



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE ALGUNOS CONTAMINANTES EN EL  
FITOPLANCTON DE LA REGIÓN DE PLATAFORMAS PETROLERAS DEL SUR  
DEL GOLFO DE MÉXICO, FRENTE A LA SONDA DE CAMPECHE Y TABASCO.



E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

Ó L O G O

P R E S E N T A:

ROBERTO DÍAZ FLORES.

DIRECTOR : BIOL. JOSÉ LUIS MONDRAGÓN.  
ASESOR INTERNO : DR. ISAÍAS H. SALGADO UGARTE.

MÉXICO D. F. 1998.

TESIS CON  
ALLA DE ORIGEN

268367



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.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Roberto y Jovita.  
A mis hermanas: Conchis, Perlis y Jovita.  
A mis hermanos: César, Tony, Hugo, Miguel y Manuel.  
A Gabriela, con gratitud y especial cariño.

Por su apoyo para llegar al término de un ciclo más en mi preparación, por su esfuerzo para hacer de mí un profesionalista y por la dedicación que siempre recibí.

A mis compañeros becarios y amigos: Alberto, Charles, César, Angel, Toño, Germán, Andrés, Ulises, Francisco, Gustavo, Adrián, Laura, Martha, Noemí, Berenice, Miriam, Nora, Lucía y Sandra, quienes con su compañía en días de fiesta, ayudaron a retrasar la realización del trabajo, pero quienes en los momentos de trabajo, siempre estuvieron dispuestos a ayudarme incondicionalmente, además de haberme brindado su amistad y estancia agradable en el trabajo.

A los sinodales, por la disposición que siempre tuvieron para revisar mi trabajo y por sus valiosas aportaciones, quienes además de establecer una relación de trabajo inculcaron un ambiente de amistad y respeto.

A la M. en C. Carmen González, por sus valiosas sugerencias y oportunidad brindada.

Al Biol. José Luis y Biol. Cristina, por su dirección en esta tesis.

Al Dr. Isaías Salgado, quien además de su asesoría siempre me dio ánimos.

Al M. en C. José Luis Gómez M., por la revisión oportuna del trabajo y sus correcciones convenientes.

Al Biol. J. Salvador, por sus valiosos comentarios y corrección del trabajo.

A la Biol. Angélica Elaine, por sus interesantes comentarios.

Al Instituto Mexicano del Petróleo, por el apoyo brindado para la realización de la tesis. Agradezco las facilidades otorgadas por parte de la Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad, en particular al Ing. Carlos Fco. Valdés Olmedo.

Con reconocimiento al Programa de Apoyos Económicos y de Becas para la Formación de Recursos de la Industria Petrolera.

# ÍNDICE

I. RESUMEN-----	pag. 1
II. INTRODUCCIÓN-----	2
III. ZONA DE ESTUDIO-----	4
IV. OBJETIVOS-----	8
III.1. Objetivo General-----	8
III.2. Objetivos Particulares-----	8
V. METODOLOGÍA-----	9
V.3. Caracterización Físicoquímica-----	9
V.2. Determinación de Contaminantes-----	10
V.1. Parámetros Biológicos-----	10
V.4. Estadísticos-----	11
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	12
VI.1. Biológicos-----	12
VI.1.1. diversidad-----	13
VI.1.2. densidad-----	17
VI.1.3. Prueba de Olmstad-Tukey-----	23
VI.1.4. biomasa-----	24
VI.2. Contaminantes-----	28
VI.2.2. Hidrocarburos-----	28
VI.2.1. Metales Ni y Va-----	32
VI.3. Correlaciones-----	38
VI.4. Físico-químicos-----	40
VII. CONCLUSIONES-----	46
VIII. COMENTARIOS-----	47
IX. LITERATURA CITADA-----	48

## I. RESUMEN

Se muestrearon 45 estaciones en la zona del Golfo de México frente a la Sonda de Campeche y Tabasco durante la temporada de lluvias, nortes y secas del ciclo 1997-98, se tomaron 32 muestras de fitoplancton, con sus correspondientes parámetros físico-químicos y de contaminantes, además 13 anexas solamente para parámetros físico-químicos y de contaminantes del agua superficial. Las diatomeas, dinoflagelados, y cianofitas constituyeron los grupos dominantes y en menor cantidad las clorofitas. El análisis taxonómico reveló para la época de lluvias la presencia de 29 géneros, de los cuales 21 correspondieron a diatomeas, 3 a dinoflagelados, 3 a cianofitas, y 2 a clorofitas, para la época de nortes 38 géneros con 31 para diatomeas, 5 para dinoflagelados y 2 para cianofitas y para la época de secas 48 géneros, con 37 diatomeas, 3 dinoflagelados, 3 cianofitas y 5 clorofitas. La biomasa promedio de la comunidad fue 3.346 mg/l para lluvias 0.7244 mg/l para nortes y 0.7277 mg/l para secas. Los promedios de concentración de contaminantes para las épocas de lluvias, nortes y secas fueron: para los hidrocarburos aromáticos totales de 8.2 , 16.2 y 17.5 ppb, para el níquel 4.1, 1.3 y 3.8 ppb y para el vanadio 2.1, 2.4 y 2.5 ppb respectivamente. Además se registraron valores de temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, nitratos y fosfatos totales, encontrando valores homogéneos a lo largo del ciclo anual. Se registró una disminución en la diversidad de especies relacionada con aumento de la densidad. Se encontró correlación positiva entre los hidrocarburos aromáticos y los parámetros comunitarios del fitoplancton para la época lluvias debida las corrientes prevaecientes en la zona de estudio; existe una posible influencia del vanadio como estresor de la biomasa para la época de nortes, en general no se aprecia un efecto contundente de los contaminantes sobre la comunidad fitoplanctónica a este nivel de estudio.

## II. INTRODUCCIÓN

El Golfo de México es un cuerpo de agua semicerrado sostiene grandes pesquerías comerciales y recreativas, sus lagunas costeras, estuarios, sistemas pantanosos e islas de barrera, proporcionan importantes hábitats para grandes poblaciones de fauna silvestre. Recientemente sobresale su importancia por contener yacimientos petroleros considerables, cuya exploración y extracción han generado conflicto de intereses entre los recursos naturales renovables con los no renovables. (Licea, 1991). Las grandes cantidades de petróleo y gas que son extraídas de los pozos en la Plataforma Continental y la zona costera, han sido y continuarán siendo críticos para el suministro de energía tanto de México como de los Estados Unidos, además en los puertos la actividad industrial se ha desarrollado y se está incrementando a lo largo de sus costas.

La calidad de agua afecta a las poblaciones nativas de organismos acuáticos, en cuanto a su abundancia, composición, productividad y condición fisiológica. El plancton especialmente el fitoplancton se ha utilizado como indicador de la calidad del agua. Algunas especies crecen en aguas muy eutróficas mientras otras son muy sensibles a los residuos orgánicos y/o químicos. Algunas especies producen olores y sabores molestos o condiciones anóxicas o tóxicas, que dan lugar a la muerte de animales o enfermedades en el hombre (APHA, 1995).

Las cianofitas o algas verde azules son procariotas, se distinguen por estar desprovistas de núcleos definidos, de plastos y de condriosomas; el pigmento ficocianina asociado con la ficoeritrina les confiere un color azulado generalmente. Las euglenofitas al igual que el resto de las algas, no tienen pared celular, sino una película flexible, generalmente presentan un flagelo locomotor. (Raymont, 1980). Las pigmentadas contienen clorofila a, b y diversos carotenos, predominan en ambientes ricos en materia orgánica en la superficie de los sedimentos, pequeños estanques, zonas litorales de los lagos, estuarios mares y aguas contaminadas (Lara, 1996). Las clorofitas o algas verdes, contienen cloroplastos y almidón muy parecidos a los de las plantas terrestres, contienen clorofila a, b y l carotenos, luteína y varias xantofilas. (Raymond, 1980). Los dinoflagelados, su pared celular contiene más o menos celulosa lo cual determina su consistencia, el almidón que almacenan las fotosintéticas fuera de los cloroplastos es parecido al de las plantas terrestres, pero su estructura aún no se conoce, su forma general es de aspecto mas o menos ovoide o bicónico, se asocia a lugares oligotróficos (Balech, 1977). Las diatomeas, se caracterizan por poseer una pared celular rígida compuesta de sílice dividida en dos valvas, los cloroplastos contienen clorofila a, c1, y c2 y el carotenoide pardo dorado fucoxantina que les confiere su color característico.

El consumo mundial anual de petróleo se estima en 24 billones de barriles ( $3.8 \times 10^{12}$  l) donde los países productores de petróleo no son los principales consumidores, por lo que una gran parte del petróleo tiene que ser transportada vía marítima del lugar de producción hacia el consumidor final, esta situación es una de las causas más importantes de la contaminación crónica y accidental del medio marino. El "National Research Council" estima que la cantidad total del petróleo derramado en el medio es de 1 % del consumo ( $3.8 \times 10^9$  l/año), de éste, 10 % proviene de infiltraciones naturales, 10 % de descargas accidentales y el resto proviene del transporte (sin tomar en cuenta los accidentes catastróficos) y de las aguas continentales usadas (Vázquez, 1979)

Los hidrocarburos aromáticos son considerados como los componentes del petróleo más dañinos, ya que algunos actúan como venenos agudos y otros como el 3,4 benzopireno presentan actividad cancerogénica. (Vázquez, 1979). Sobre los hidrocarburos actúan factores físicos que resultan en la pérdida por evaporación, emulsificación, Mackay *et al* (1973), disolución de las fracciones ligeras. Boyland (1971), adsorción sobre materia orgánica particulada y el hundimiento de residuos no flotantes,

Meyer (1973), además de los cambios químicos como resultado de la degradación por microorganismos Zobell (1971), y procesos como la oxidación fotoquímica en la atmósfera Berridge *et al.* (1968).

Los hidrocarburos están constituidos principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno; presentan algunos metales, principalmente níquel y vanadio, como constituyentes. Por su gran capacidad de combinación existe una gran diversidad de compuestos hidrocarbonados, conociéndose más de 120 tipos de éstos, su diversidad está influenciada directamente por el material particulado que se encuentra en el agua de mar que consiste de una mezcla de fases de diversos orígenes, principalmente litógenos (p. ej. hidruros, óxidos de hierro) con componentes adicionales atrapados por adsorción (Vázquez, 1996). Raymont (1980) menciona que la complejidad de composición de fases sólidas en agua de mar puede influenciar grandemente su comportamiento químico.

Estudios de toxicidad han mostrado la combinación de los metales con ligandos específicos que se encuentran en la superficie celular de microalgas, por lo que algunos metales se pueden adsorber con alta afinidad en estos microorganismos (Sánchez, 1992). Laube *et al* (1979) mencionan que la acumulación de metales en los productores primarios puede repercutir en el movimiento de los iones de metales pesados dentro de la cadena alimenticia hacia niveles altos de la misma, por otro lado, Raymont (1980), menciona que la capacidad de asimilación de contaminantes por los organismos está en función a sus contenidos estructurales que les confiere afinidad de combinación. Además, los cambios en las propiedades fisicoquímicas de un sistema acuático pueden afectar la biodisponibilidad de los cationes, las que pueden tener influencia sobre su toxicidad (Campbell, 1985).

Yáñez (1988) menciona que la Sonda de Campeche en el Sur del Golfo de México se caracteriza por un alto potencial de recursos bióticos y energéticos, destacándose ecológicamente por: 1) una alta diversidad de especies, 2) la heterogeneidad de hábitats, 3) su estrecha relación con sistemas de aguas protegidas, 4) procesos costeros particulares y diversas interacciones estuario-mar, así como, 5) su gran desarrollo industrial costero principalmente en torno al petróleo y a la pesca, por lo que la importancia de su estudio se torna relevante en cualquiera de sus aspectos, ya que al contribuir con el conocimiento a partir de una serie de estudios en su composición e interacción de sus comunidades con su medio, llevará a un entendimiento y planeamiento correcto para su conservación.

Dado a que los contaminantes, quienes poseen una extensa variedad de formas químicas, se pueden asimilar fácilmente con los organismos ya sean vegetales o animales, y que el fitoplancton en la mayoría de sus géneros posee la característica de contener componentes estructurales afines a los contaminantes, es posible que este primer eslabón de la cadena trófica pueda acumular y trasladar contaminantes a diversos niveles, dando lugar al efecto de magnificación en la cadena trófica, por lo que el estudio de la influencia de los contaminantes sobre el fitoplancton *in situ* se torna relevante, apoyado en que los taxa fitoplanctónicos reúnen muchas de las características de organismos indicadores y que pueden ser de gran ayuda en los estudios oceanográficos, ya que se pueden usar como sensores muy precisos de las condiciones del ambiente.

### III. ZONA DE ESTUDIO

El Golfo de México es una cuenca aislada del Mar Caribe por un umbral con profundidad aproximada de 2,500 m. Se extiende en un área total de 1,768,000 Km<sup>2</sup>. con regiones muy profundas mayores a 3,400 m (De la Lanza, 1991). En la figura 1. se presenta la localización de los 15 puntos de muestreo.

La información más reciente sobre la Sonda de Campeche define que las características ambientales con mayor implicación ecológica en esta región, dependen de la circulación litoral y la descarga de los ríos, además de la transición de materiales terrígenos y sedimentos calcáreos, presentándose variaciones reguladas por la meteorología, climatología y oceanografía locales. (Yáñez, 1988).

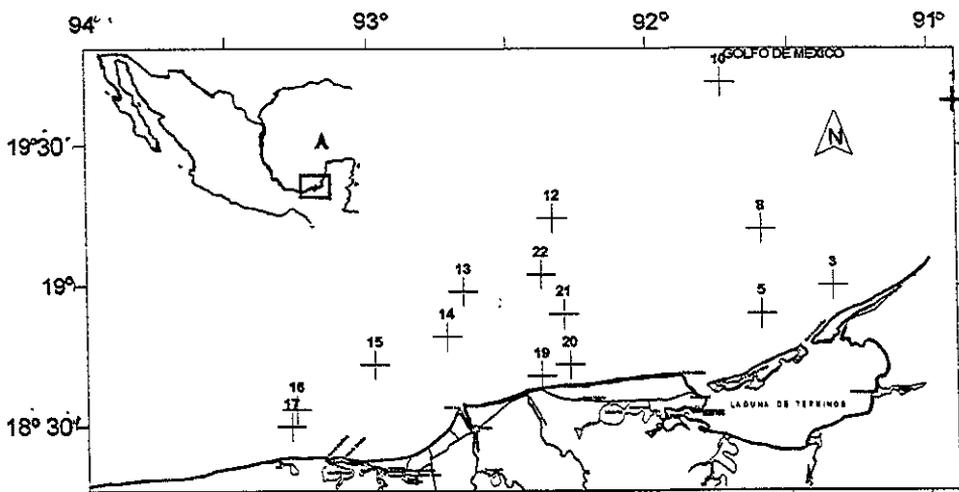


Figura 1. Ubicación de la Zona de Estudio.

El Golfo de México se sitúa entre las latitudes 18° y 30° N, y las longitudes 82° y 98° W, es una cuenca con dos fronteras abiertas que lo conectan con el Mar del Caribe a través del canal de Yucatán y con el Océano Atlántico por el estrecho de Florida. (Salas, 1997). La Sonda de Campeche se define desde el extremo oriental de la plataforma continental de Campeche, frente a la desembocadura del gran delta Grijalva-Usumacinta y la Laguna de Términos, hasta la plataforma de Yucatán, entre los 18° 30'-20°15' latitud N y 91° 00'-93°00' longitud W aproximadamente. El clima predominante es cálido sub-húmedo con lluvias en verano (de junio a octubre), la temperatura anual promedio supera los 26 °C y la precipitación anual varía entre 1,100 y 2,000 mm, los vientos predominantes de la región son E a SE durante marzo-abril hasta agosto septiembre y N a NO durante octubre a febrero, caracterizando la época de "nortes". (Yáñez, 1988).

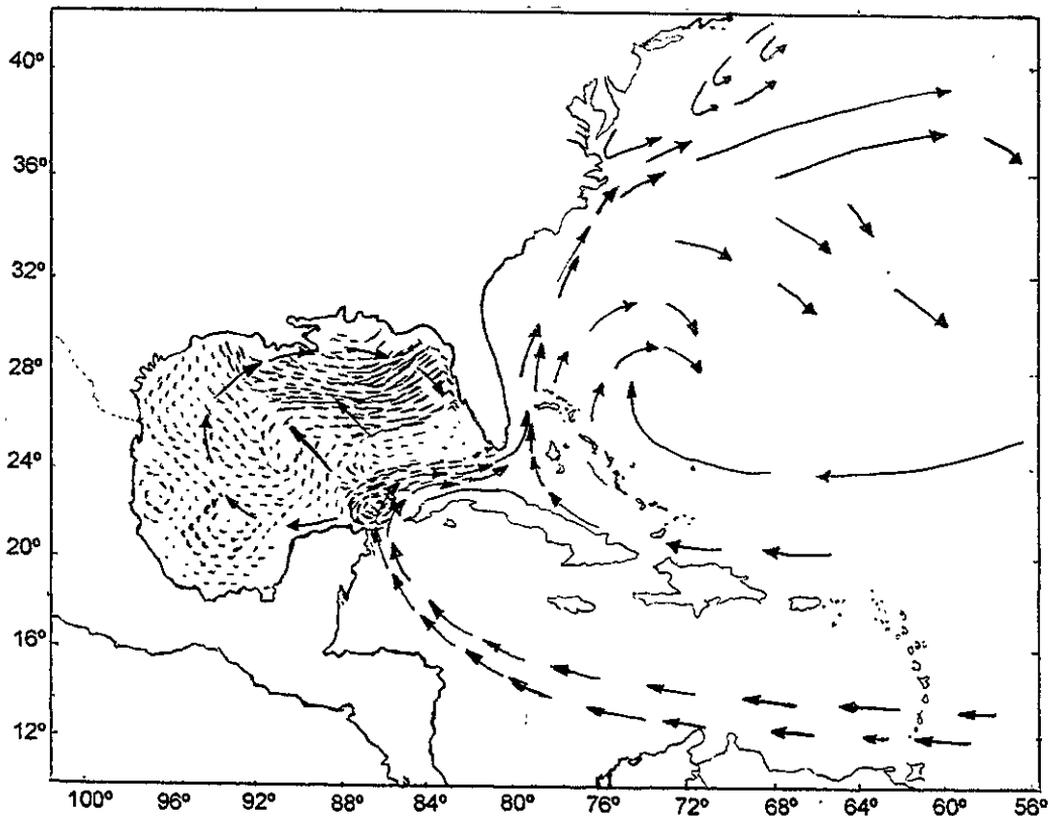


Figura 2. Circulación del Golfo de México.

Las masas de agua que se identifican en el Golfo de México son las siguientes:

- 1.- Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe
- 2.- Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México
- 3.- Agua Común del Golfo
- 4.- Agua Intermedia del Antártica
- 5.- Agua profunda Nor-Atlántica

Tres son costeras por presentar salinidad y temperatura elevada, la variación anual de la densidad esta dominada por la variación anual de la salinidad la cual en la capa superior se encuentra relacionada con la corriente de deriva y la de Yucatán, una de las características de la distribución de la salinidad superficial es su valor elevado ( $S > 36.40 \text{ ‰}$ ) en la zona oeste del Banco de Campeche. Por otro lado en Oeste del golfo existe una porción de agua con temperaturas y salinidad relativamente alta, con las mismas características de la masa de Agua Subtropical Subsuperficial que entra a través del canal de Yucatán

Inchiye (1962), menciona que el 70 % de las aguas en la parte Oriental y Occidental del golfo

presentan salinidades entre 34.80 y 35.20 ‰ y temperaturas de 4 a 8 °C, donde la diferencia entre las partes mencionadas no es muy grande, y en las profundidades intermedias, el promedio de T y S son similares, la única diferencia significativa se encuentra en Aprox. 50 m mas someros en la parte occidental, y a 1000 m se refleja una pequeña diferencia entre ambas zonas. Sin embargo, la capa intermedia presenta una diferencia acentuada T-S a causa de la penetración de la corriente del Mar Caribe.

En general, (excepto en invierno) la convección vertical es débil en la totalidad de golfo con estratificación vertical bien definida, presentando temperatura,  $\sigma_t$  y  $O_2$  con una discontinuidad fuerte Aprox. a 200 m de Prof. en la zona de giro anticiclónico, por lo que se forma una pycnoclina a esa profundidad.

El agua que llega al Golfo de México a través del canal de Yucatán en las capas superiores (Figura 2.), es el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe, con alta salinidad y temperatura, que al entrar al golfo forma la Corriente del Lazo la que desprende posteriormente un giro anticiclónico atrapando agua salina y caliente característica del Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe, en la periferia del giro se encuentran salinidades de 36.40 ‰ y de 22 °C, características del Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México, que se forma al presentarse una mezcla convectiva en invierno y por los giros anticiclónicos que se mueven hacia el Oeste del golfo. Esta agua al ser llevada por la corriente de deriva hacia el Banco de Campeche disminuye su salinidad por mezcla vertical.

El Agua Común del Golfo de México se forma principalmente por la colisión que sufre el giro anticiclónico con el talud y la plataforma continental en el Oeste del Golfo de México, la que origina una zona de divergencia convergencia horizontal, en la cual el Agua Subtropical Subsuperficial se diluye con agua de menor salinidad ( $S < 36.30$ ) que se encuentra en la parte superior de la termoclina principal, adquiriendo características propias de S (36.40 ‰) y T (22.5 °C). Esta masa de agua es diluida mediante el intercambio con agua costera de menor salinidad en invierno por la descarga de ríos

En el Golfo de México se encuentra el Agua Subtropical Subsuperficial y el Agua Común del Golfo en la capa superficial a los 250 m., en la capa intermedia se encuentra el Agua Intermedia Antártica (S 34.88 ‰) y a mayores profundidades se encuentra el Agua Profunda Nor-Atlántica. (Monreal, 1997).

