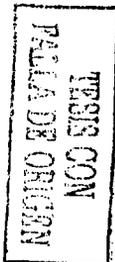
- Hubart H. Villard, Lynne L. Merritt, Jr, Jonh A. Dean Frank A. Settle, Jrs. 1991. Métodos Instrumentales de Análisis. Grupo editorial Iberoamérica S. A. De C. V.. México D. F. pp. 505-506, 531-534.

- INEGI 1999. Carta topográfica (1:50 000). Segunda edición. Tamaulipas y Veracruz. (Tampico sur F14B84).

- Lankford, R. R., 1977. Coastal Lagoon of México. Their origin and classification. En Wiley M. (ed.). Estuarine Processes. Academic Press Inc. 182-215

- Macías-Zamora V. J. 1996. Distribution of Hydrocarbons in Recen Marine Sediments off the Coast of Baja california. Environmental Pollution, 92:1, 45-53.

- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona. Pp 545-677



- Mee, D. L., 1977. Coastal lagoons. En: RILEY, J. P. y R. CHESTER (Ed.) Chemical Oceanography 7:441-490. Academic Press Inc.
- Moore, S. F., Dwyer, R. L., 1974. Efectos de oil on Marine Organisms: A critical asseement of published data water Researchs. O . 819-827 pp.
- Odum E. P. 1995. Ecología. Ed. Interamericana, México. pp.145-137
- Pavia L. D., Lampam M. G., Kriz S. G. 1988. Introduction to Organic, Laboratory Techniques a Contemporary Approach. Ed. Saunders College Publishing. pp. 123-131
- PEMEX. 2000. Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Informe. México D. F.
- PERKIN-ELMER , 1995. Cromatografía de gases. Curso básico. México D. F. pp. 1-23
- Petrakis L., Weiss, E.T., 1980. Petroleum in the marine enviroment. Advances in Chemicas Society. pp 198-207.
- Primo Y. E. 1996. Química Orgánica Básica y Aplicada de la molécula a la Industria. Ed. Reverté, S. A. tomo I. Pp.113-120
- Pritchard, D. W., 1967. What is an estuary; phisical viewpoint: En LAUF, G. H (de.). Estuaries. Ass. Ame. Adv. Science. 3-6.
- Ponce G. Vázquez-Botello A. 2001. Al rescate del Golfo de México. El petróleo. Direcc. URL:<http://www.indues.com.mx/planeta htm/>

TRES OROS
FALLA DE ORIGEN

- Y Secretaria de Marina 1989 Reporte técnico sobre el estado de contaminación por hidrocarburos y sustancias nocivas enero-junio, julio-diciembre. Inspección visual del estado de la contaminación costera en el puerto de Tampico Tamaulipas. Dirección general de oceanografía naval dirección de prevención de contaminación marina. pp 41-47.

- Y Salazar-Vallejo J. 1991. Contaminación Marina. Centro de investigaciones de Quintana Roo Fondo de publicaciones y ediciones Chetumal QuintanaRoo, México. pp. 16-19

- Y Schenk H. J., Hahn B. R., Hartkopf V. A., 1984. Química Analítica Cuantitativa. ED. Continental S. A. De C. V. México pp 602.

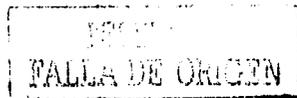
- Y Stoker S., Seager, S., 1981. Química Ambiental. Contaminación del aire y del Agua. De. Blume Barcelona. pp 238-245.

- Y Tait R. V. 1987. Elementos de Ecología Marina. Ed. Acribia, S. A. 2^{da} Edición. pp. 16-23

- Y Tissot, B. P. Y Welte, D. H.; 1978. "Petroleum Formation and Occurrence"; Edit. Springer. Verlag; 1^a edición; Berlin Heidelberg. pp. 373

- Y Toledo A., Vázquez-Botello., Herzing M., 1987. El pantano una Riqueza que se Destruye. Centro de Ecodesarrollo. 12:1., 41-59

- Y UNESCO , 1976. Guide to Operational Procedures for the Lagoons Porjet on Marine Pollution. (Petroleum), Monitoring Manual and Guides, Núm. 7.



- Vázquez-Botello A. 1980 Niveles Actuales de Hidrocarburos Fósiles en Ecosistemas Estuarinos del Golfo de México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 6:1, 1-6
- Vázquez-Botello A. 1980 (2) Presencia e Importancia de Hidrocarburos Fósiles en el Medio Ambiente Marino. Nota Científica. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 6:1. 1-6.
- Vázquez-Botello A., Calva, L. G. V., 1998, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments From Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the Shouthern Gulf of Mexico. Bulletin of Enviromental. Contamination and toxicology 60(1):96-103.
- Vázquez-Botello A., Calva L. G. V., Ponce V. 2001. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments From Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of México. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 67:889-897
- Vázquez-Botello A., Páez F., 1987. El Problema Crucial: La Contaminación. Centro de ecodesarrollo 1:1, 19-21
- Vázquez-Botello A., Ponce-Vélez G., Díaz-González G., 1993. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH's) en áreas costeras del Golfo de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Hidrobiológica Vol. 3 (1-2), 1-14 pp.
- Vázquez-Botello A. y Villanueva. S. 1987. Vigilancia de los Hidrocarburos Fósiles en Sistemas Costeros del Golfo de México y Áreas Advacentes Sonda Campeche. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. 14:1, 45-52 pp.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

-
-
- Vázquez-Yañes. C. 1982. Deterioro Ambiental. Sus Causas y Efectos. Compañía Editorial Continental S.A.de C. V. México. 56-59 pp.

 - Vega G. S. y Reynaga O. J.1990, Evaluación Epidemiologica de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Ed. Noriega.México D. F. pp.727

 - Volcárces, M Cases, A. Gómez H. 1994. Técnicas Analíticas de Separación. Ed. Reverté, S. A. España. pp. 333-335, 615-669.

 - Weininger J. S. Stermitz R. F. 1988. Química Orgánica. Ed. Reverté, S. A. Barcelona, España. pp.68-70.

 - Yañez-Arancibia, A. 1986 Ecología de la Zona Costera. Análisis de siete tópicos. Ed.AGT editor, S. A.México, D. F pp 1-112

 - Zieman, J. C., 1975; Tropical seagrass ecosystems and pollution, En: Tropical marine pollution. E. H. Ferguson and Johones (Eds.) Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam- Oxford-New Yorks.