La descripción de los rasgos geomorfológicos del golfo, se explica a partir de 7 provincias establecidas por Antoine (1972), con base en los cambios de dirección de la plataforma continental en seis de ellas y en la séptima que caracteriza a la porción central de la cuenca del Golfo, donde la Sonda de Campeche se encuentra dentro de tres provincias, parte de la 4, 5 y parte de la 6 en las que mencionan que los sedimentos están dominados por lodos terrígenos, cuya presencia se debe principalmente a la gran cantidad de ríos que desembocan y contribuyen a la formación de una franja de limos arenosos terrígenos. (De la Lanza, 1991).

Las costas del Golfo de México y Mar del Caribe han sido divididas en cuatro unidades por Carranza et. al. (1975), donde la Sonda de Campeche tectónicamente es una costa de mar marginal y genéticamente son costas primarias de deposición subaérea principalmente por la deposición de ríos y presencia de deltas; es también una costa de mar marginal con costas primarias de erosión terrestre con numerosos cañones y sumideros. Comprende costas secundarias por deposición marina que origina playas e islas de barrera.

Se destaca la influencia del sistema Grijalva-Usumacinta en el extremo Occidental, cuya descarga fluvial es la más importante de América del Norte después del Río Mississippi; al oriente del Río

Champotón y en el área central la principal fuente es la descarga de la Laguna de Términos. Graham et. al. (1981), observan que a través de la boca del Carmen se produce el flujo neto de la Laguna hacia la plataforma continental y, Emilsson (1976) encuentra que en Agua del Golfo de México la dirección e intensidad de la circulación litoral cambia estacionalmente. Es decir, la dinámica de las aguas neríticas propias de la zona costera tropical, la fisiografía costera y las corrientes litorales, contribuyen a la complejidad ambiental y caracterizan hidrológicamente al área presentándose variaciones estacionales.

En la región están definidas tres épocas climáticas, presenta una época de nortes durante: Octubre, Noviembre, Diciembre y Enero, generalmente asociada con lluvias fuertes durante Diciembre y Enero, una época de secas durante: Febrero, Marzo, Abril y Mayo, y una época de lluvias durante Junio, Julio, Agosto y Septiembre. (Paez, *et al* , 1996).

Para poder establecer la posible influencia de algunos contaminantes en el fitoplancton que se encuentra en región de estudio se plantean los siguientes objetivos:

#### **IV. OBJETIVOS**

##### **IV. 1 OBJETIVO GENERAL:**

\* Analizar la variación espacio temporal de la comunidad fitoplanctónica, como indicador del efecto de los contaminantes en la zona frente a la Sonda de Campeche y Tabasco.

##### **IV. 2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

- \* Determinar el fitoplancton que habita en estos ambientes hasta nivel taxonómico de género.
- \* Evaluar la concentración en la superficie marítima de hidrocarburos aromáticos, Ni y V.
- \* Analizar la influencia de los contaminantes en la diversidad, densidad y biomasa del fitoplancton.

Para poder establecer la posible influencia de algunos contaminantes en el fitoplancton que se encuentra en región de estudio se plantean los siguientes objetivos:

#### **IV. OBJETIVOS**

##### **IV. 1 OBJETIVO GENERAL:**

\* Analizar la variación espacio temporal de la comunidad fitoplanctónica, como indicador del efecto de los contaminantes en la zona frente a la Sonda de Campeche y Tabasco.

##### **IV. 2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

- \* Determinar el fitoplancton que habita en estos ambientes hasta nivel taxonómico de género.
- \* Evaluar la concentración en la superficie marítima de hidrocarburos aromáticos, Ni y V.
- \* Analizar la influencia de los contaminantes en la diversidad, densidad y biomasa del fitoplancton.

## V. MÉTODO

Para cumplir con los objetivos propuestos se plantea el siguiente método de investigación a realizar, donde las variables a determinar que se consideran en el presente estudio incluyen los siguientes parámetros:

Variables Fico-químicas	Niveles de Contaminantes	Aspectos Biológicos	
* temperatura	* hidrocarburos aromáticos	* Fitoplancton	
* salinidad	* níquel		* biomasa
* pH	* vanadio		* densidad
* oxígeno disuelto			* diversidad
* turbiedad			* IDH
* nitratos			* Olmstead-Tukey
* fosfatos			

Tabla 1. Parámetros a determinar en el estudio

Se trabajó con muestras colectadas a bordo del Buque Oceanográfico Justo Sierra de la UNAM en coordinación con el Instituto Mexicano del Petróleo, las que se colectaron durante tres travesías oceanográficas, que realizaron durante los periodos de lluvias (PTX I) del 4 al 7 de julio de 1996, durante el periodo de nortes (PTX II) del 13 al 17 de Octubre de 1996, y durante el periodo de secas (PTX III) del 13 al 18 de Febrero de 1997, según las épocas mencionadas por Yáñez (1988). La elección de los puntos de muestreo fue, en torno a zonas alledañas a las plataformas petroleras, en la zona cercana a la costa y mar abierto.

### V.1. Caracterización Físico-Química.

**Temperatura.** Ésta se determinó *in situ* con un termómetro de mercurio de escala mínima de 0.1 °C, siguiendo las indicaciones recomendadas en el método APHA 2550b (APHA, 1995), los resultados se reportaron en grados centígrados.

**Salinidad.** Se realizó utilizando un salinómetro de inducción marca Beckman, modelo RS9, con compensación automática de temperatura y una precisión de +/- 0.003 partes por mil; las determinaciones se realizaron a las 24 horas después de haber sido tomada la muestra con el fin de permitir su estabilidad térmica (Kahlsico, 1984), los resultados se reportaron en ‰.

**pH.** Para la determinación de este parámetro, se empleó un Potenciómetro digital marca INDUMEX modelo M822, que presenta una división mínima de 0.1 pH y una precisión de + 0.05 pH, se calibró con buffer 4, 7 y 9, solución de ácido bórico, cloruro de potasio e hidróxido de sodio, como lo recomiendan en el método APHA 4500-H+B (APHA, 1995).

**Oxígeno.** Se midió *in situ* utilizando la técnica de Winkler modificada con azida de sodio, según el método recomendado en APHA 4500-H+B (APHA, 1995).

**Nitratos.** Para la determinación de nitratos se utilizó el método de reducción de columnas de Cadmio APHA 4500-NO3-F (APHA, 1995), utilizando un analizador Mod. 5012 Tecator, un detector colorimétrico Mod. 5042 Tecator y un filtro de longitud de onda de 540 nm. El nitrato es reducido en cantidades cuantitativas a nitrito en una columna reductora en la presencia de cadmio, en la adición de sulfanilamida se forma un componente diazo el cual reacciona con dihidrocloruro N-(1-Naphthyl)-ethylendiamina para presentar una forma muy coloreada que se mide colorimétricamente.

**Fosfatos totales.** Para la determinación de fosfatos se empleó el método del ácido ascórbico cuyo intervalo de detección es de 0.01 a 5 mg P-PO (10 a 500 ppb) con repetibilidad de 4 a 10 %, como es recomendado en APHA 4500-P-E (APHA, 1995), donde el molibdato de amonio y el tartrato antimoniil potásico reacciona en un medio ácido con ortofosfato para formar un ácido heteropoli -ácido fosfomolibdico- que es reducido para colorear intensamente al molibdeno de azul por el ácido ascórbico que se mide colorimétricamente a 880 nm, se utilizó un analizador mod. 5012 Tecator, un detector colorimétrico Mod. 5042 Tecator y un filtro de longitud de onda de 880 nm.

**Turbiedad.** Se utilizó el método HACH (APHA, 1995), usando un espectrofotómetro HACH DREL/5 con escala para turbiedad d 0-400 FTU, a 450 nm, el método presentado se basa en la comparación de intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar bajo algunas condiciones.

## V.2. Determinación de los Contaminantes

**Hidrocarburos Aromáticos.** Se evaluó por espectroscopia de fluorescencia en un equipo marca Perkin Elmer Mod. MPF-44b que permite la sensibilidad de 0.0001 ppm. La determinación se llevó a cabo siguiendo el método IMP-RP-QA-610 en los laboratorios de química analítica del IMP. El método se basa en las técnicas descritas por Guilbout (1973) y Lakowicz (1983), modificada para usar como estándar el crudo maya libre de asfaltenos, diluido en hexano.

**Metales.** La evaluación analítica de Ni, se realizó por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer Mod. 403. La ignición de la muestra se efectúa con una muestra aire acetileno y flama oxidante. La extracción de los complejos metálicos se realizó con APCD (Amonio Pirrolidín Ditiocarbamato) en MIBK (Metil Isobutil Cetona). Para el V se empleó una flama reductora óxido nitroso acetileno, y la extracción de los complejos metálicos con CUPFERON y Metil Isobutil Cetona (Perkin Elmer, 1976).

## V.3. Parámetros Biológicos.

**Colecta de la comunidad planctónica.** Para la obtención de muestras de plancton se utilizaron redes de tipo Calcofi o cilindro-cónico con flujómetros acoplados y apertura de malla de 55 micras y el diámetro de la boca de 20 cm. (APHA, 1995), el muestreo se realizó mediante 32 arrastres superficiales (7 para lluvias 10 para nortes y 15 para secas) a una velocidad constante durante 1 min. Una vez que se obtuvieron las muestras, se transvasaron a frascos de 250 ml, preservándose con formol al 4 %, neutralizando con borato de sodio (10 200-B, APHA, 1995).

**Biomasa.** Para la evaluación de biomasa se utilizó un separador Folsom para fraccionar las muestras, siguiendo el método 10 200-G recomendado en APHA, 1995. La determinación de la biomasa se realizó siguiendo el método 10 200-1.5 (APHA, 1995), donde se evalúa gravimétricamente el peso seco

del volumen de la muestra, que se logra pasando a través de un filtro, de 0.45 micras de diámetro de abertura de poro, un volumen determinado de la muestra, los resultados se reportan en  $gr/m^3$ .

**Diversidad.** Para conocer la composición de la comunidad, se estableció un recuento de los géneros existentes en ella. La identificación se realizó en el laboratorio mediante un análisis al microscopio óptico invertido, utilizando claves taxonómicas de Ortega (1984), Trégouboff (1957) y Yamaji (1977). Se examinó un número de gotas determinadas hasta que no aparecieron nuevos taxa por muestra, el volumen aproximado analizado por muestra fueron alícuotas de 0.5 ml.

**Densidad.** Las muestras se analizaron con un microscopio óptico invertido según el método de conteo por gota de Lackey 10 200-F.2c, (APHA, 1995). Modificado por IMP al usar un portaobjetos excavado la base consistió en establecer un recuento del número de organismos para cada grupo existente, como unidad de conteo se utilizó el número total de células por cierto volumen, las que se reportan como  $cel/m^3$ .

#### V.4. Análisis Estadístico

Índice de diversidad (IDH): El cálculo del índice de diversidad de Shannon Weaver "H" se realizó utilizando la fórmula  $H = -\sum P_i \log P_i$ , donde  $P_i$  = Proporción del número total de individuos en la especie  $i$ , (Sokal, 1969).

Para la agrupación de los taxa por su frecuencia y abundancia, en el área de estudio, se aplicó la prueba de Olmstead-Tukey, o análisis bidimensional (Sokal, 1969), donde se gráfica el log de la densidad absoluta con el % de la frecuencia que presenten los géneros entre los puntos muestreados, donde las medianas de estos parámetros delimitarán los bloques de rareza, dominancia, ocasionalidad y constancia en que se encuentren los géneros (tabla 2).

Abundancia	Frecuencia de aparición	Agrupación
Alta	Alta	<b>Dominantes</b>
Baja	Alta	<b>Constantes</b>
Alta	Baja	<b>Ocasionales</b>
Baja	Baja	<b>Raras</b>

Tabla 2. Agrupación de los organismos por su abundancia y frecuencia.

Las gráficas fueron realizadas por medio del paquete Excel y los mapas se elaboraron con surfer (3.1 W-95).

La agrupación de datos y estadística descriptiva (media, desviación estándar, coeficiente de variación, intervalos de confianza, valor máximo, valor mínimo, y número de datos), se llevó a cabo por medio del paquete Excel.

Por último, los resultados obtenidos del análisis biológico se correlacionaron con los parámetros físico-químicos y de contaminantes por medio del paquete stata (W-95).

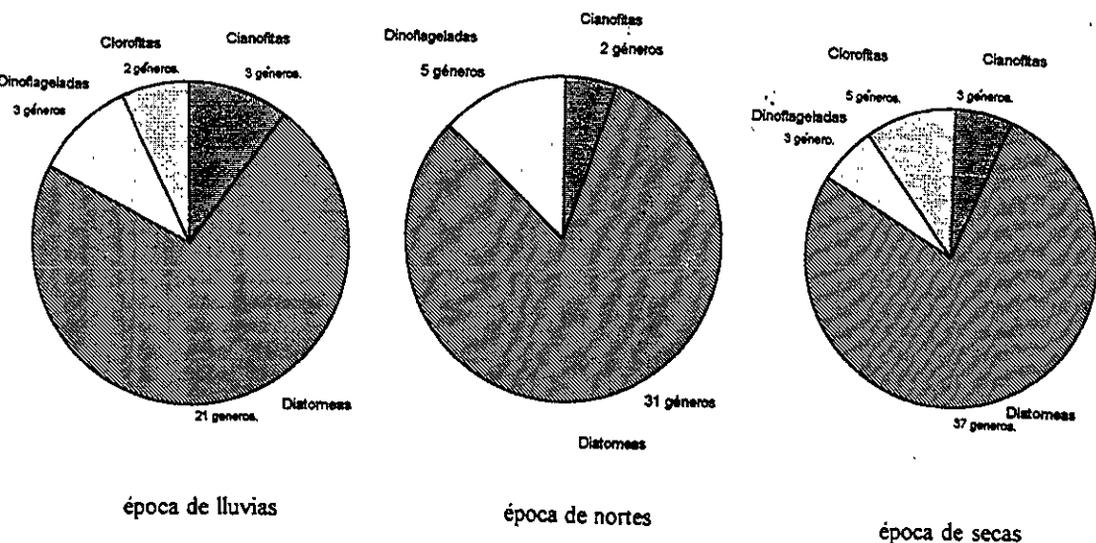
## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Como resultado del estudio se obtuvieron datos que de forma general engloban parámetros biológicos, de contaminantes y fisico-químicos, que muestran el comportamiento general del sistema para cada uno de los puntos muestreados, y para cada temporada, que caracterizan a la zona de estudio.

Los resultados que se encuentran en el Golfo de México no pueden compararse fácilmente con los que suceden en otras áreas geográficas ya que las condiciones oceanográficas y biológicas en una zona tropical no son equiparables a las que se representan en otras latitudes, además la influencia de la costa del Golfo México, la cual tiene muchas desembocaduras, le confiere características únicas.

### VI. 1. Resultados Biológicos

En cuanto a los resultados biológicos, se analizaron 32 muestras colectadas durante las épocas de lluvias, nortes y secas, a éstas se les determinó los géneros fitoplanctónicos presentes, pudiendo realizar el análisis de diversidad por el método de Shannon Weaver, el de densidad por el método de conteo de organismos por metro cúbico, la determinación de los géneros dominantes, raros, constantes y ocasionales por el método de Olmstead-Tukey y el análisis de biomasa.



Gráfica 1. Diversidad fitoplanctónica encontrada durante la época de lluvias, nortes y secas.

Para la primera campaña de muestreo correspondiente a la época de lluvias, se determinaron 29 géneros diferentes distribuidos dentro de cuatro grupos que son los predominantes de la comunidad fitoplanctónica en la región, las diatomeas con 21 géneros presentó el mayor número de éstos, donde *Bacteriastrium sp* y *Chaetoceros sp* fueron los géneros con mayor representatividad, posteriormente el grupo cianofitas presentó tres géneros diferentes siendo *Oscillatoria sp* la que se presentó en mayor cantidad, para los dinoflagelados *Ceratium sp* se presentó en mayor cantidad, finalmente clorofita con 2 géneros presentó a *Pediastrum sp* como los organismos en mayor cantidad. Por otro lado el índice de diversidad de Shannon Weaver mostró un promedio de 1.44 bits/ind para la época y los resultados varían de 0.94 bits/ind a 1.86 bits/ind con desviación estándar de 0.3867.

En la segunda campaña (época de nortes), se determinaron 38 géneros dentro de tres grupos fitoplanctónicos, El grupo de las diatomeas con 31 géneros representó el mayor número, donde *Chaetoceros sp* fue el género con mayor representatividad, posteriormente el grupo cianofita con 2 géneros, presentó a *Anabaena sp* como el más representativo y finalmente los dinoflagelados con 5 géneros presentaron a *Peridinium sp* y *Goniaulax sp* con mayor número de organismos. De acuerdo con el índice de diversidad Shannon Weaver, el valor promedio de los análisis fue 1.894 bits/ind, donde los resultados varían de 0.74 bits/ind a 2.46 bits/ind. y presentan una desviación estándar de 0.469.

Durante la tercera campaña de muestreo, que corresponde a la época de secas, se determinaron 48 géneros distribuidos dentro de cuatro grupos fitoplanctónicos, el grupo de las diatomeas con 37 géneros presentó el mayor número, donde *Pseudonitzschia sp* fue el género con mayor cantidad de organismos, posteriormente el grupo clorofita con 5 géneros presentó a *Closterium sp* con mayor número de organismos y finalmente los grupos cianofita y dinoflagelados con 3 géneros cada uno presentaron a *Oscillatoria sp* y *Ceratium sp* y *Peridinium sp* respectivamente con mayor número de organismos. El índice de diversidad Shannon Weaver presentó un promedio fue de 1.52 bits/ind, donde los valores oscilan desde 0.37 bits/ind. a 2.23 bits/ind y desviación estándar de 0.576.

Para la diversidad temporal se encontró que el menor número de géneros se presentó en la época de lluvias, con 29 géneros, posteriormente la época de nortes presentó 38 géneros y finalmente la época secas presentó el mayor número con 48 géneros, las desviaciones estándar de los valores de este parámetro presentadas en cada temporada son: para la época de lluvias 2.581, para la época de nortes 3.259 y para la época de secas 5.865.

Licea (1991), menciona que durante el verano, que en este estudio corresponde a la época de lluvias, el plancton vegetal en el Golfo de México se caracteriza por una deficiencia de constituyentes fitoplanctónicos en esta época donde la escasez fitoplanctónica se hizo mas evidente hacia la región mar adentro, con respecto a la zona mas cercana a la costa, donde las diatomeas constituyeron el grupo dominante en las áreas aledañas a la costa y fueron disminuyendo conforme hubo un alejamiento respecto a la línea litoral.

Por otro lado los resultados para la época de secas concuerdan con los reportados por Contreras *et al.* (1992) quien encontró que durante la época de secas, que se caracteriza por elevadas temperaturas, aguas claras y relativa estabilidad, propician afloramientos fitoplanctónicos con atributos de diversidad que generalmente son el efecto de la dominancia de aguas provenientes del océano, sin embargo esta información solo puede ayudar a establecer un marco general de referencia para este estudio realizado debido a que hace énfasis a lagunas costeras pero que son aledañas a la zona de estudio.

Para el caso de la época de lluvias y principios de la época de nortes, se encontraron clorofitas.

Balech (1976) menciona que las clorofitas presentes en aguas marítimas tienen un origen epicontinental, por lo que se explica su presencia dado a que la época de lluvias se caracteriza como un periodo de precipitaciones pluviales y por consecuencia frecuentemente presenta escurrimientos fluviales continentales, donde se puede presentar un acarreo importante en gran cantidad de organismos fitoplanctónicos.

La conducta de la diversidad fitoplanctónica para cada época puede deberse además por la exposición a un estrés químico inorgánico el que frecuentemente coloca una selección de presión en la comunidad, que disminuye la abundancia de las especies sensibles de la población y por otro lado incrementa o no cambia la abundancia de las especies tolerantes a contaminantes (Patrick, 1978; Rai *et al.*, 1981; Genter *et al.*, 1987; Blanck 1988).

El cambio en la composición de la comunidad es muy importante, dado a que muchas especies han sido encontradas ser indicadores de estrés para un químico inorgánico específico, ésto es relevante para entender que cambios en la composición de especies pueden o no ser asociados a disminución o con el incremento en la biomasa total de la comunidad (Genter *et al.*, 1987).

Los valores de diversidad reportados no consideran que cantidad de organismos se encuentran en cada taxa determinado, por lo que se utilizó el del índice de diversidad propuesto por Shannon Weaver que introduce esta relación. En los valores obtenidos se observa que la época de lluvias presenta un IDH de 1.44 *bits/ind*, la época nortes 1.89 *bits/ind* y la época de secas 1.52 *bits/ind*. Ransom (1972), menciona que cuando existen altos IDH usualmente el agua no está contaminada y establecen las siguientes categorías de clasificación del agua: intervalo de IDH < 1 contaminado, 1 < IDH < 3 moderada contaminación, 3 < IDH limpio. Sin embargo este índice no se aplica al fitoplancton, pero puede resultar útil para una comparación.

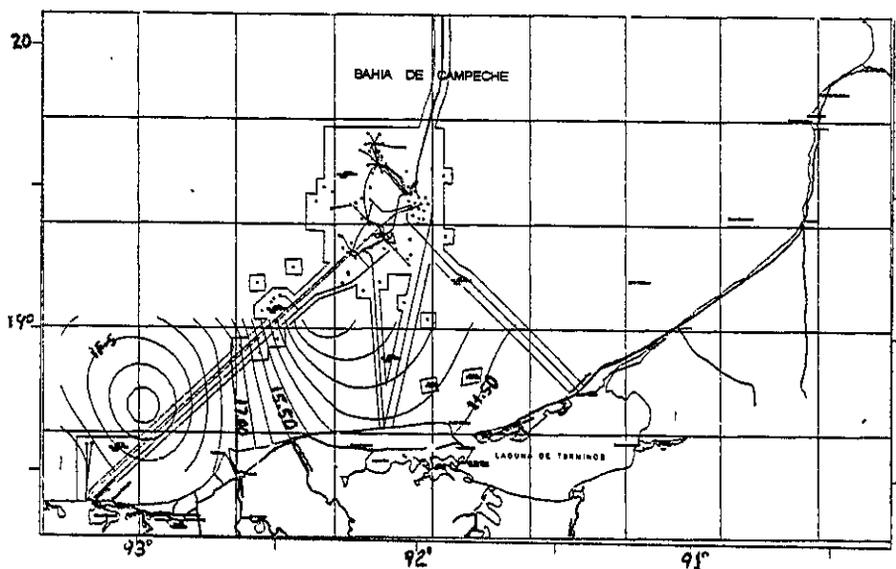


Figura 3. Distribución de la diversidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

El comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica durante la época de lluvias, presenta los valores mas altos de la diversidad en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio en la que se observa un centro de alta diversidad, junto a la parte sur de las plataformas petroleras, que disminuye paulatinamente conforme se aleja de ellas, esta disminución de la diversidad posiblemente se presenta por las corrientes provenientes de Caribe que dispersa a los organismos. Contreras (1992) identifica a esta época con una diversidad fitoplanctónica disminuida, dada por las condiciones inestables del medio que se presentan en esta época.

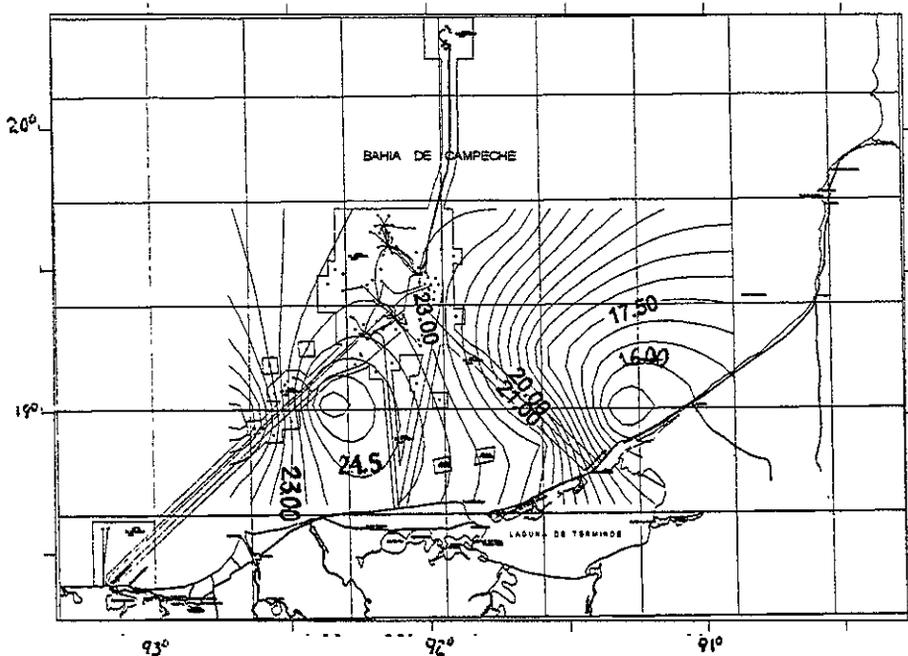


Figura 4. Distribución de la diversidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de nortes.

Con respecto a el comportamiento espacial de la diversidad fitoplanctónica, durante la época de nortes, se presentó un centro de menor diversidad frente a la Laguna de Términos aumentando paulatinamente conforme se aleja de ésta y se acerca a la zona de plataformas petroleras, presentando los mayores pulsos de diversidad junto a éstas, en porción sur de las plataformas. En el esquema 5 Se observa que la Laguna de Términos no presenta un aporte considerable que determine un aumento en la diversidad. De manera general, se encontró que la diversidad fue aumentando conforme se aleja del litoral.

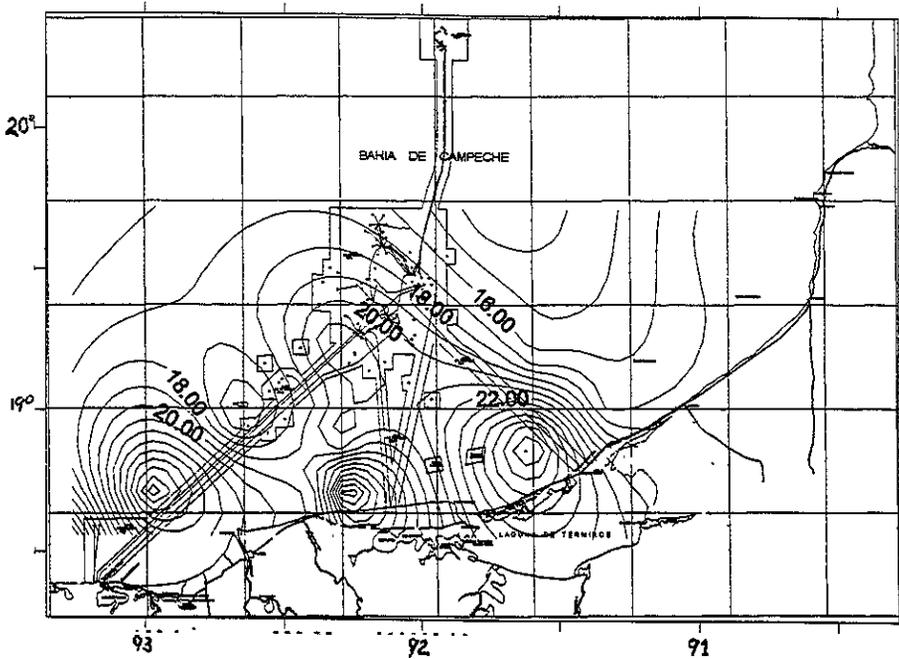


Figura 5. Distribución de la diversidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de secas.

Respecto al comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica durante la época de secas, en la figura 6 se observan los valores mas altos de la diversidad en la porción Sur-Oeste de la zona de plataformas petroleras del Golfo de México, el comportamiento de la diversidad no presenta puntos concéntricos de alta concentración como en los presentados en las épocas anteriores, los resultados de diversidad para esta época se encuentran muy distribuidos a lo largo del Golfo de México, pero evidencia pulsos de alta concentración junto a las plataformas petroleras. Esta característica puede deberse a los fuertes vientos que prevalecen durante esta época como lo menciona Contreras (1992) que además se caracteriza por la influencia de las aguas oceánicas y alta diversidad fitoplanctónica.

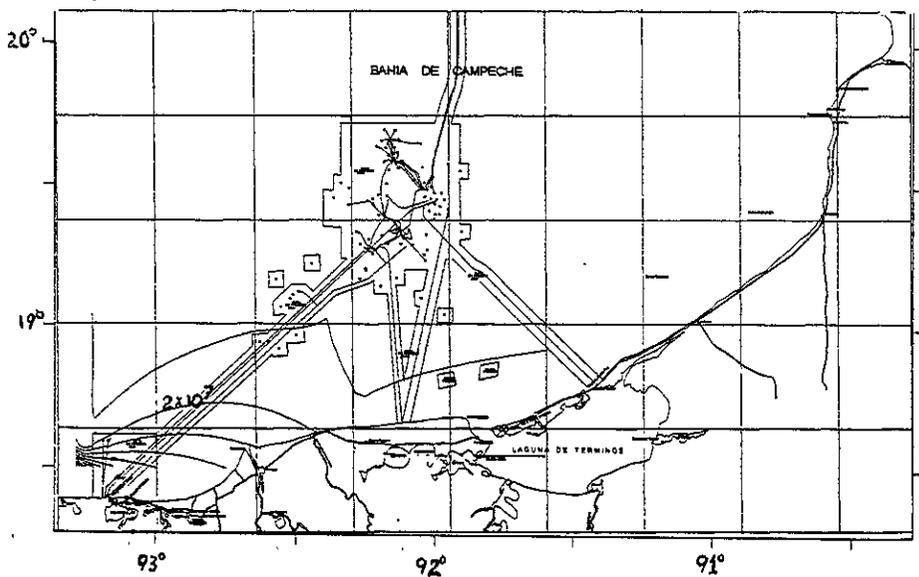


Figura 6. Distribución de la densidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

La distribución de los número de organismos fitoplanctónica en la zona de estudio durante la época de lluvias presenta los valores más altos de la densidad ( $\text{cel}/\text{m}^3$ ) en la porción Sur-Oeste del Golfo de México en las zonas cercanas a la costa, este comportamiento puede deberse a que, como lo menciona De la Lanza (1991), las áreas ricas se localizan básicamente superficiales cercanas a la costa y por tanto existe una mayor actividad, pudiéndose establecer una mayor cantidad de fitoplancton como se observa en la figura 7. La densidad hallada hace referencia principalmente a las diatomeas que presentaron la mayor cantidad de organismos de todos los grupos determinados, Licea (1991) menciona que la prosperidad de las diatomeas se fundamenta en mayor eficiencia en la asimilación de los nutrimentos del medio acuático y presentan una repercusión importante en la productividad primaria, en la localidad de plataformas petroleras se observan los valores mas bajos y dispersos de la densidad fitoplanctónica.

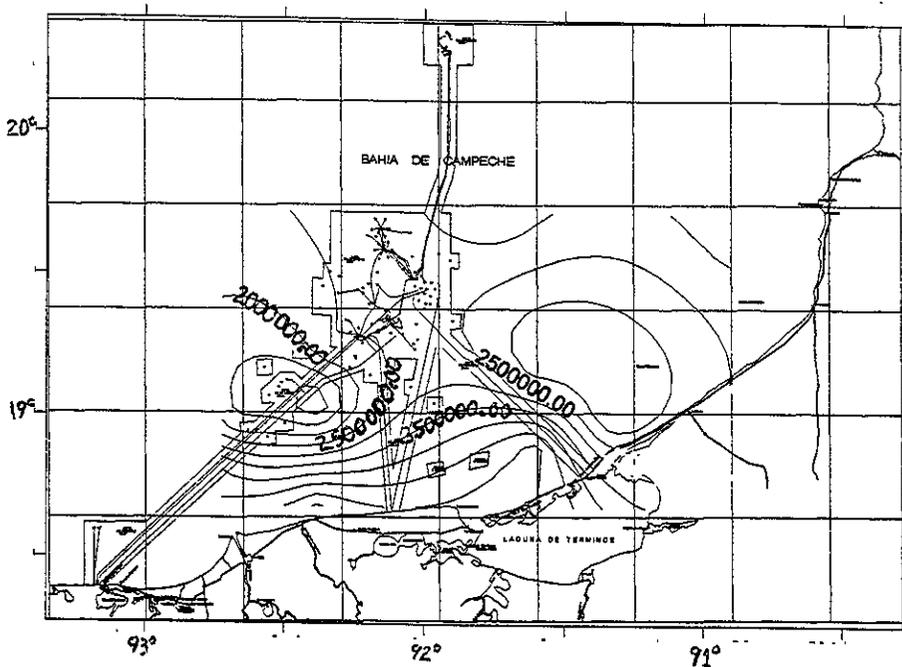


Figura 7. Distribución de la densidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de nortes.

Por otro lado respecto al comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica durante la época de nortes, se observan los valores de la densidad distribuidos a lo largo de la costa del Golfo de México donde se encontraron los valores mas altos y una disminución de organismos conforme se aleja del continente, esta conducta encontrada, que es similar a la encontrada e la época de lluvias donde la influencia de las áreas ricas se localizan en superficiales cercanas a la costa y en las que existe una mayor actividad. La densidad encontrada presenta el mayor porcentaje de diatomeas de todos los taxa determinados, dado a que éstas presentan mayor eficiencia en la asimilación de los nutrimentos del medio acuático, en la localidad de plataformas petroleras se observan los valores mas bajos y dispersos de la densidad fitoplanctónica.

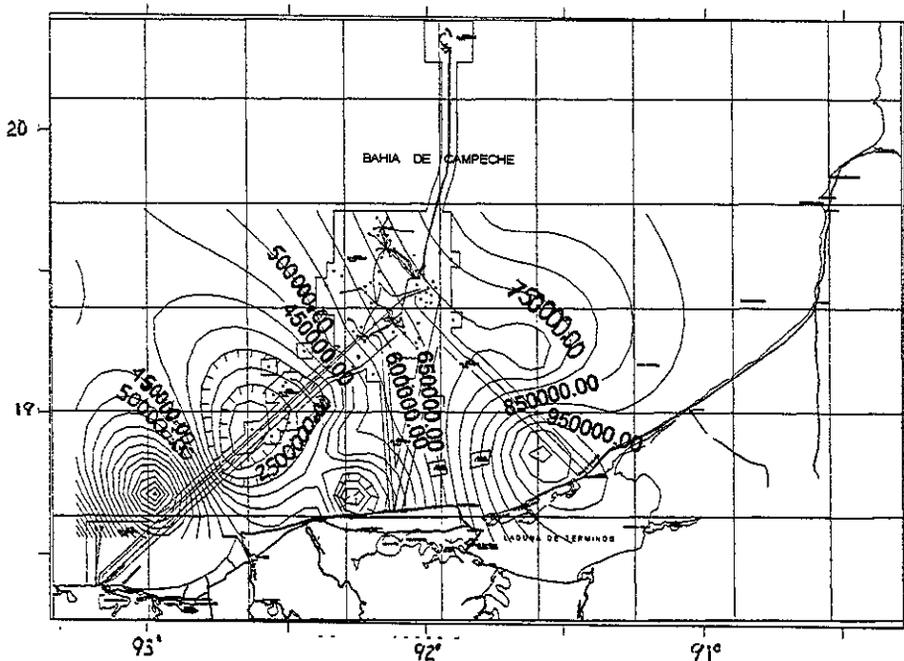
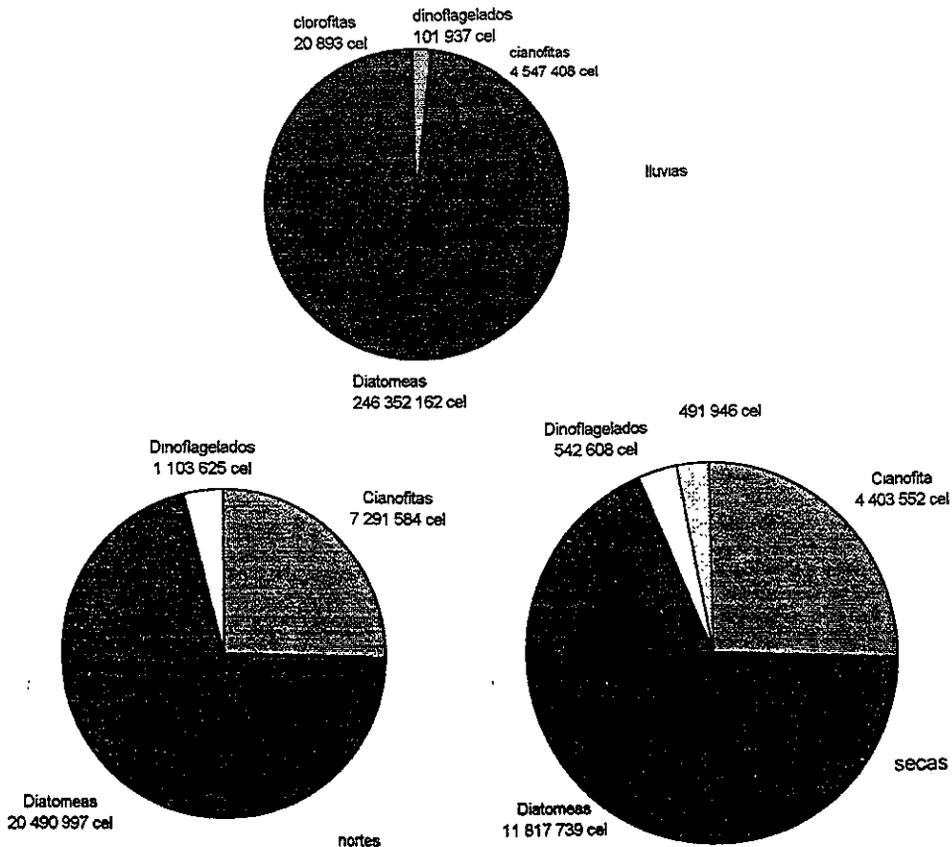


Figura 8. Distribución de la densidad fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de secas.

La densidad del fitoplancton durante la época de secas, presenta los valores mas altos en la porción Sur-Este de la zona de estudio, frente a la Laguna de Términos, esta conducta puede deberse al aporte de altas concentraciones de nutrimentos y de organismos por parte de la Laguna, la cual presenta complejas características, que pueden favorecer el incremento en el número de organismos. La densidad es representada principalmente por las diatomeas, que presentaron el mayor porcentaje de todos los taxa determinados, las que presentan mayor eficiencia en la asimilación de los nutrimentos del medio acuático. El comportamiento general de la densidad fitoplanctónica, en la localidad de plataformas petroleras, muestra valores mas bajos conforme se aleja de ellas por lo que posiblemente no existe influencia sobre este parámetro.

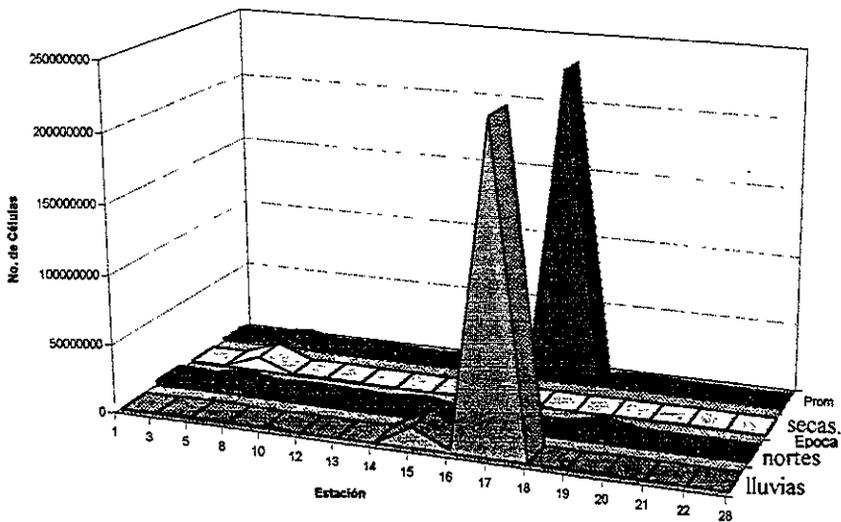


Gráfica 2. Densidades fitoplanctónicas encontradas en cada temporada.

La densidad fitoplanctónica durante la época de lluvias presentó un promedio de  $35,860,343 \text{ cel/m}^3$ , donde el grupo de las diatomeas representó el mayor número de organismos con  $246,352,162 \text{ cel/m}^3$ , seguido por las cianofitas con  $4,547,409 \text{ cel/m}^3$ , posteriormente los dinoflagelados con  $101,937 \text{ cel/m}^3$  y finalmente las clorofitas con  $20,893 \text{ cel/m}^3$ .

Por otro lado, la densidad fitoplanctónica para la época de nortes presentó un promedio  $2,888,620 \text{ cel/m}^3$ , donde las diatomeas presentaron la mayor cantidad de organismos con  $20,490,997 \text{ cel/m}^3$ , seguidas por las cianofitas con  $7,291,584 \text{ cel/m}^3$  y finalmente los dinoflagelados con  $1,103,625 \text{ cel/m}^3$ .

Durante la época de secas, la densidad fitoplanctónica presentó un promedio de  $1,150,390 \text{ cel/m}^3$ , donde las diatomeas presentaron la mayor cantidad de organismos con  $11,817,739 \text{ cel/m}^3$ , seguidas por las cianofitas con  $4,403,552 \text{ cel/m}^3$  y finalmente las clorofitas con  $491,946 \text{ cel/m}^3$ .



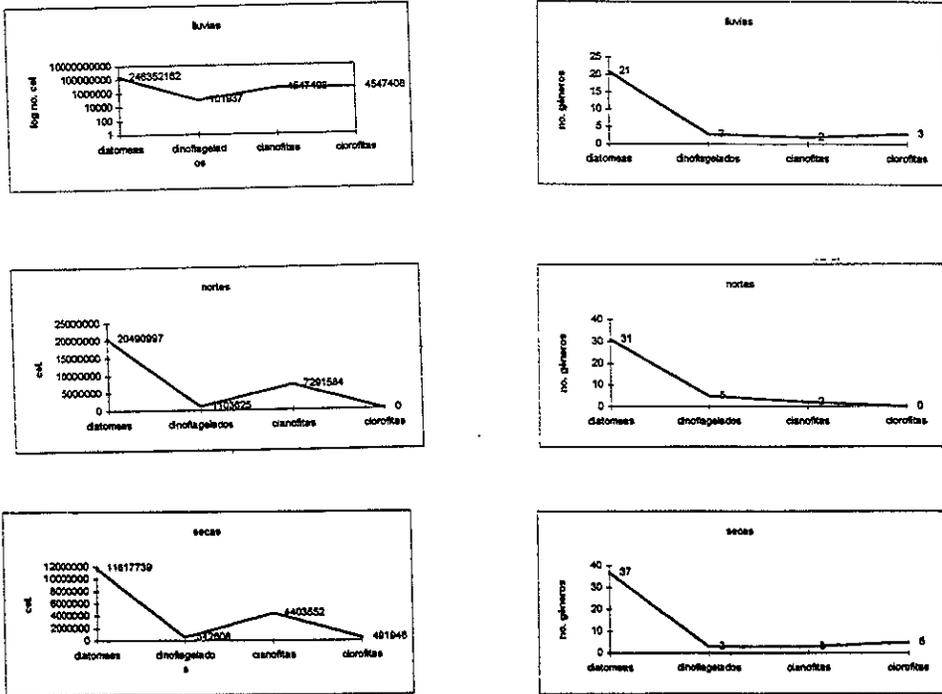
Gráfica 3. Densidad fitoplanctónica encontrada en cada estación durante las épocas de lluvias, nortes y secas.

La densidad fitoplanctónica encontrada en cada estación durante la época de lluvias, nortes y secas presenta valores homogéneos durante cada temporada a excepción de la época de lluvias, que presenta un incremento en la estación 17, donde su valor resulta ser el más alto que el resto de las estaciones muestreadas en esta época y las demás temporadas, en este mismo punto de muestreo se observa un incremento en la concentración de nitratos pero durante la época de nortes y otra durante la época de lluvias en la estación de muestreo 19 cercana a la 17, ésta característica, puede deberse que el lugar muestreado corresponde a una zona de surgencias, en la cual además se localiza un frente, que puede propiciar un incremento en el crecimiento de los organismos, que además puede observarse en los resultados de biomasa que durante época de lluvias presenta el valor mas alto en la estación 17. Brian (1996) menciona que la sensibilidad diferencial entre las especies permite un intervalo diferencial en el crecimiento y se produce una alteración en la composición de especies de la comunidad, por lo que se establece un crecimiento superior solo de algunas taxa específicos.

Además se encontró que el mayor número de organismos fue para lluvias, Contreras *et al.* (1992) menciona que en esta época cabe destacar breves lapsos de calma conocidos como intraestivales, cuyas características son: cese de la precipitación pluvial, altas temperaturas y especialmente elevadas tasas de evapo-transpiración. De hecho, todo parece indicar que es durante estos lapsos cuando ocurren las extraordinarias tasas fotosintéticas que llegan alcanzar en ocasiones valores muy altos y elevadas concentraciones de clorofila, que puede ser un reflejo de la alta densidad fitoplanctónica. La época de nortes presentó la densidad intermedia y finalmente la de secas mostró los menores valores, coincidiendo estos resultados con los mencionados por Darley (1991) que durante el invierno, que

abarca las épocas finales de nortes y principios de secas, la biomasa y la productividad son generalmente bajas.

Los valores de densidad fitoplanctónica para cada temporada presentan desviaciones estándar para la época de lluvias 86 618 917 cel/m<sup>3</sup>, para la época de nortes 1 699 623 cel/m<sup>3</sup> y para la época de secas 22 535 39 cel/m<sup>3</sup>, por lo que los resultados resultan ser muy variables dificultando su análisis y comparación temporal de valores promedio de otros parámetros.



Gráfica 4. Comparación de la densidad y diversidad que se encuentran durante la época de lluvias, nortes y secas.

La densidad y la diversidad fitoplanctónica, presentan cierta similitud en su comportamiento durante su ciclo anual, encontrándose un Índice de correlación inversa de 0.8729, determinada a partir de la comparación de los valores promedio que presenta cada época de los parámetros mencionados. Las causas que determinan esta conducta, son reflejo diferencial de cada época estacional, las que presentan características fisicoquímicas muy particulares, o posiblemente al estrés ocasionado por algunos contaminantes. Rai *et al.* (1981) menciona que el estrés por químicos inorgánicos puede ocasionar una disminución en la en la diversidad de especies y por otro lado Wetzel, (1981) menciona que los índices de diversidad son sensibles en el número de células algales contadas. Los cambios anuales que se producen en la abundancia y estructura de la comunidad del fitoplancton, ocurren con cierto grado de sucesión

estacional, pero la variedad de respuestas de especies individuales en comunidades naturales de altas expuestas a estrés ambiental dependen de cierto número de factores, por lo que no se puede precisar si el efecto de algunos estresores contaminantes son los que determinan este comportamiento. Los cambios en la abundancia pueden ser dados por efectos directos de los estresores inorgánicos en la célula, o puede ser alterada por los efectos indirectos de las interacciones biológicas de altos niveles (competición predación, etc.) o por efectos de la química del agua por especiación metálica (Brian 1996).

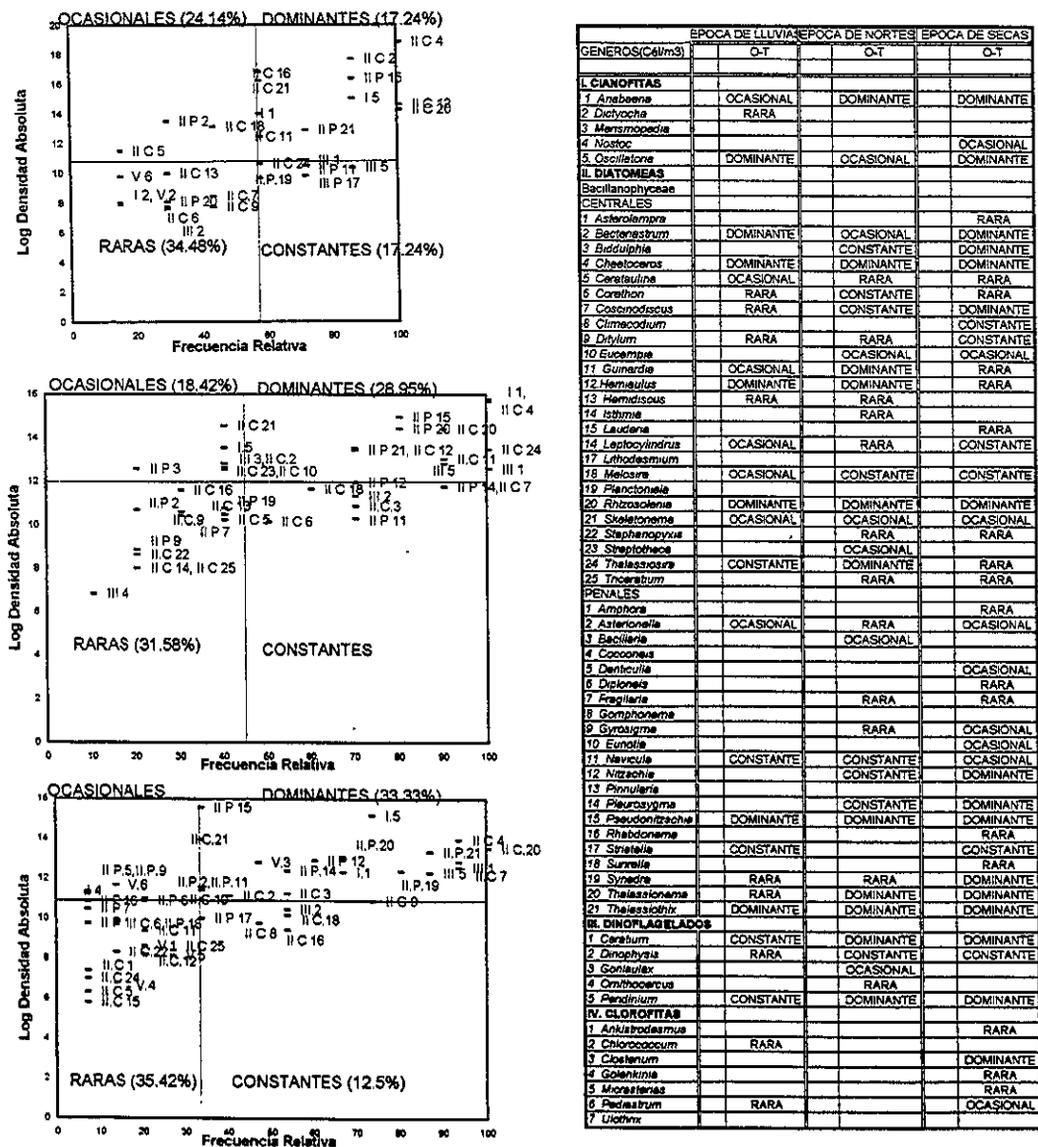


Figura 9. Representación de los géneros considerados como raros, ocasionales, dominantes y constantes según el análisis propuesto por Olmstead Tukey, para las épocas de lluvias, nortes y secas.

A partir del análisis de Olmstead-Tukey se determinó, con base a la frecuencia y a la densidad, el porcentaje de los organismos clasificados como: ocasionales, dominantes, raros y constantes, los resultados obtenidos muestran que durante la época de lluvias el mayor porcentaje de géneros reportados fue clasificado como raros con 34.48 %, el siguiente bloque correspondió a los géneros catalogados como ocasionales representando el 24.14 %, y en último término los grupos clasificados como dominantes y constantes representaron el 17.14 % cada uno de ellos.

Los resultados de este análisis para la época de nortes determinaron el mayor porcentaje para los géneros raros con un 31.58 %, seguido de los dominantes con 28.95 % , el siguiente bloque correspondió a los géneros catalogados como constantes con 21.05 % y finalmente el grupo clasificado como ocasionales representó el 18.42 %.

Respecto a los géneros encontrados durante la época de secas, el grupo clasificado como raros representó el 35.42 % seguido por el grupo de los dominantes con 33.33 % , posteriormente el grupo de los ocasionales con 18.75 % y finalmente el grupo de los constantes con 12.5 %.

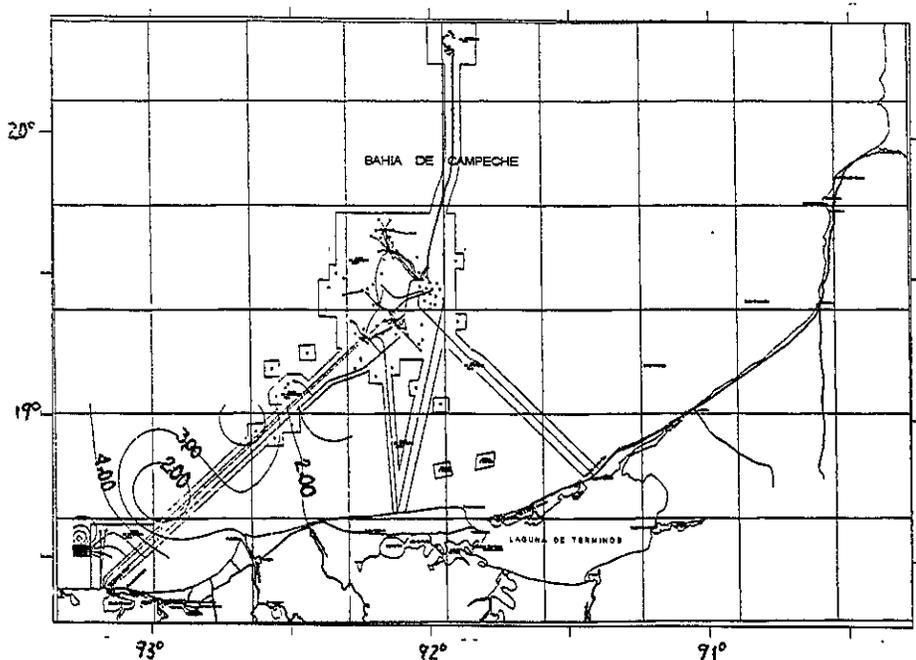


Figura 10. Distribución de la biomasa fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

El comportamiento espacial de la biomasa, durante la época de lluvias, presenta los valores mas altos en la porción Sur-Oeste del Golfo de México en las zonas cercanas a la costa, conducta debida a que como lo menciona De la Lanza (1991), las áreas ricas propician un incremento en las comunidades, las que se ubican básicamente en áreas cercanas a la costa en las que existe una mayor actividad. En la localidad de plataformas petroleras se observan los valores mas bajos y dispersos de la biomasa fitoplanctónica. El comportamiento de la biomasa es muy similar al de la densidad, dado que son los valores del peso seco de los organismos, en el que todos los casos las diatomeas fueron las dominantes.

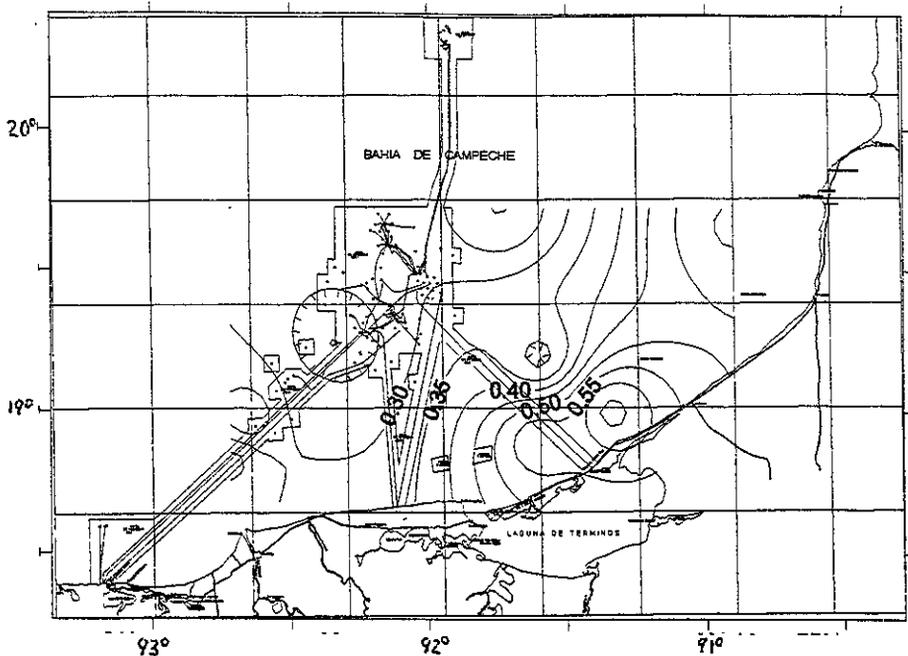


Figura 11. Distribución de la biomasa fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de nortes.

Por otro lado respecto al comportamiento espacial de la comunidad fitoplanctónica durante la época de nortes, en la figura 12 se observan los valores de la biomasa distribuidos a lo largo de la costa del Golfo de México y frente a la Laguna de Términos donde se encontraron los valores mas altos y una disminución de organismos conforme se aleja de la costa, exceptuando un punto localizado al Sur-Este de la zona de estudio que presenta valores concéntricos que disminuyen conforme se acerca a las plataformas petroleras. Esta conducta es similar a la época de lluvias, donde puede existir una influencia de las áreas ricas de nutrientes cercanas a la costa, además del posible aporte de nutrimentos y organismos por la corriente que entra por Yucatán que pueden incrementar la biomasa, además estos valores pudieron estar influenciados por algunos organismos zooplanctonicos que se atraparon en la red y que fueron medidos junto con el fitoplancton en peso seco. La biomasa encontrada se refiere principalmente a las diatomeas, que fueron las que se presentaron en mayor porcentaje de todos los taxa determinados.

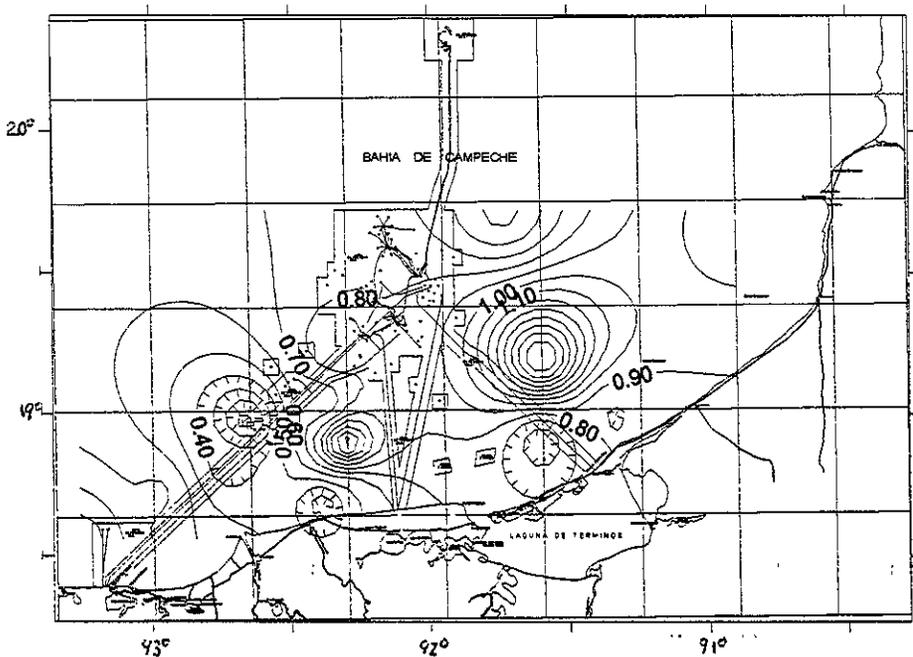
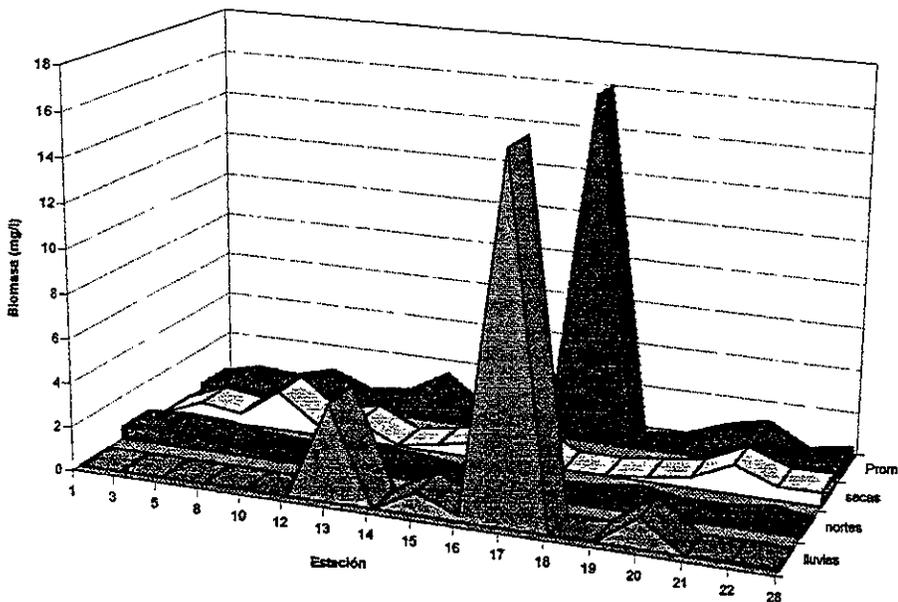


Figura 12. Distribución de la biomasa fitoplanctónica en la zona de estudio, durante la época de secas.

La distribución de la biomasa fitoplanctónica en la zona de estudio durante la época de secas presenta los valores mas altos en la porción Sur frente a la Laguna de Términos, donde existe un gran aporte de nutrimentos hacia el Golfo de México, esta zona presenta complejas características, y existe gran actividad. Se deduce que la biomasa es representada principalmente por las diatomeas en lo que se refiere al fitoplancton, dada la similitud con la gráfica de densidad fitoplanctónica, por lo que la interferencia significativa de otro tipo de organismos no influye de manera determinante en este parámetro analizado. El comportamiento general de la biomasa en la localidad de plataformas petroleras, muestra los valores mas bajos y va aumentando conforme se acerca la costa principalmente frente a la Laguna de Términos.



Gráfica 5. Biomasa fitoplanctónica encontrada en cada estación durante las épocas de lluvias, nortes y secas.

Los resultados obtenidos de biomasa determinada a partir del peso seco de los organismos fitoplanctónicos durante la época de lluvias, presenta un promedio de 3.346 mg/l, donde sus valores oscilan desde 0.3 mg/l a 16.2 mg/l, con una desviación estándar de 5.681, durante esta temporada se presenta el valor más alto, que corresponde a la estación 17, seguidos por la estación 13, presentando valores heterogéneos entre sus estaciones, durante la época de nortes, la biomasa presenta un promedio de 0.72447 mg/l, donde sus resultados varían desde 0.198 mg/l a 0.6644 mg/l con desviación estándar de 0.1641, con valores homogéneos entre sus estaciones. En cuanto a los resultados obtenidos para la época de secas, presentan un promedio de 0.7277 mg/l, donde sus valores oscilan desde 0.0536 mg/l a 1.3501 mg/l con desviación estándar 0.4549, con valores relativamente homogéneos.

Con relación al comportamiento de la biomasa fitoplanctónica durante el ciclo anual, se observó que existe un incremento en la biomasa durante la época de lluvias, seguida por la época de nortes y finalmente la menor biomasa para la época de secas, cuyo valor fueron similares para las dos últimas. Estos resultados son reflejo del número de organismos reportados en la densidad, por lo que su índice de correlación, que es 0.998964, establece un alto intervalo de similitud. La conducta que revelan estos resultados coinciden con los de Marshall (1991) quien menciona que durante la estación de invierno, que en este caso corresponde a principios de la época de secas, cuando prevalecen las bajas temperaturas, las bajas intensidades de luz y los días cortos, la biomasa y la productividad son generalmente bajas a pesar de la elevada concentración de nutrientes. Por otro lado, El-Sayed *et al.* (1972), reportan valores diferentes para la época de lluvias, que corresponde a verano, mencionando que los valores mas bajos de producción y biomasa en el Golfo de México se generan durante primavera y verano. Sin embargo en esta misma época

Smayda (1977) registra valores de producción del orden de 422 mg C/m<sup>2</sup>/día en la región septentrional del Banco de Campeche. (Licea, 1991). y Contreras (1992), menciona que las concentraciones alcanzadas durante la época lluviosa son mucho mas elevadas que su equivalente en secas, manifestándose la influencia que sobre la biomasa fitoplanctónica tienen los insumos de nutrientes generados primordialmente durante aquella época. Esta variación en el reporte de resultados hace necesario aumentar la cantidad de muestreos para cada época en nuevos estudios para definir de manera mas precisa el comportamiento de la Sonda de Campeche, ya que en los mismo periodos estacionales existen áreas cuya fertilidad difiere notablemente aún en el propio Banco de Campeche y que pueden llevarnos a conclusiones erróneas. El comportamiento de nutrientes determinados en este estudio no explican de forma contundente los resultados obtenidos sobre el análisis de diversidad, densidad y biomasa, ya que los resultados en la concentración de fosfatos y nitratos resultan comportarse en forma un tanto homogénea. Los resultados encontrados corroboran, junto con los principales parámetros abióticos, que la influencia de la estacionalidad en este ecosistema es fundamental para interpretar su comportamiento.

## VI. 2. Contaminantes

En cuanto a los resultados de los contaminantes, se analizaron 15 estaciones para cada época, a las que se les determinaron las concentraciones de hidrocarburos aromáticos, níquel y vanadio, para el agua superficial de la zona de estudio, donde los resultados que se obtuvieron se reportan en ppb.

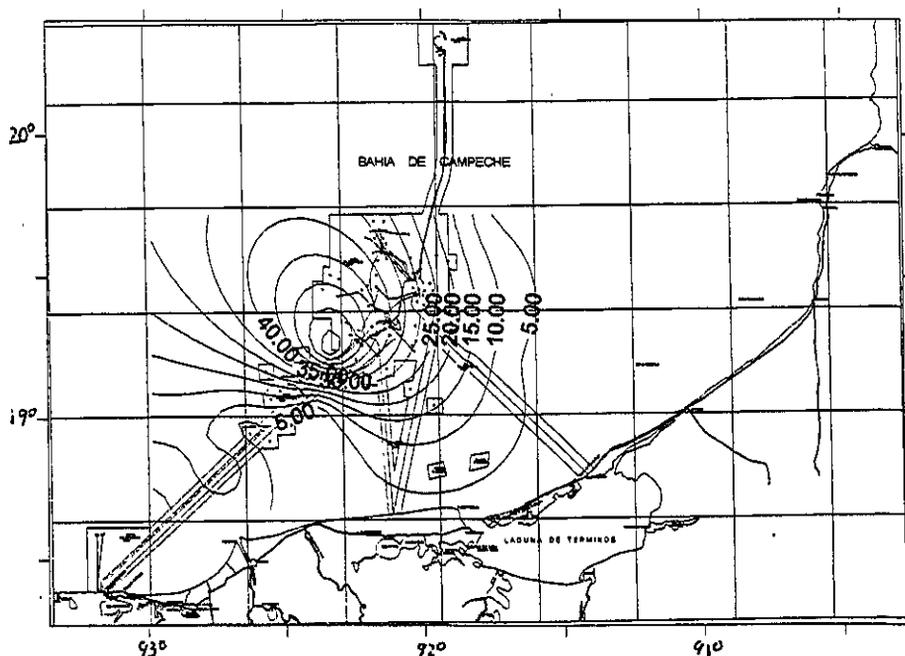


Figura 13. Distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

La distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos durante la época de lluvias, presenta un pulso de mayor concentración en la parte central de la zona de estudio, que es donde se localizan las plataformas petroleras, los menores valores de concentraciones se van presentando conforme se alejan de ellas. Las zonas cercanas a la costa no presentan los menores valores de concentración dado que puede ser también una vía de aporte de algunas cantidades de estos contaminantes, frente a la Laguna de Términos se presentan valores comparables al de zonas cercanas al mayor pulso encontrado, cabe mencionar que el comportamiento general de este parámetro presenta una ligera similitud con la diversidad fitoplanctónica, en la que pareciera favorecer la diversidad de la comunidad, sin embargo esta aseveración no podría ser lo suficientemente sólida como para determinar realmente una influencia, dado que se requiere de un estudio minucioso para localizar zonas de surgencia y corrientes locales a las cuales se les puede adjudicar mayor importancia para este comportamiento, dado que las corrientes, como lo menciona Salas (1997), en esta zona siguen una dirección de Este a Oeste, arrastrando tanto contaminantes como organismos a ciertas zonas al Oeste; además, algunos estudios de toxicidad por hidrocarburos aromáticos han demostrado un efecto negativo para la supervivencia de organismos fitoplanctónicos a ciertas concentraciones.

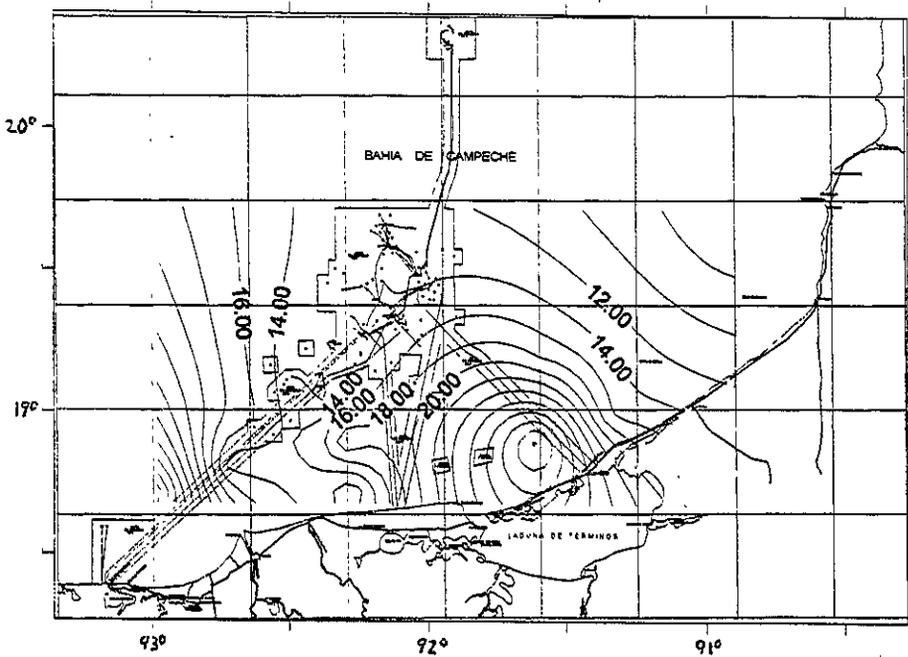


Figura 14. Distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos (ppb) en la zona de estudio, durante la época de nortes.

La distribución espacial de los hidrocarburos en la zona de estudio, durante la época de nortes, presenta un pulso de mayor concentración en la porción Sur frente a la Laguna de Términos, donde las concentraciones van disminuyendo paulatinamente conforme se aleja de ella. Esta característica puede deberse a los aportes que provienen de la Laguna de Términos, en la que desembocan cuatro ríos y los que de alguna manera pueden aumentar los contaminantes, la que presenta complejas características. La pauta espacial de la concentración de los hidrocarburos que caracteriza a esta época presenta una similitud al comportamiento de la diversidad y la biomasa fitoplanctónica, con respecto a la primera, el pulso de mayor concentración de hidrocarburos que se encuentra frente a la Laguna de Términos corresponde al pulso de menor diversidad, por otro lado con respecto a la biomasa, se observa que el pulso más alto de ésta corresponde al pulso más alto de la concentración de hidrocarburos. En la figura 15 se observa una posible influencia de los hidrocarburos, positiva para la biomasa y negativa para la diversidad, sin embargo la dirección de la corrientes en esta zona, juega un papel muy importante para la distribución tanto de los organismos fitoplanctónicos como de los contaminantes, llevándolos del Este al Oeste incrementando los registros en ciertos puntos de muestreo.

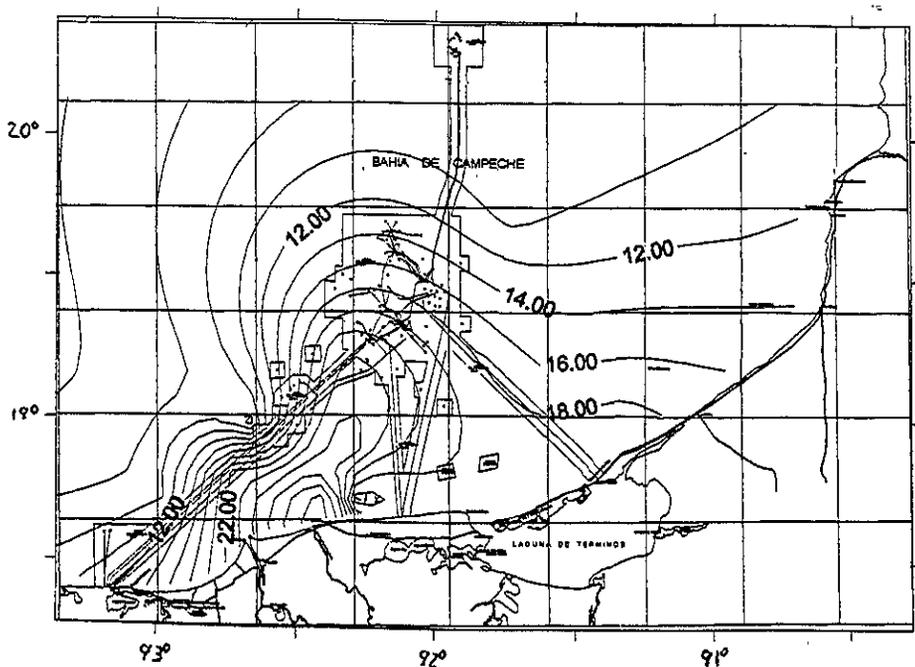
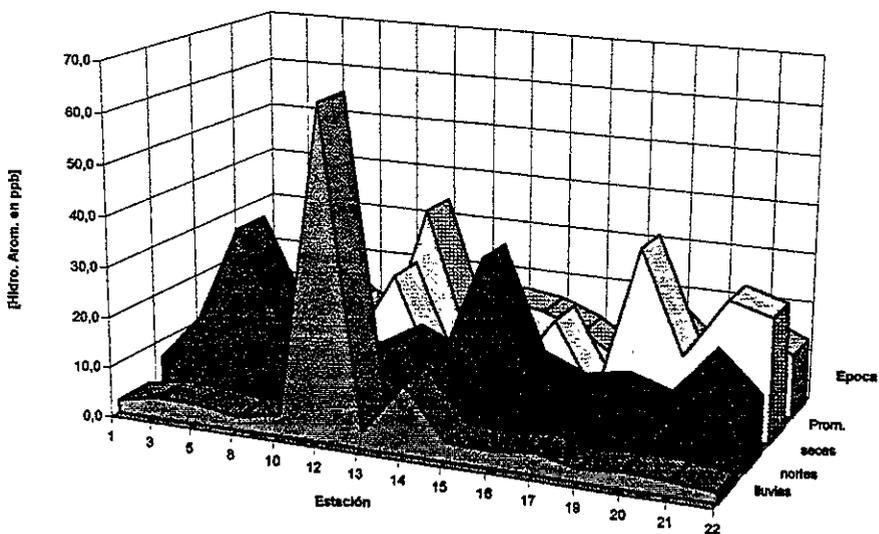


Figura 15. Distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos (ppb) en la zona de estudio, durante la época de secas.

El comportamiento espacial de los hidrocarburos, durante la época de secas, presenta un pulso con valores mas altos en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio, esta pauta se presenta de manera similar con la conducta de la diversidad fitoplanctónica, donde el pulso de mayor diversidad se encuentra en el pulso de mayor concentración de hidrocarburos y los dos van disminuyendo paulatinamente conforme se alejan de éstos. Esta característica, de que los hidrocarburos aparentemente propician a la diversidad, se ve influenciada realmente por la dirección de las corrientes en esta zona, las cuales tienden a dispersar los contaminantes de la porción Sur-Este y a acumularlos en la porción Sur-Oeste por un tiempo hasta su salida hacia el Norte del Golfo.



Gráfica 6. Hidrocarburos aromáticos encontrados en cada estación durante la época de lluvias , nortes y secas.

La pauta estacional que siguieron los hidrocarburos aromáticos totales, presentó la menor concentración durante la época de lluvias con 8.2 ppb, donde las concentraciones de cada punto de muestreo varían desde 2.2 ppb a 65.4 ppb, con una desviación estándar de 16.06, seguida por la época de nortes con 16.2 ppb, donde los valores de las concentraciones para cada estación de muestreo varían desde 6.4 ppb a 35.0 ppb, con una desviación estándar de 8.30 y finalmente la mayor concentración fue para la época de secas con 17.5 ppb, donde los valores de las concentraciones de cada estación de muestreo varían desde 4.9 ppb a 35.7 ppb con una desviación estándar de 8.78 . La causa por la que se encontró mayor cantidad de hidrocarburos en la última época mencionada, puede deberse a la relativa estabilidad que presenta y que caracteriza a la época de secas, afectando a la dispersión y dilución de los contaminantes, por lo que pueden encontrarse altas cantidades de éstos, aunado a la dominancia de las aguas provenientes del océano, que se presentan en esta época, y que puede incrementarlos. La presencia de esos compuestos en el agua han sido atribuidos principalmente a derrames de petróleo, pero la biosíntesis, los transportes aéreos, y contribuciones terrestres también pueden ser fuentes importantes. Para el caso de la época de lluvias, que se identifica como un periodo de precipitaciones

pluviales, aguas turbias y efluentes continentales, se presenta la menor concentración de hidrocarburos, por lo que la fuente continental no se considera relevante.

Los hidrocarburos aromáticos Totales presentaron concentraciones altas, dado que el límite considerado como normal para agua de mar es de 10 ppb (Vázquez, 1996), por lo que existe una clara evidencia del aporte de este energético en mayor cantidad que el de la capacidad de autodepuración natural del sistema marítimo. La presencia de hidrocarburos aromáticos del cuerpo de agua estudiado hace necesaria la determinación de las posibles fuentes de estos, como las naturales ocasionadas por grietas subacuáticas, las de aportes continentales que en su mayor parte son vertidos en el Golfo de México y las ocasionadas como producto de las actividades petroleras en la zona.

Por otro lado, las concentraciones de los hidrocarburos, encontradas en la zona de estudio se presentaron en ppb, y éstas son mucho menores a las que afectan a la vegetación marina, ya que en concentraciones de 10 a 100 ppm inhibe la fotosíntesis (Pulich, 1974), por lo cual es difícil detectar por el momento una efecto apreciable debido a este contaminante en el fitoplancton, dada su importancia por el papel que desempeñan estos organismos como productores primarios y en los cuales basa la economía energética del ecosistema marino.

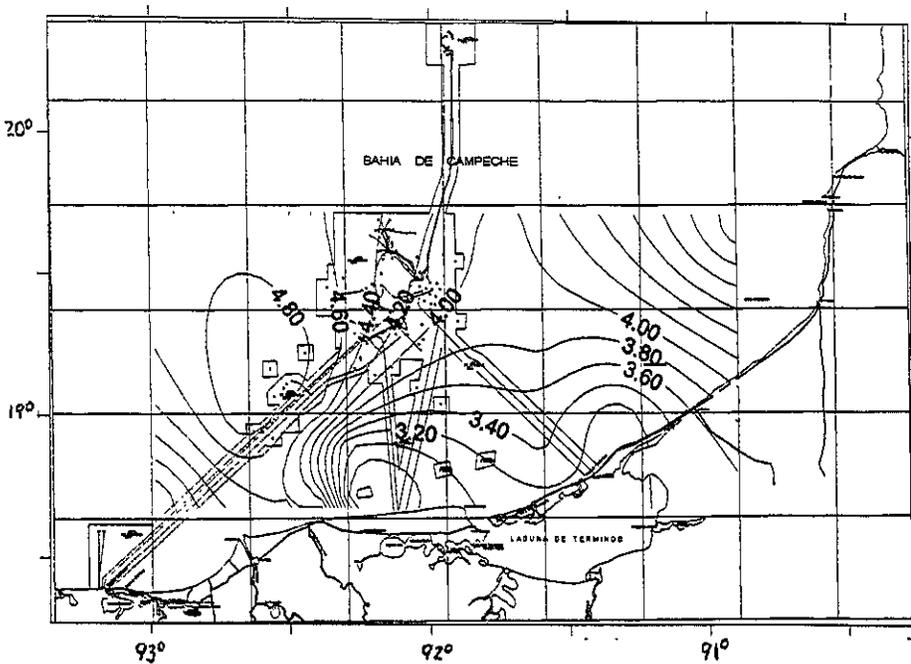


Figura 16. Concentraciones de níquel (ppb) en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

El comportamiento espacial del níquel durante la época de lluvias presenta el pulso de mayor concentración en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio, esta conducta presenta una similitud con el comportamiento de la gráfica espacial encontrada para la diversidad fitoplanctónica, la que presenta un pulso de mayor diversidad en la misma zona, sin embargo la distribución de los contaminantes

alrededor del pulso no siguen el mismo comportamiento, encontrándose de una manera muy dispersa y heterogénea, por lo que no se puede establecer una influencia aún cuando los mayores pulsos se encuentren en la misma zona, sin embargo se realizará un análisis de correlación de los resultados obtenidos para cada punto de muestreo.

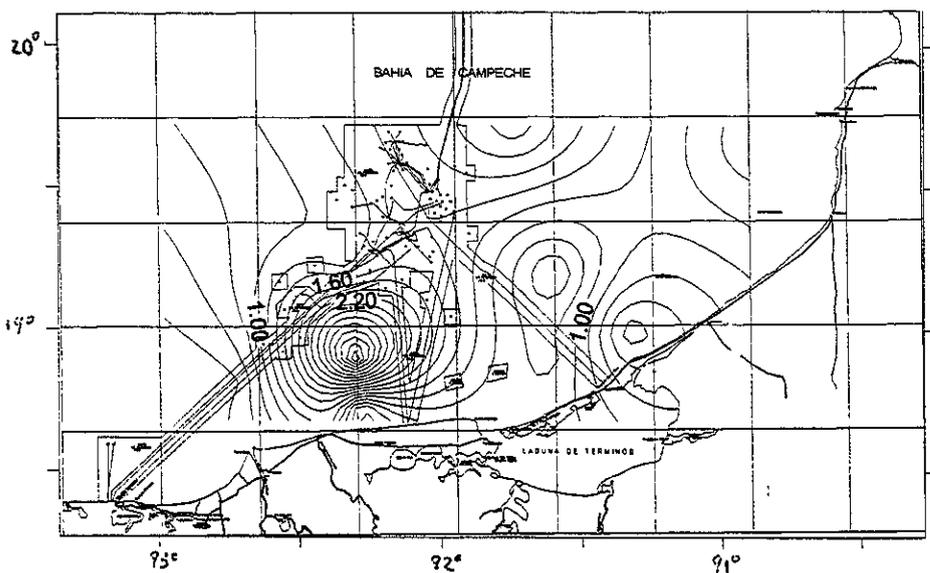


Figura 17. Concentraciones de níquel (ppb) en la zona de estudio, durante la época de nortes.

La distribución espacial de las concentraciones del níquel, durante la época de nortes presenta dos pulsos de mayor concentración, uno en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio y otro en la parte Este de la desembocadura de la Laguna de Términos debida posiblemente a la circulación particular para ésta época, en esta figura se observa como la concentración disminuye conforme se aleja de los pulsos dispersandose en el golfo, este comportamiento no presenta una pauta similar al de los parámetros biológicos analizados que puedan mostrar algún indicio de influencia.

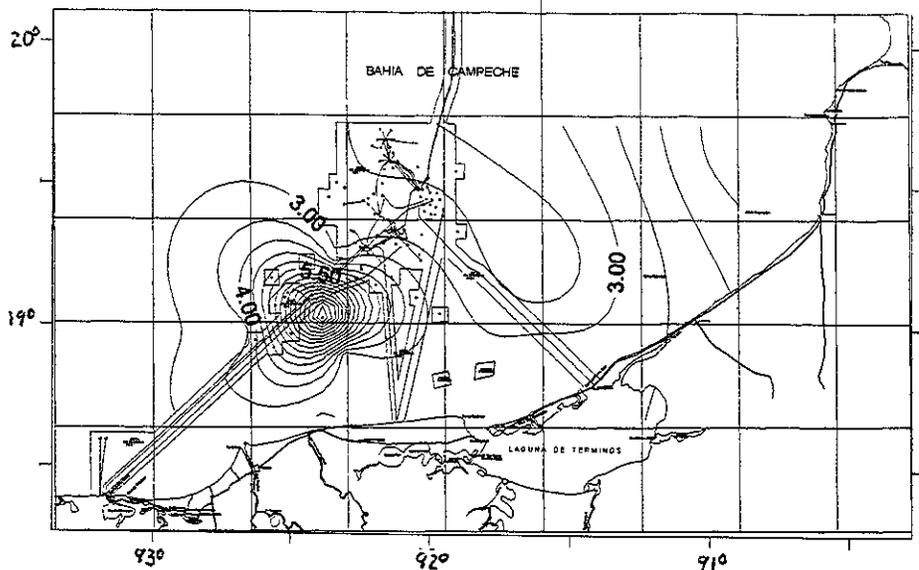
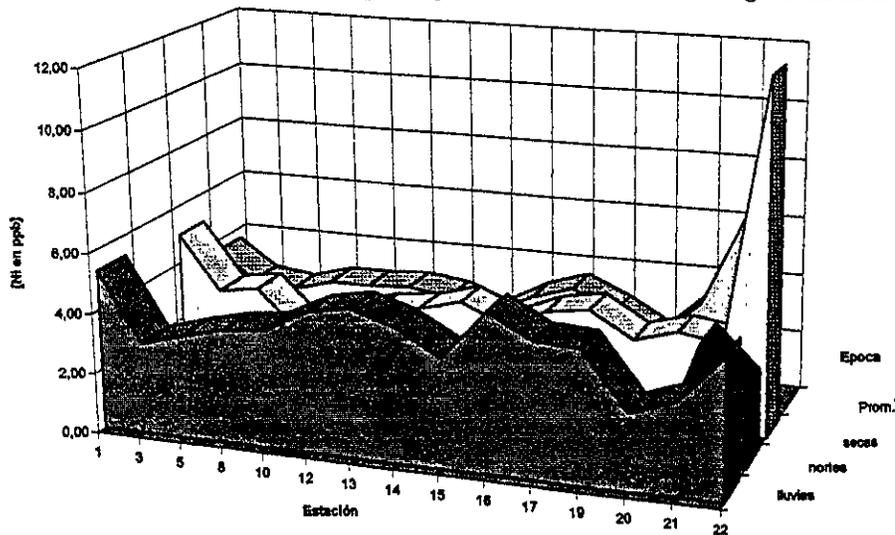


Figura 18. Concentraciones de níquel (ppb) en la zona de estudio, durante la época de secas.

El comportamiento espacial del níquel presenta un pulso de mayor concentración en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio, donde sus valores disminuyen conforme se aleja de ésta, este comportamiento se presenta de manera similar a la conducta de la diversidad fitoplanctónica, la que en el mismo pulso presenta los mayores valores de este parámetro, sin embargo los valores en torno a los pulsos no se comportan de manera similar, por lo que no se evidencia claramente alguna correlación.



Gráfica 7. Concentraciones de níquel (ppb) por estación, para la época de lluvias, nortes y secas. Los valores de las concentraciones de níquel encontradas en el agua superficial de la zona de estudio,

para la época de lluvias, presentando una desviación estándar de 4.11 ppb y sus valores desde 2.55 ppb a 5.31 ppb, presentando una desviación estándar de 0.84 .

Respecto a la temporada de nortes las concentraciones de níquel encontradas en el agua superficial de la zona de estudio, muestran un promedio en su concentración de 1.28 ppb con valores que varían desde 0.23 ppb a 4.05 ppb, con desviación estándar de 1.11 .

El níquel encontrado durante la época de secas, en el agua superficial de la zona de estudio, mostró un promedio de concentración de 3.82 ppb con valores que varían desde 1.97 ppb a 11.87 ppb entre sus estaciones, presentando una desviación estándar de 2.31 .

Los resultados del Níquel se encuentran muy por debajo de Concentración Máxima Permisible para aguas costeras, según los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua la cual es de 8 ppb, y de 2 a 4 ppm como límites máximos permisibles según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, (1996), para Aguas Costeras de Explotación Pesquera Navegación y otros usos. Las concentraciones encontradas pudieran no tener efecto basándose en lo mencionado por Xyländer (1994), quien reportan que el níquel a 100 ppm presenta efectos durante la germinación de células fitoplanctónicas resistentes, reduciendo el intervalo de germinación, cantidad de proteínas y el contenido de carbohidratos, reduciendo asimismo el estado de división celular de los flagelados, la fototaxis, la concentración de pigmentos, la fotosíntesis y el número de células motiles; además inhibe completamente la formación de células resistentes.

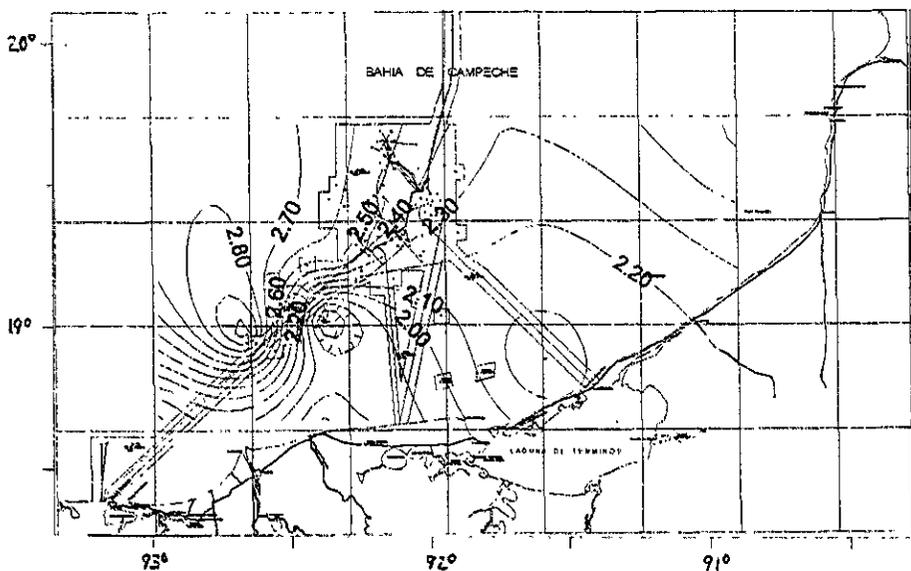


Figura 19. Concentración del vanadio (ppb) en la zona de estudio, durante la época de lluvias.

La concentración del vanadio en la zona de estudio, presentó un pulso de mayor concentración en la

porción Sur-Oeste de la zona de estudio, de manera similar la diversidad fitoplanctónica para esta época presentó un pulso de mayor concentración cercano al del vanadio, pero ligeramente desplazado al Oeste.

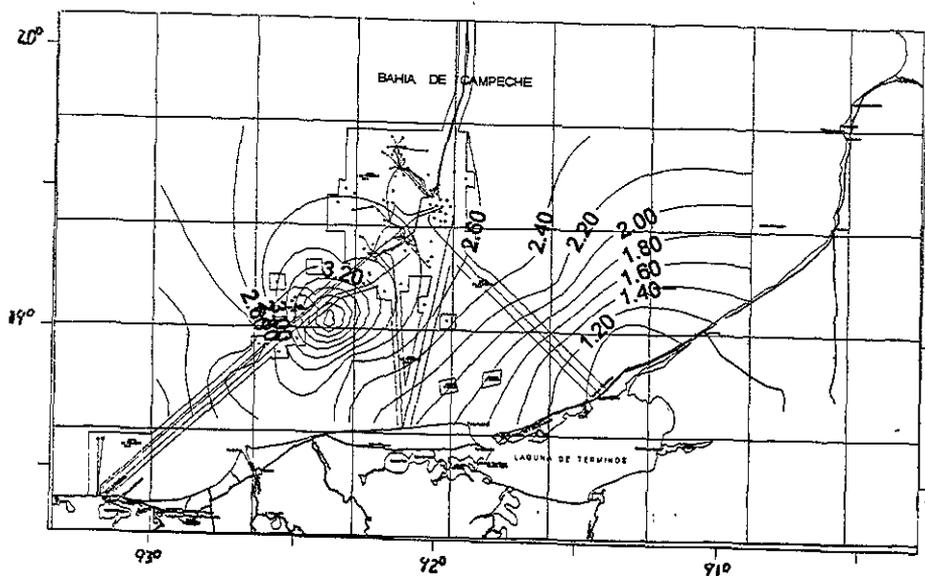


Figura 20. Concentración del vanadio (ppb) en la zona de estudio, durante la época de nortes.

La distribución de la concentración del vanadio durante la época de nortes presenta un pulso de mayor concentración en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio y otro de menor concentración al Este de la Laguna de Términos, esta representación presenta cierta similitud con algunos parámetros de la comunidad fitoplanctónica, donde a mayor concentración del vanadio existe una mayor diversidad y una menor densidad, esta aparente similitud de dependencia requiere de un análisis de correlación entre los valores obtenidos puntualmente para cada estación de muestreo para poder establecer la existencia real de influencia del vanadio sobre la comunidad fitoplanctónica, la cual se mencionará más adelante.

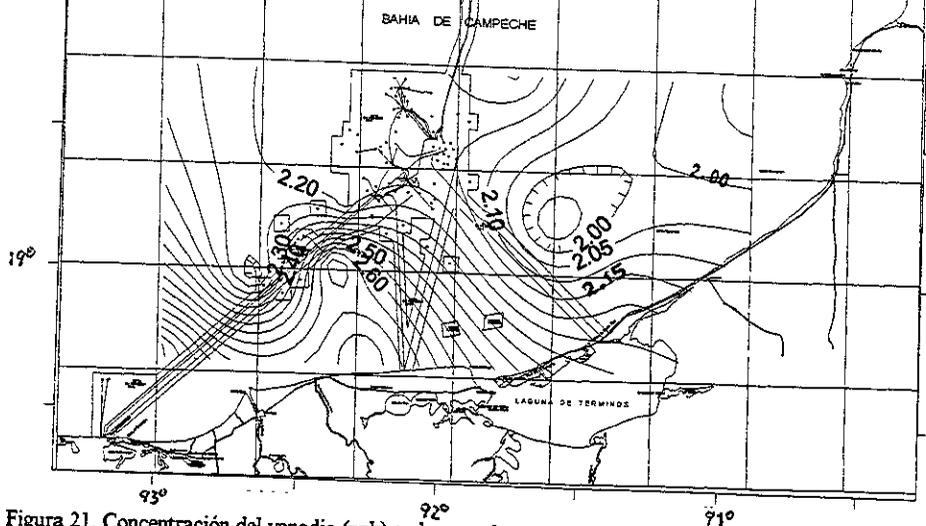
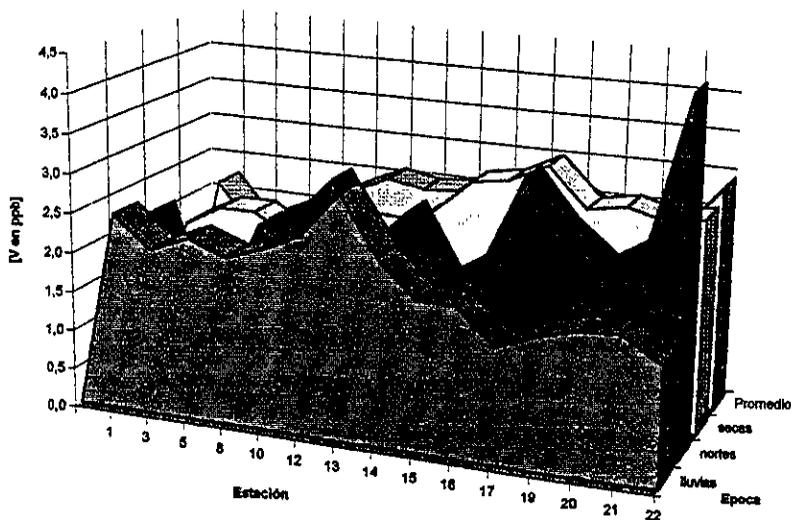


Figura 21. Concentración del vanadio (ppb) en la zona de estudio, durante la época de secas.

Respecto al comportamiento de la concentración espacial del vanadio durante la época de secas se descubrió un pulso de mayor concentración en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio, donde su comportamiento resulta ser similar al de la diversidad fitoplanctónica, la que presenta una mayor diversidad en las zonas de mas alta concentración del metal mencionado, cuyos valores se extienden hacia la porción de enfrente a la Laguna de Términos, esta similitud puede indicar alguna influencia del vanadio sobre la diversidad fitoplanctónica, pero que requiere de un análisis de correlación, el cual se analizará más adelante.



Gráfica 8. Concentraciones de vanadio (ppb), por estación durante la época de lluvias, nortes y secas.

La concentración del vanadio presenta una variación estacional similar al de los hidrocarburos. Las menores concentraciones se encontraron en la época de lluvias con 2.1 ppb, cuyos valores entre las estaciones muestreadas variaron desde 1.48 ppb a 3.10 ppb y una desviación estándar de 0.43, seguidas por la época de nortes con 2.4 ppb, con valores que fueron desde 0.80 ppb a 4.5 ppb y desviación estándar de 0.84, y finalmente la época de secas, cuyos valores se establecieron dentro de un intervalo de 1.89 ppb a 3.23 ppb y una desviación estándar de 0.41, presentó la mayor concentración con 2.5 ppb, este comportamiento presenta una variación estacional apenas detectable, dado que las cantidades que se manejan son de muy bajas concentraciones. Sin embargo, algunos autores mencionan haber encontrado diferencias en la concentración de níquel en diferentes lugar de muestreo y para cada época del año.

Como se puede observar en resultados biológicos y de contaminantes, el comportamiento estacional de los Hidrocarburos y el vanadio muestran los valores mas altos durante la época de secas, donde la biomasa y la densidad presentan los valores mas bajos pero con un alta diversidad. Por otro lado los valores mas bajos de los contaminantes se presentaron durante la época de lluvias, donde la biomasa y la densidad aumentan registrando los valores mas altos en biomasa y densidad de organismos pero a la mas baja diversidad. Esta conducta puede deberse al comportamiento que distingue a cada época, en las que se ha determinado que la época de secas se caracteriza por tener afloramientos fitoplanctónicos con atributos de diversidad, pauta que puede ocurrir por la aclimatación de algunas especies a las condiciones en las que se encuentra, las cuales pueden presentar un cambio fisiológico durante su exposición para incrementar su tolerancia o una adaptación dada por la selección natural que incrementa la resistencia manteniendo a las menos sensibles provocando un cambio en la composición de especies. Algunos autores han mencionado que cuando se encuentra una alta diversidad de organismos puede esperarse una baja contaminación y que las altas densidades fitoplanctónicas pueden ser una evidencia de lugares contaminados, lo cual no se observa en este estudio. Además, todos los metales aún aquellos que son nutrientes a bajas concentraciones, son tóxicos para las algas solo en altas concentraciones, Klerks, (1987), Rai *et al* (1981), y los resultados obtenidos en este estudio muestran concentraciones muy bajas determinadas en ppb.

### VI. 3. Correlaciones

Las propiedades fisico-químicas del agua pueden producir un estrés biológico al fitoplancton, Brian, (1996), menciona que los químicos inorgánicos pueden alterar sistemas enzimáticos, organelos y efectos metabólicos, provocando estrés algal a nivel bioquímico, celular, poblacional y de organización biológica de la comunidad. y que los efectos de los químicos inorgánicos en la célula influyen en el intervalo de crecimiento, desarrollo y abundancia de la población algal que puede ser reflejada en cambios en la abundancia relativa de las comunidades. Vázquez, (1979) menciona que algunos productos, como los naftenos que se encuentran de forma natural en la biota marina, pueden interferir y bloquear los procesos biológicos de organismos marinos, tales como búsqueda del alimento, escape de los depredadores, selección del hábitat y atracción sexual, los que en concentraciones mas bajas de 0.1 ppb pueden retardar la división celular y el crecimiento del plancton, Mironov (1970), menciona que en concentraciones mayores a 1 ppm produce la muerte de gran cantidad de especies fitoplanctónicas.

A pesar de la de la pérdida de los hidrocarburos por factores físicos y las transformaciones químicas gran parte de los componentes del petróleo permanecen inalterados en el medio marino siendo dispersados y consumidos por el plancton pasando de esta manera a las cadenas alimenticias. (Vázquez, 1979). Además el estrés metálico puede causar en las algas verde azules la liberación de neurotoxinas y hepatoxinas a altas concentraciones bastante peligrosas para la vida natural (Brian, 1996).

Las comunidades algales pueden desarrollar tolerancia para un químico en particular, pero esto no necesariamente les confiere tolerancia a otros estresores químicos, los cuales pueden encontrarse en gran variedad en la zona de estudio y que pueden comportarse de forma similar al de los contaminantes analizados, por lo que no se les puede adjudicar de manera contundente la influencia aislada de los hidrocarburos y vanadio sobre el comportamiento del fitoplancton, dado a que muchos contaminantes existentes en la naturaleza no se encuentran de forma aislada, por lo que se requiere un análisis mas extenso de los contaminantes posibles que puedan encontrarse en el medio confirmando su influencia con pruebas de toxicidad en el laboratorio donde se considere efectos de aditvismo, antagonismo y sinergismo de los contaminantes.

	lluvias			nortes			secas		
	diversidad	densidad	biomasa	diversidad	densidad	biomasa	diversidad	densidad	biomasa
Hidrocarburos	0.646	0.575	0.705	-0.079	0.298	0.392	0.488	0.013	0.008
níquel	0.157	0.157	0.141	-0.326	-0.360	-0.102	0.009	-0.090	-0.107
vanadio	0.244	-0.427	-0.159	0.783	-0.270	-0.744	0.103	-0.216	-0.299

Tabla 3. Análisis de correlación entre los parámetros biológicos y los contaminantes.

Los resultados obtenidos de la correlación de entre el promedio de los contaminantes con el promedio de los resultados de las variables fitoplanctónicas para cada época no se realizó debido a que se presentaron desviaciones estándar muy grandes. La comparación establecida a partir de los mapas con isolíneas de la zona de estudio, hizo necesario establecer si realmente existe una evidencia de la influencia de los contaminantes sobre la comunidad fitoplanctónica, por lo que se estableció un índice de correlación de manera mas directa para cada punto de muestreo entre variables biológicas y de contaminantes.

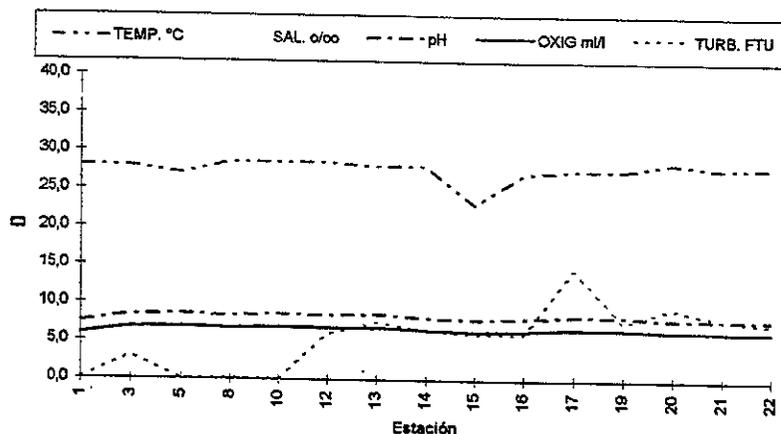
Las correlaciones determinadas (tabla 3), presentan valores altos de similitud para los hidrocarburos con la diversidad, densidad y biomasa durante la época de lluvias, este comportamiento se debe a que tanto los contaminantes como los organismos fitoplanctónicos son arrastrados por las corrientes, acumulándolos en un mismo sitio, incrementando por consiguiente la concentración de dichos parámetros en la porción Sur-Oeste de la zona de estudio, por lo que en esa porción se detecta incremento de contaminantes e incremento de parámetros biológicos estableciéndose una correlación positiva.

La correlación del vanadio con la biomasa fitoplanctónica durante la época de nortes presenta una correlación negativa, por lo que la disminución de la densidad pudo estar influenciada por la alta concentración del vanadio, esta peculiaridad toma relevancia como influencia de un posible estresor, por lo que se establece la necesidad de realizar línea de trabajo en torno a este metal, para saber bajo que condiciones ambientales reales funciona como estresor y con que otros contaminantes puede estar asociado.

Si se manifestara un efecto directo de influencia, se esperaría encontrar un alto índice de correlación negativa o positiva para algún estresor determinado durante todo el ciclo anual, sin embargo la heterogeneidad de variables que caracteriza a cada época, la cual se presenta de forma compleja en la naturaleza, la composición de la comunidad algal, la que puede ser indirectamente alterada únicamente por el efecto que presentan los estresores químicos en los consumidores de alto nivel, (Rai *et al.* 1981), entre otras variables, pueden influir de forma significativa en la interpretación de los resultados.

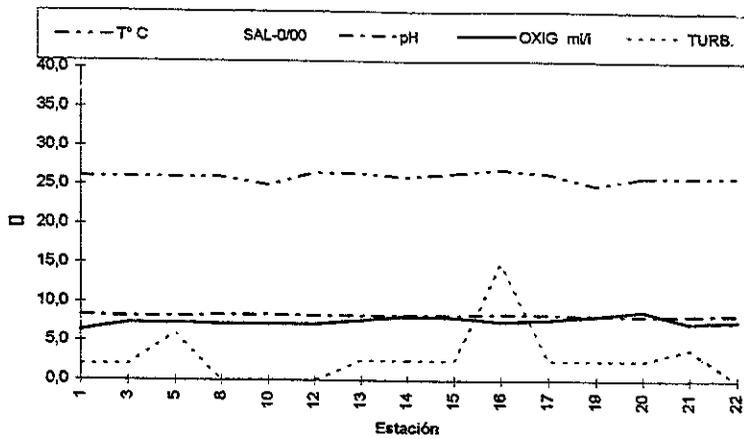
#### VI. 4. Resultados de la Caracterización hidrológica

En cuanto a los resultados físico-químicos, se determinaron algunos parámetros que caracterizan de una forma general la superficie del cuerpo de agua. Donde se obtuvieron resultados de: temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, nitratos y fosfatos, para las épocas de lluvias, nortes y secas.



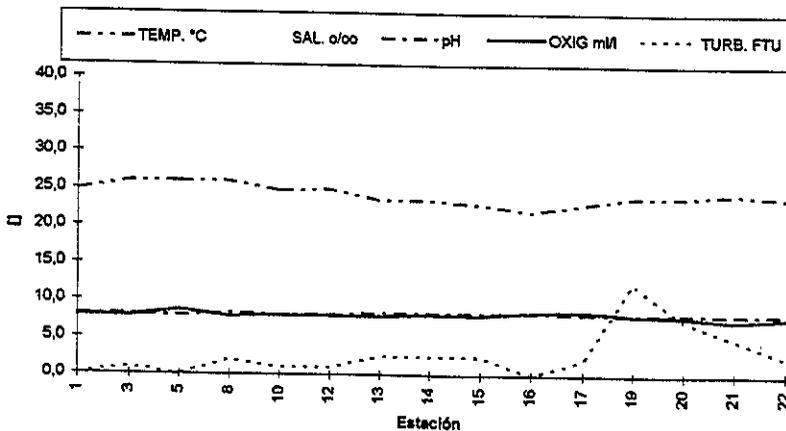
Gráfica 9. Comportamiento físico-químico de cada estación durante la época de lluvias.

Durante la primera campaña de muestreo correspondiente a la época de lluvias, se determinó en el agua superficial la temperatura de la zona en 15 estaciones, donde el promedio que presentó fue de 27.6 y los valores se establecieron dentro un intervalo de 27 °C a 28.5 °C con una desviación estándar de 1.31. La salinidad que presenta la zona tiene como promedio 36 ‰ y sus valores se encuentran dentro de un intervalo de 32.89 ‰ a 36.83 ‰, con desviación estándar 1.79. El pH del agua de la zona presenta un promedio de 8.2 con valores que van de 7.42 a 8.61 y desviación estándar 0.31. El oxígeno disuelto presenta un promedio de 6.6 ppm, y se encuentra dentro de los valores 5.94 ppm y 6.89 ppm y presenta una desviación estándar de 0.53. La turbiedad presenta un promedio de 5.5 FTU y sus valores se encuentran dentro del intervalo de 0 y 14.5.



Gráfica 10. Comportamiento físico-químico de cada estación durante la época de nortes.

Para la segunda campaña de muestreo correspondiente a la época de nortes, se determinó en el agua superficial la temperatura del agua en 15 diferentes puntos, donde el promedio que presentó fue de 26.1 y los valores se establecieron dentro un intervalo de 25 °C a 27 °C con desviación estándar de 0.51. La salinidad promedio es de 36 ‰ y sus valores se encuentran dentro de un intervalo de 27.19 ‰ a 37.37 ‰ con desviación estándar de 2.59. El pH encontrado presenta un promedio de 8.3 con valores que van de 7.22 a 8.45 y una desviación estándar de 0.08. El oxígeno disuelto presenta un promedio de 7.6 ppm, y se encuentra dentro de los valores 6.29 ppm y 8.84 ppm con una desviación estándar de 0.58, la turbiedad que presenta la zona de estudio es en promedio 2.9 FTU y sus valores se encuentran dentro del intervalo de 0.0 FTU y 15.0 FTU con desviación estándar 3.59.



Gráfica 11. Comportamiento físico-químico de cada estación durante la época de secas.

En la tercer campaña de muestreo correspondiente a la época de secas, se determinaron en el agua superficial los siguientes parámetros: la temperatura de la zona en 15 diferentes puntos, donde el promedio que presentó fue de 24.4 y los valores se establecieron dentro un intervalo de 22 °C a 26 °C con una desviación estándar de 1.21. La salinidad que presenta la zona y que tiene como promedio 38.4 ‰ donde sus valores se encuentran dentro de un intervalo de 36.55 ‰ a 39.76 ‰ y desviación estándar 0.98. El pH, que presenta un promedio de 8.2 con valores que van de 7.95 a 8.32 y una desviación estándar de 0.12. El oxígeno disuelto, que presenta un promedio de 8.0 ppm, y se encuentra dentro de los valores 7.40 ppm y 8.61 ppm con una desviación estándar de 0.31. La turbiedad que se presenta en la zona la cual tiene un promedio de 2.6 FTU y sus valores se encuentran dentro del intervalo de 0.0 FTU y 12.5 FTU con desviación estándar de 3.29.

Con respecto a la temperatura registrada en la zona de estudio, se presentan valores homogéneos durante las tres temporadas, esto se debe a que los cuerpos de agua tienden a mantener una estabilidad térmica, además los valores observados hacen referencia solamente al agua superficial que fue la determinada en el momento del muestreo, resultaría interesante realizar un registro de la temperatura del cuerpo de agua a diferentes profundidades para conocer de manera mas precisa el comportamiento de éste, debido a su importancia, que si aún no es clara, de que algunas temperaturas subóptimas incrementan la vulnerabilidad a estrés químico inorgánico (Nyholm, 1989) para algunos géneros fitoplanctónicos. Algunas investigaciones sugieren que las temperaturas bajas disminuyen el estrés metálico, el cual puede ser una consecuencia de inhibición metabólica-dependiente del mecanismo de asimilación (Garnham, 1992; Collard, 1994; Pawlik, 1994). Sin embargo en este estudio no se incluyen aún los tipos de mecanismos de inhibición y asimilación.

De manera general se observó que el promedio de las temperaturas para la época de lluvias presentó el mayor valor con 27.5°C, posteriormente la época de nortes con 26.0°C y finalmente la época de secas con 24.3°C, encontrándose poca variación en los valores de este parámetro para cada época.

Los valores de la salinidad encontrada en la zona de estudio tendieron a la homogeneidad, exceptuando las estaciones 17 de la época de lluvias y la estación 14 de la época de nortes que registran una disminución de la misma. Churgin (1974), observaron zonas con menor salinidad durante la estación de otoño, que corresponde a la época de nortes, en algunas porciones el Golfo de México, considerándolas como normales (De la Lanza, 1991). Este comportamiento es debido probablemente a las masas de agua subtropical subyacentes provenientes del mar caribe y a los aportes continuos de los ríos que desembocan en el Golfo de México.

La variación de la salinidad en este estudio es de considerable importancia para la comunidad fitoplanctónica, dado que los metales pueden ser mas tóxicos fuera de los intervalos de salinidad normal para las algas de agua fresca y marina (Anderson *et al*, 1992; Avery *et al*, 1993). La concentración de sales puede influir en los intervalos de absorción y asimilación metálica, la diferencial electrolytica puede disminuir la absorción si la concentración del electrolito es bastante alta (Cho *et al*, 1994). Los iones sodio pueden disminuir la bioacumulación de metales catiónicos (Garnham *et al*, 1992).

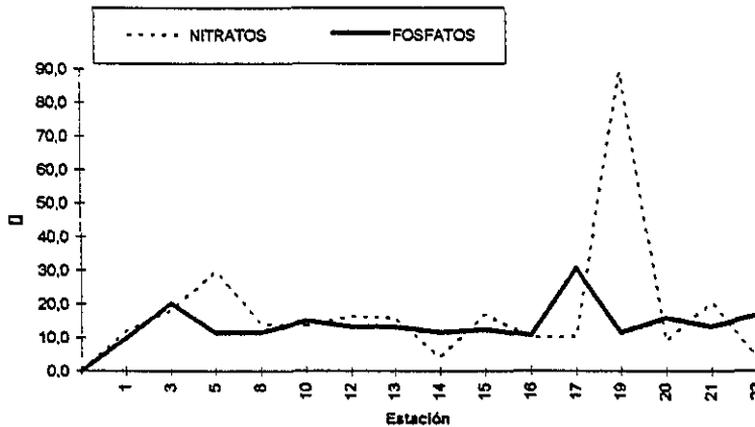
De manera general, en cuanto a este parámetro, se encontraron valores para la época de lluvias de 35.988 ‰, para la época de nortes de 35.602 ‰ y para la época de secas 38.368 ‰. El incremento observado durante la época de nortes puede deberse probablemente a las masas de agua subtropical subyacente provenientes del mar del caribe, Brian (1996). menciona que el incremento de la salinidad puede ocasionar una forma de estrés químico inorgánico alterando el balance osmótico del fitoplancton, pero esto no es dado generalmente por razones antropogénicas.

El pH, prácticamente no varía dentro del área de estudio, ya que la mayoría de las estaciones presentaron un valor muy cercano a la media, cuyas medias para cada época resultaron ser muy similares, Sverdrup (1974) reporta para el Golfo de México un intervalo de pH que va desde 7.5 a 8.5 y Friedich (1969) reporta un intervalo de 7.0 a 8.5. Lo cual coincide con los valores encontrados en este estudio, exceptuando dos estaciones de muestreo, pertenecientes a la época de lluvias, en la que se encontró un pH de 8.6 para la estación 5 y 8.61 para la estación 10.

Se encontraron valores promedio de pH para la época de lluvias de 8.198 para la época de nortes 8.293 y para la época de secas 8.168. Este factor es de suma importancia dado que el pH como factor ambiental influye en la toxicidad de los metales. Los iones hidrógeno pueden disminuir la toxicidad de iones inorgánicos (e inducir la estrés ácida) por compatibilidad excluyendo aquellos que se unen a los ligandos de la superficie celular (Peterson 1984, Campbell 1985; Gemsemer 1991, Parent 1994). Michnowicz (1984), encontró que la toxicidad por níquel fue menor para *Selenastrum* a pH óptimos de intervalos de crecimiento, y por otro lado Macfie *et al* (1994) demostraron altas toxicidades a pH 5 que a pH 7 para *Chlamydomonas*, sin embargo aún no existen estudios reportados que demuestren algún tipo de estrés para los pH encontrados.

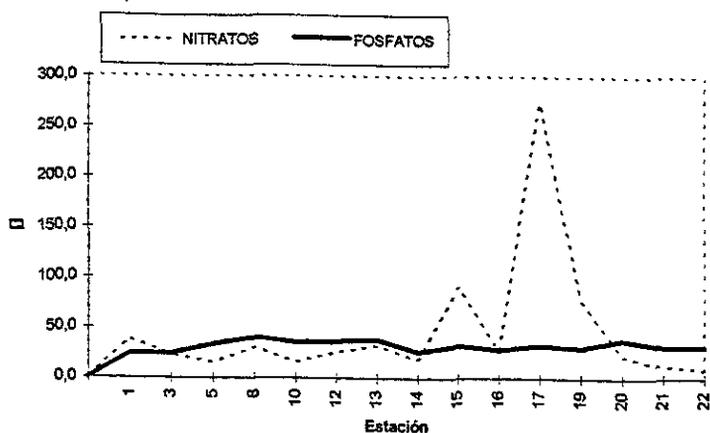
El oxígeno disuelto es un parámetro que generalmente se mantiene muy estable dentro del Golfo de México, los valores encontrados en este estudio resultaron ser muy homogéneos tanto para las estaciones como para cada época, obteniendo resultados promedio para la época de lluvias 6.7 ml/l para la época de nortes 7.6 ml/l y para la época de secas 8.0 ml/l. Los menores valores determinados para la época de lluvias y nortes pueden deberse a la alta actividad biológica que se presenta en la zona provocada por las surgencias propias de las temporadas. (Ramos, 1990) en (De la Lanza, 1991).

Los resultados encontrados de la turbiedad son muy variables, dado que la zona de estudio presenta gran cantidad de surgencias y sus valores promedios son: para la época de lluvias 5.467 FTU, para la época de nortes 2.933 FTU y para la época de secas 2.652 FTU, donde los valores más altos corresponden a las primeras épocas debido a las surgencias propias de las temporadas, este comportamiento encontrado consolida la conducta de los valores hallados para el oxígeno.



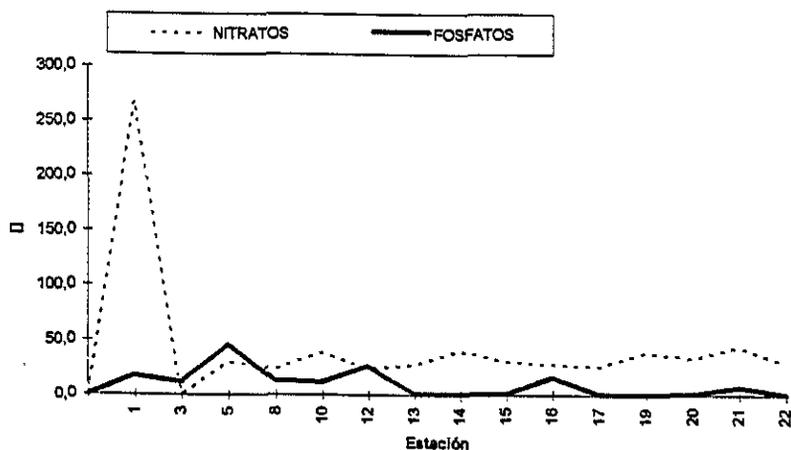
Gráfica 12 Comportamiento de los nutrientes en cada estación durante la época de lluvias.

La concentración de nutrientes en el cuerpo de agua estudiado, muestreados en 16 zonas durante la época de lluvias, presentan para los nitratos un promedio en su concentración de 18.9 ppb y sus valores oscilan de 3.91 ppb a 89.16 ppb y con una desviación estándar de 19.79; por otro lado, las concentraciones de fosfatos presentan un promedio de 14.2 ppb y sus valores oscilan de 9.68 ppb a 30.73 ppb, con una desviación estándar de 5.18.



Gráfica 13. Comportamiento de los nutrientes en cada estación durante la época de nortes.

La concentración de nitratos durante la época de nortes presenta un promedio de 45.2 ppb y sus valores oscilan de 8.71 ppb a 274.74 ppb entre las zonas muestreadas, con una desviación estándar de 65.35, por otro lado los fosfatos presentan un promedio de 32.2 ppb y sus valores oscilan de 24.24 ppb a 39.89 ppb y una desviación estándar de 4.83.



Gráfica 14. Comportamiento de los nutrientes en cada estación durante la época de secas.

Respecto a la concentración de nutrimentos en la parte superficial del cuerpo de agua, los nitratos en la zona de estudio presentan un promedio de 47.1 ppb y sus valores oscilan de 23.43 ppb a 268.13 ppb con una desviación estándar de 61.49 , y los fosfatos presentan un promedio de 11.4 ppb cuyos valores oscilan de 0.95 ppb a 45.56 ppb, presentando una desviación estándar de 13.02.

Con respecto a los nitratos se puede observar una variabilidad de valores para cada estación, encontrándose los más altos en la estación 19 durante la época de lluvias en la que desafortunadamente no se pudo coleccionar fitoplancton para observar si existía o no un crecimiento de densidad o diversidad, dado que los tóxicos pueden alterar la asimilación de nutrientes, eficiencia de asimilación, intervalo de crecimiento y ultimadamente el cambio en las relaciones de competitividad (Landis, 1986). Para la época de nortes se encuentra también una variabilidad de resultados entre las estaciones, donde se encontró la concentración más alta en la estación 17, y para la época de secas la variación más alta en la estación 1. En cuanto a este parámetro se encontraron valores para la época de lluvias de 18.896 ppb para la época de nortes de 47.509 y para la época de secas de 48.790. Las altas concentraciones encontradas en estas dos últimas estaciones no pueden reflejar por si mismas una directa influencia en el fitoplancton dado que se necesita determinar las formas químicas de los componentes de N y cuales podrían ser disponibles lo cual puede ser de suma importancia, pero si bien el nitrato por un lado disminuye la toxicidad de algunos metales por otro lado aumenta el estrés por otros (Gupta, 1989) .

En cuanto a la concentración de fosfatos se encontró que existe una menor variabilidad entre las estaciones y tendieron a ser relativamente homogéneas, exceptuando a la estación 17 de la época de lluvias que presenta la concentración más alta. Para el resto de las épocas se observa un comportamiento homogéneo. Esta variable de caracterización resulta ser importante dado que los estresores químicos inorgánicos con estructura similar que al de los nutrientes puede interferir con los sitios de asimilación de los nutrientes o con las enzimas (Brian, 1996). De manera general en cuanto a este parámetro se encontraron valores promedio para la época de lluvias de 14.414 ppb, para la época de nortes 32.033 ppb y para la época de secas 10.266 ppb. La variabilidad de concentraciones para cada época es trascendental dado que la concentración de  $PO_4$  influye directamente en la toxicidad de las algas por los metales (Rai *et al.*, 1981; Chen, 1994). Las altas concentraciones de  $PO_4$  disminuyen el estrés por metales dada por la precipitación de estos en la solución externa o por asociación con los polifosfatos incrementados intracelularmente.

## VII. CONCLUSIONES

Se logró identificar taxonómicamente al fitoplancton de la zona de estudio, frente a la Sonda de Campeche y Tabasco, durante el ciclo anual, encontrando para la época de lluvias 29 géneros diferentes dentro de cuatro grupos, para la época de nortes 38 géneros en tres grupos y para la época de secas 48 géneros en cuatro grupos, donde las diatomeas fueron las dominantes para las tres épocas, además se determinó la diversidad, densidad y biomasa de la comunidad. Es notable que la estructura de las comunidades fitoplanctónicas y sus patrones de variación temporal difieren considerablemente en el ambiente analizado.

Se determinó la concentración de hidrocarburos aromáticos totales, vanadio y níquel, cuyas concentraciones se presentaron en ppb, los niveles de hidrocarburos aromáticos en la zona de estudio se encuentran por encima del límite normal considerado para las aguas marinas para las épocas de nortes y secas, mientras que para la época de lluvias se encuentra por debajo del intervalo, por otro lado, los niveles encontrados de níquel se encuentran dentro del intervalo de los límites permisibles, para las tres épocas, respecto a la concentración de vanadio no se establecen niveles máximos de concentración permisibles para aguas costeras.

Con base en la medición de la temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbiedad, nitratos y fosfatos, se logró examinar el comportamiento de la zona de estudio en la porción superficial, a pesar de la extensa área analizada y los pocos puntos muestreados se encontró que los parámetros fisicoquímicos presentan valores relativamente homogéneos en la superficie, donde los organismos aún los más sensibles no pudieron haber sido influenciados de manera determinante y apreciable por estas variables, por lo que no se consideran a las variables determinadas como factores principales que establecieran el comportamiento de los parámetros biológicos del fitoplancton.

Los nexos buscados, de las variables de la comunidad biológica con las concentraciones de contaminantes, mostraron influencia del vanadio sobre la biomasa durante la época de nortes, a partir de la relación de los resultados encontrados en cada punto muestreado. La alta correlación de diversidad, densidad y biomasa con los hidrocarburos se debe a que la distribución de la comunidad fitoplanctónica a este nivel y la dispersión de contaminantes, obedece preferentemente a las corrientes que se encuentran en la zona y posiblemente en menor grado a otros factores, tales como transporte de masas de agua, fenómenos atmosféricos, cantidad de luz, a cambios geográficos o incluso a su misma biología o posiblemente a otros contaminantes, que no son especialmente los determinados. Es importante señalar que la dinámica de los factores ambientales de tipo alogénico, los contaminantes de origen natural además de los antropogénicos, presentan múltiples interrelaciones complejas, jugando un papel diferencial primordial en los patrones de variación del fitoplancton, por lo que las comunidades responden también diferencialmente.

## VIII. COMENTARIOS

Los análisis químicos del agua por sí mismos no pueden ser suficientes para evaluar la influencia en el fitoplancton, porque los componentes del cuerpo de agua incluyendo al perifiton puede disminuir el efecto, disolviendo la concentración de los contaminantes principalmente los metales, a niveles de trasfondo, así pues la medida de la composición estructural de las comunidades algales puede resultar muy útil para la evaluación ambiental.

Resulta necesario evaluar de forma general todos los componentes que puedan causar algún estrés en las comunidades fitoplanctónicas, dado que los criterios de calidad del agua se basan en datos de toxicidad de estresores inorgánicos individuales. Esto es importante para distinguir entre la toxicidad de químicos individuales y el efecto que tienen esos químicos en mezclas que es como realmente existen en la naturaleza.

Los resultados obtenidos en cuanto al estrés fitoplanctónico, producido por los contaminantes para cada época, pudieron haber sido enmascarados por estado de vida de los organismos, dado que las algas experimentan una alteración durante su tiempo de vida, por lo que sus estados de crecimiento difieren en su sensibilidad de estrés para químicos inorgánicos, Xiländer (1994), menciona que sus respuestas se miden en diferentes caminos. Además, poco se conoce acerca de la sensibilidad durante cada estado de vida en la mayoría de las especies algales, lo cual no se consideró en este estudio al no ser un objetivo del mismo.

La presencia de los contaminantes en la zona de estudio puede afectar en determinado tiempo la filogenia de la comunidad fitoplanctónica, debido a que la selección natural actúa con mecanismos de resistencia y por lo tanto los patrones de evolución pueden emerger en los organismos los cuales se relacionan mas estrechamente con cada respuesta muy similar a los estresores que a organismos que son mas distantemente relacionados. Eangberg (1988) menciona que existe una relación entre la filogenia algal y la sensibilidad al estrés químico.

Resulta necesario evaluar un mayor número de metales, dado que muchos metales son nutrientes para el fitoplancton a bajas concentraciones, y poco se conoce de la respuestas biológicas que guardan a un estrés metálico cuando otro metal es el limitante. Aunque algunos metales muy tóxicos son nutrientes a bajas concentraciones, no son necesariamente menos tóxicos que otros metales.

Hay claramente una necesidad de mas estudios de toxicidad sobre las algas, dada su importancia en el rol que juegan como productor primario, como fuente primaria de alimento de pastoreo, alimento dentrital membranoso, en los ciclos de los nutrientes, en los ciclos de los tóxicos y la tendencia de acumular metales en los sedimentos.

Es necesario evaluar cada tipo de hidrocarburo aromático, tanto en las posibles fuentes provocadas por las actividades del hombre como en las zonas fuera de su alcance, para establecer si los principales efectos de los hidrocarburos en el ambiente provienen de una fuente alogénica o antropogénica.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson S., Kautsky L., y Kautsky N. (1992). Effects of salinity and bromine on zygotes and embryos of *Fucus vesiculosus* from the Baltic Sea. Mar. Biol. Berlin. no. 114. 661-665 p.
- APHA, (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington D. C. 16 Th. 1193 p.
- Avery S. V., Codd G. A. y Gadd G. M. (1993). Biosorption of tributyltin and other organotin compounds by cyanobacteria and microalgae. Appl. Microbiol. Biotechnol vol 39. no. 6. 812-817 p.
- Balech E. (1976). Introducción al Fitoplancton Marino, Ed. EUDEBA MANUALES Universitaria de Buenos Aires. 211 p.
- Berridge M. J., Payne R., Corson D.W. y Fein A. (1968). Excitation and adaptation of limulus ventral photoreceptors by Inositol 1, 4, 5 triphosphate result from rise in intracellular calcium. Journal of General Physiology. vol 88. no. 1. 122-142 p.
- Blank H. y Wängberg S. A. (1988). Induced community tolerance in marine periphyton established under arsenate stress. Can J. Fish Aquat. Sci. 45. 1816-1819 p.
- Blumer M. L. R. Youngblood W. W. (1972). Saturated and unsaturated hidrocarbons in marine benthic algae. Mar Biol. Berlin. vol 8 no. 3. 190-201 p.
- Bonde G. R. Boutler P. Andren L. E. (1977). Test monitoring and indicator organisms en guide to marine pollution. Eds. Droop, M.R. y H. W. Academic Press. London. 273-364 p
- Boyland J.C. Tripp B.W. (1971). Determination of hidrocarbons in sea waters extracts of crude oils fractions. nature. no. 230. 44-47 p.
- Brian R. G. (1996). Algal ecology. ecotoxicology of inorganic chemical stress to algae. Academic Press Inc. Johnson, Vermont. 403-458 p.
- Campbell P. G. C. y Stokes P. M. (1985). Acidification and toxicity of metal to aquatic biota. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42. 2034-2049 p.
- Carranza E. Gutierrez A., Estrada M., Rodriguez M. y Torres P.(1975). Continental morphotectonic units of the Mexican Coast Vol 2 no. 1 An Centr-Cienc. Mar limnol UNAM. México.
- Chang C. y Sibley T. H. (1993). Determination of toxic pollutants water using a marine phytoplankton *Dunaliella bioculata* and doppler laser velocimetry. chemistry an ecology London. Chem. Ecol. vol 10 no. 1-2. 87-96 p.
- Chen C. Y. (1994). Theoretical evaluation of the inhibitory effects of mercury on algal growth at various orthophosphate levels. Water Res. 28. 931-937 p.
- Cho D. Y., Le S. T. y Chung. A. S. (1994). Studies on the biosorption of heavy metals onto *Chlorella vulgaris*. Environ. Sci. Health Part A, A 29 p.
- Churgin R. L. (1994).The influence of salinity to the marine diatom *Nitzschia Closterium* (Ehrenberg) W. Smith. Aquat. Toxicol. vol. 6. 297-305 p.
- Collard J. M. y Matagne R. F. (1994). Cd<sup>2+</sup> resistance in wild-type and mutant strains of *Chlamydomonas reinhardtii*. environ. Eexp. Bot. 34.
- Contreras E., Castañeda L. y García N. A. (1992). Golfo de México I (De Tamaulipas a Veracruz) Serie "Bibliografía comentada sobre ecosistemas costeros mexicanos". Volumen III. CONABIO-UAMI-CDELM.129 p.
- Darley W. M. (1991). Biología de las Algas. Ed. Limusa S.A. de C.V.México. 129-159 p.

- De la Lanza E. G. y Arredondo J. L. (1990). La acuicultura: de los conceptos a la producción. Ed. UNAM, México
- Eangberg R. K. y Sing S. P. (1988). Comparison of Ni-sensitive and Ni-resistant strains of *Nostoc muscorum*. World J. Microbiol. Biotechnol. vol. 9. 323-327 p.
- El-Sayed S. Z., Sackett W. M., Jeffrey L. M., Fredericks A.D., Saunders R.P., Conger P. S., Frixell G.A., Steidinger K. A. y Earle S. A. (1972). Serial Atlas of the marine environment. chemistry primary productivity and benthic algae of the Gulf of México Amer. Geogr. Soc. 22-26 p.
- Emilson J. E. (1976) The role of mesoscala eddies in the general circulation of the ocean numerical experiments using a wind-driven, quasi-geostrophic model. journal of Physical Oceanography. no. 8. 363-392 p.
- Flegal A. R., Garrison D. L. y Niemeyer S. (1993). Lead isotopic disequilibria between plankton assemblages and surface waters reflect life cycle strategies of coastal populations within a northeast Pacific upwelling regime. Limnol. Oceanogr. no. 38. 670-678 p.
- Friedrich M. E. (1969). Influence of complexation and pH on individual and combined heavy metal toxicity to a freshwater green alga. Can J. Fish Aquatic Sci 44. 1173-1180 p.
- Gadd G. M. (1988) Acumulation of metal by microorganims and algae. In Biotechnology. Ed. H. J. Rehm. vol 60. 401-434 p.
- Garnham G. W., Codd G. A. y Gadd G. M. (1992). Kinetics of uptake and intracellular location of cobalt, manganese and zinc in the estuarine green alga *Chlorella salina*. Appl. Microbiol. Biotechnol. no. 37. 270-276 p.
- Graham D. S., Daniels J.P., Hill J. M. y Day J. W. (1981) A preliminary model of the circulation of Laguna de Terminos. Campeche, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol UNAM, México, vol 10 no. 1. 51-62 p.
- Geneser R. W. (1991). The effects of pH and aluminum on the growth of the acidophilic diatom *Asterionella ralfssi* var. americana. Limnol. Oceanogr. no. 36. 123-131 p.
- Gener R. B., Cherry D. S., Smith E. P. y Cairns J., Jr. (1987). Attached-algal abundance altered by individual and combined treatments of zinc and pH. Environ. Toxicol. Chem. vol. 7. 723-733 p.
- González-González J. (1992). Flora Ficológica de México, concepciones y estrategias para la integración de una flora ficológica nacional. Ciencias. no. esp. 6.
- Guilbout, G. G. (1973). Practical fluorescence: Theory, methods and techniques. Marcel Dekker, Inc.; New York.
- Gupta, S. L. (1989). Interactive effects of nitrogen and copper on growth of cyanobacterium *Microcystis*. Bull. environ. Contam. Toxicol. vol. 42. 270-275.
- Inchive, T. (1962). Circulation and water mass distribution in the Gulf of México. Geofisica International. vol. 2. 4776 p.
- Kahlsico. (1984). Instruction manual of potable Induction Salinometer. Cat. No. 118WB200. Ed. Kahl Scientific Instrument Corporation; San Diego Cal. 45 p.
- Klerks P. L. y Weis J. S. (1987). Genetic adaptation to heavy metals in aquatic organism A review. Environ. pollut. 45. 173-205 p.
- Kusk K. O. y Nyholm N. (1992). Toxic effects of chlorinated organic compounds and potassium dichromate on growth rate and photosynthesis of marine phytoplankton. Chemosphere no. 25. 875-886 p.
- Kuwabara J. S., Davis J.A. y Chang C. C. Y. (1986). Algal growth response to particle bound orthophosphate and zinc. limnol. Oceanogr. no. 31. 503-511 p.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Lakowicz J. R. (1983). Principles of fluorescence spectroscopy. Ed. Plenum Press; New York.
- Landis W. G. (1986). Resource competition modeling of the impacts of xenobiotics on biological communities. In "Aquatic Toxicology and Environmental Fate". Eds. T. M. Poston and R. Purdy., vol. 9. Philadelphia. 55-72 p.
- Lara Viilla A. M. (1996). Fitoplancton. conceptos básicos y términos de laboratorio. UAM-I. México.
- Laube U., Ramamoorthy D. y Kushner J. (1979). Mobilization and accumulation of sediment bound heavy metals by algae. Bull Environm. Contam. Toxicol. vol. 21. 763-770 p.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y disposiciones complementarias. (1994). Colección Porrua. 10 ed. México. 682 p.
- Licea S. y Santoyo H. (1991). Algunas características ecológicas el fitoplancton de la región central de la Bahía de Campeche. An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. vol. 18 no. 2. 157-167 p.
- Macfie S. M., Tarmohamed Y. y Pamperl M. A. (1994). Phytoplankton community assessments of seven southeast cooling reservoirs. Water Res. vol. 28. 665-673 p.
- Mackay G. D., Mc Lean A. Y., Betancourt O. J. y Johnson B. D. (1973). The formation of water-in-oil emulsions subsequent to an oil spill. J. Inst. Petrol. vol. 59. no. 568. 164-172 p.
- Marshall P. R. y Sneddon J. (1991) A simultaneous multielement flame atomic absorption study for the removal of lead, zinc and copper by an algal biomass J. Environ. Sci. Health, Part A A28. 1483-1493 p.
- Meyers P. A. y Quin J.P. (1973). Association of hydrocarbons in subsurface brines. Chemical Geology. vol. 4. 225-233 p.
- Michnowicz C. J. y Weaks T. E. (1984). Effects of pH on toxicity of As, Cr, Cu, Ni and Zn to *Selenastrum capricornutum* Print. Hidrobiologia vol. 118. 299-305 p.
- Mironov J. W. y Grosso A. (1990). The effects on the growth of *Chlorella vulgaris* and its interactions with cadmium toxicity. Arch. Environ. Contam Toxicol. vol. 20. 505-508 p.
- Monreal M. A. Salas D. A. (1997). Circulación y estructura termohalina del Golfo de México, contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 183-199 p.
- Nyholm N. y Källqvist T. (1989). Methods for growth inhibition toxicity test with freshwater algae. Environ. Toxicol. Chem vol. 8. 689-703 p.
- Ortega M. M. (1984). Catálogo de aguas continentales recientes de México. Ed. UNAM. México D.F.
- Paez Osuna F. (1996). Fuentes de metales en la zona costera marina. 297-308 p. en A.V: Botello et. al. Golfo de México e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche EPOMEX Serie Científica. 566 p.
- Parent L. y Cambell P. G. C. (1994). Aluminum bioavailability to the green alga *Chlorolla pyrenoidosa* in acidified synthetic soft water. Environ. Toxicol. Chem. vol. 13. 587-598 p.
- Patrick R. (1978). Effects of trace metals in the aquatic ecosystem. Am. Sci 66. 185-191 p.
- Pawlik B. y Skowronski T. (1994). Transport and Toxicity of cadmium: Its regulation in the cyanobacterium *cynochocystis aquatilis*. Environ. Exp. Bot. no. 34. 225-233 p.
- Perkin Elmer. (1976). Analytical methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Ed. Perkin Elmer.
- Peterson H. G., Healey F. P. y Wagemann R. (1984). Metal toxicity to algae: A highly pH dependent phenomenon.

Pulich W. M. Winters K. y Van B. C.. (1974). The effects of a no. 2 fuel oil and two crude oils on the growth and photosynthesis of microalgae. mar. biol. vol. 28. 87-94 p.

Rai L. C., Gaur J. P. y Kumar H. D. (1981). Phycology and heavy-metal pollution. Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. vol 56. 99-151 p.

Raymond J. E. G. (1980). Plankton and productivity in the oceans. 2ª edición, Vol 1. Phytoplankton. Ed. Pergamon Press; England.

Ramos A. y Salazar F. (1990). Uso potencial de los cultivos de microalgas. en De la Lanza E G. y J. L. Arredondo (eds). La acuicultura: de los conceptos a la producción; México: UNAM.

Ransom M. y Doris. A. (1972). The American Midlan Naturalist, analyses of benthic community structure in a resevoir by use of diversity indices. Kansas State College, Emporia 6601 and Zoology Departament, Oklahoma State University, stillwater. 74074 p.

Reinke D. C. y DeNoyelles F. Jr. (1985). The species-specific effects of sublethal concentration of cadmium on freshwater phytoplankton communities in Canadian shield lake. Can. J. Bot. vol. 63. 1997-2003 p.

Reynolds C. S. (1983). The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge. University Press. vol 14. 111-142 p.

Rosenberg M. D. y V. H. Resh. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Ed. Chapman & Hall. New York.

Smayda (1977) Changes in RNA and protein syntesis associated withthe adaptation of *synechococcus sp.* Environ Exp. Bot. no. 33. 539-543 p.

Saint L., Pelleter R., Marsot E. y Fournier R. (1994). Distribution et effets du chloruree de tributylétain et de ses produits de dégradation sur la croissaice de l'algue marine Pavlova lutheri en culture continue. Water Res. vol. 28. 2533-2544 p.

Salas D. A. Monreal M. A. (1997). Mareas y circulación residual en el Golfo de México. Contribuciones a la oceanografía física en México Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana. 201-223 p.

Stata Corporation. (1996). Stata reference manual: Release 5.0 7th De. College Station. Texas.

Salgado U. I. H. (1992). El análisis exploratorio de datos biológicos. Marc Ediciones, FES Zaragoza. UNAM. México.

Sánchez O. (1992). Evaluación del efecto tóxico del plomo sobre los organismos integrantes de la cadena alimenticia artificial: *Ankistrodesmus falcatus*-Molina macrocapa-*Oreo chromis hornorum*. Tesis. ENCB IPN. México.

Secretaría de Pesca. (1990). Anuario estadístico de pesca 1988. Dirección General de Informática y Estadística. México.

Sedlacek J., Källqvist T. y Gjessing E. (1983). Efect of acuatic humus on uptake and toxicity of cadmium to *Selenastrum capricornotum* Printz In "Aquatic and terrestrial humic materials". Eds. R. F. Christman and E. T. Gjessing. 495-516 p.

Siegfred C. A. (1988). Planktonic indicators of lake acidification in the Adirondack Mountain region of New York state. Lake and Reservoir Management, vol. 4. no. 1. 115-121 p.

Skowronski T. (1986). Adsorption of cadmium on green microalga *Stichococcus bacillans*. Chemosphere 15. 69-76 p.

Sokal R. R. y Rolfh F. J. (1969). Biometria. principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. ed. Blume. Madrid 832 p.

Starodub M. E. (1987). Influence of complexation and pH individual and combined heavy metal toxicity to a freshwater green alga. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 44. 1173-1180 p.

Strickland J. D. y Pearson T. R. (1972). *A practical hand book of seawater analysis*: 2ª ed.; Fisheries Research Board of Canadá; Bulletin 67; Ottawa.

Stronkhorst J., Vos P. C. y Misdorp R. (1994). Trace metals, PBCs and PAHs in benthic (pipelic) diatoms from intrtidal sediments. *Apilot study. Bull. Environ. Contam. Toxicol.* vol. 52. 818-824 p.

Trégouboff G. (1957). *Manuel de Planctologie Méditerranéenne*. tomo II y II PNRNS; Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 940 p

Tubbing D. M. J., Admiral W., Cleven R. F. M. J. y Iqbal M. (1994). The contribution of complexed copper to the metabolic inhibition of algae and bacteria in synthetic media and river water. *Water Res.* vol. 28. 37-44 p.

Vázquez B. A. Benites R. L. y Zarate J. D. (1996). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental, diagnóstico y tendencias, serie EPOMEX, SEP -FOMES, Universidad Autonoma de Campeche. México. 566 p.

Vázquez B. A. (1979). Toxicidad por metales, en Vázquez B. A., Benites R. L. y Zarate J. D. (1996). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental. diagnóstico y tendencias. Serie EPOMEX, SEP -FOMES. Universidad Autonoma de Campeche. México. 566 p.

Villanueva S. y Vázquez B. A. (1998). Metal pollution in coastal areas of México *Rev. Environ Contam Toxicol.* vol 157. 53-94 p.

Vymazal J. (1984). Short-term uptake of heavy metals by periphyton algae. *Hidrobiologia.* vol. 119. 171-179 p.

Warren M. y Pulich. (1979). Effect of Mexican oil on phytoplakton and seagrass photosynthetic activity after short-time exposure. *Univ. Texas* 31-48 p.

Weitzel R. L. y Bates J. M. (1981). Assessment of effluent impacts through evaluation of periphyton diatom community structure. In "Ecological assesment of fluent impacts on communities of indigenous aquatic organisms". Eds. J. M. Bates and C. I. Weber. Philadelphia 545 p.

Williams J. P. (1978). Glycerolipids and fatt in acid of algae hanbook of pycological methods: physiological and biochemical methods. J.A. Hellenbust and J.S. Craigie (De.), Cambridge University Press. London. 730 p.

Winner R. W. y Owen H. A. (1991). Seasonal variability in the sensitivity of freshwater phytoplankton communities to a chronic copper stress. *Aquat. Toxicol.* 19. 73-88 p.

Wong P. T. S., Maguire R.J., Chau Y. K. y Kramar O. (1984). Uptake and acumulation of inorganic tin by freshwater alga, *Ankistrodesmus falcatus*. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 41. 1577-1574 p.

Wood J. M. y Wang H. F. (1985). Strategies for microbial resistance to heavy metals. In *Chemical processes in lakes"*. ed. V. Stumm, Wiley, New York. 81-98 p.

Xyländer M. y Brown. (1994). Influence of nickel on the green alga *Haematococcus lacustris* rostafinski in phases of its cycle. *J. Plant Physiol.* 144. 86-93 p.

Yamaji I. (1977). *Ilustraciones del plancton marino de japon*. Hoikusha Publishing Co. LTD.

Yáñez A. y Day J. W., Jr. (1988). *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del estado de México*. UNAM. México. 431-440 p.

Zobell, C. E. (1971). Sources and biodegradation of carcinogenic hidrocarbons. En *proceeding, joint conference on prevention and control of oil spill*. American Petroleum Institute, Washington. 441-445 p.

## ÍNDICE DE FIGURAS.

	PAG
Figura 1. Zona de estudio.-----	4
Figura 2. Circulación del Golfo de México.-----	5
Figura 3. Distribución de la diversidad fitoplanctónica durante la época de lluvias-----	14
Figura 4. Distribución de la diversidad fitoplanctónica durante la época de nortes-----	15
Figura 5. Distribución de la diversidad fitoplanctónica durante la época de secas-----	16
Figura 6. Distribución de la densidad fitoplanctónica durante la época de lluvias-----	17
Figura 7. Distribución de la densidad fitoplanctónica durante la época de nortes-----	18
Figura 8. Distribución de la densidad fitoplanctónica durante la época de secas-----	19
Figura 9. Prueba Olmstead-Tukey-----	23
Figura 10. Distribución de la biomasa fitoplanctónica durante la época de lluvias-----	24
Figura 11. Distribución de la biomasa fitoplanctónica durante la época de nortes-----	25
Figura 12. Distribución de la biomasa fitoplanctónica durante la época de secas-----	26
Figura 13. Distribución de hidrocarburos aromáticos durante la época de lluvias-----	28
Figura 14. Distribución de hidrocarburos aromáticos durante la época de nortes-----	29
Figura 15. Distribución de hidrocarburos aromáticos durante la época de secas-----	30
Figura 16. Distribución de níquel durante la época de lluvias-----	32
Figura 17. Distribución de níquel durante la época de nortes-----	33
Figura 18. Distribución de níquel durante la época de secas-----	33
Figura 19. Distribución de vanadio durante la época de lluvias-----	35
Figura 20. Distribución de vanadio durante la época de nortes-----	36
Figura 21. Distribución de vanadio durante la época de secas-----	37

## ÍNDICE DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Parámetros a determinar -----	9
Tabla 2. Agrupación de los taxa fitoplanctónicos por su abundancia y frecuencia.-----	11
Tabla 3. Análisis de correlación entre los parámetros biológicos y de los contaminantes	39

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	PAG.
Gráfica 1. Diversidad fitoplanctónica encontrada en cada temporada.-----	12
Gráfica 2. Densidades fitoplanctónicas encontradas en cada temporada.-----	20
Gráfica 3. Densidad fitoplanctónica encontrada en cada estación durante las épocas de lluvias, nortes y secas. -----	21
Gráfica 4. Comparación de la diversidad y densidad fitoplanctónica anual-----	22
Gráfica 5. Biomasa fitoplanctónica encontrada en cada temporada-----	27
Gráfica 6. Hidrocarburos aromáticos encontrados en cada estación durante la época de lluvias , nortes y secas.-----	31
Gráfica 7. Níquel encontrado en cada estación durante la época de lluvias , nortes y secas.-----	34
Gráfica 8. Vanadio encontrado en cada estación durante la época de lluvias , nortes y secas.-----	37
Gráfica 9. Comportamiento fisico-químico durante la época de lluvias-----	40
Gráfica 10. Comportamiento fisico-químico durante la época de nortes-----	41
Gráfica 11. Comportamiento fisico-químico durante la época de secas-----	41
Gráfica 12 Comportamiento nutrimentos durante la época de lluvias-----	43
Gráfica 13 Comportamiento nutrimentos durante la época de nortes-----	44
Gráfica 14 Comportamiento nutrimentos durante la época de secas-----	44