

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA**

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela de Biología



Productividad Primaria Fitoplanctónica del Estero  
de Celestún, Yucatán, durante el período  
Octubre 1983 - Abril 1984

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**BIOLOGO**

PRESENTA

**JORGE ALFREDO HERRERA SILVEIRA**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## CONTENIDO

RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
ANTECEDENTES.....	10
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO...	14
MATERIAL Y METODOS.....	17
RESULTADOS.....	22
DISCUSION.....	27
CONCLUSIONES.....	32
LITERATURA CITADA.....	34
TABLAS Y FIGURAS.....	38

## RESUMEN

El Estero de Celestún está situado en la porción noroccidental de la Península de Yucatán, en el Golfo de México. El estudio de la productividad primaria se efectuó usando el método de las botellas clara-oscurecida asociando sus resultados con los de las determinaciones de clorofilas y sus fluctuaciones con diversos parámetros ambientales. El Estero de Celestún es alargado y somero, quedando algunas regiones expuestas durante las mareas bajas. Debido a la naturaleza calcárea del suelo de la Península, el agua se filtra rápidamente hasta la capa freática, con lo cual los aportes permanentes de agua dulce al Estero ocurren por afloramiento. La productividad primaria neta varió de 20 a 375  $\mu\text{gC}/\text{m}^3/\text{día}$ , registrándose éstos últimos en la época de mayor precipitación (noviembre-diciembre) y hacia la boca del Estero. La topografía del fondo presenta un elevamiento marcado aproximadamente a los 6 Km de la comunicación con el mar, lo cual provoca una remoción permanente de los materiales depositados en el fondo por las corrientes de marea y en consecuencia una alta tasa de producción, ocurriendo lo contrario hacia la porción más interna del Estero. La concentración de clorofila-a varía de 1.5 a 7.8  $\mu\text{g}/\text{l}$  en una clara relación espacio-temporal con la productividad primaria, mientras que las variaciones en clorofila-b (0.15 a 2.8  $\mu\text{g}/\text{l}$ ) no muestra una estrecha relación. Las fluctuaciones de oxígeno disuelto (1.2 a 6.15  $\text{ml}/\text{l}$ ), de nitritos (0.3 a 1.02  $\mu\text{g-at N}/\text{l}$ ), de nitratos (1.3 a 9.3  $\mu\text{g-at N}/\text{l}$ ), de fosfatos (0.7 a 4.14  $\mu\text{g-at P}/\text{l}$ ), de amonio (1.8 a 7.0  $\mu\text{g-at N}/\text{l}$ ) y la turbidez mostraron una clara relación con las variaciones en espacio y tiempo de la producción primaria, no ocurriendo lo mismo con los silicatos (2.0 a 12.0  $\mu\text{g-at Si}/\text{l}$ ).

## INTRODUCCION.

En el mundo viene creciendo la necesidad de hacer un buen uso de los recursos naturales con los que cuenta cada país para mejorar el nivel de vida de la población. Los países que como México cuentan con litorales han emprendido intensos esfuerzos para que con estudios sistemáticos se planeé el desarrollo de estas zonas.

Dentro del ambiente costero existe un biotopo que cobra gran importancia por las características que presenta; son los cuerpos de agua con comunicación con el mar y que reciben aportes de agua dulce proveniente del drenaje terrestre, conocidos como Esteros, Lagunas Costeras, Marismas o Ciénegas. De éstos, las Lagunas Costeras han sido definidas como cuerpos de agua semicerrados los cuales tienen libre comunicación con el mar, dentro de los cuales se mezcla el agua de mar con agua dulce proveniente del drenaje terrestre (Fritchard, 1967). Esta unión o reunión de masas de agua de diferentes salinidades y propiedades trae como consecuencia que el medio ambiente estuarino sea más extremo y esté sometido a fluctuaciones más violentas que los habitats marinos o de agua dulce.

Los esteros son particularmente importantes para la utilización industrial, así como para la maricultura, actividades recreacionales, navegación, pesqueras y desarrollo portuario (Huro, 1975). En comparación con el mar con el cual están comunicados temporal o permanentemente, las lagunas costeras representan ecosistemas menos organizados que periódicamente ofrecen gran cantidad de alimento no consumido directamente en la propia laguna. Las lagunas costeras desde el punto de vista estrictamente ecológico, se consideran ambientes afines a los esteros, pero las primeras con menor tasa de renovación de

agua (Maragalef, 1969).

La zona costera de México, se extiende a 10,000 Km a lo largo de los bordes del Pacífico, Golfo de California, Golfo de México y Caribe, donde existen aproximadamente 125 lagunas costeras definidas como "zonas de depresión costera por debajo del nivel medio de las mareas más altas (MHHW) teniendo una comunicación permanente o efimera con el mar pero protegida de él por algún tipo de barrera" (Lankford, 1977).

Por lo que respecta a las características de los esteros, la más notable es la existencia de una mezcla física de aguas provenientes de tierra generalmente dulces con las del mar; pero también las características hidrológicas que provocan la acumulación y retención de los detritus y nutrientes disueltos pueden ser factores importantes en los casos de contaminación (Perkins, 1974).

Los esteros en México y en el resto del mundo, vienen asumiendo una creciente importancia por su potencial económico, de ahí la necesidad de manejar adecuadamente las zonas costeras. Ha quedado claramente definida la importancia de estos sistemas ecológicos en el caso del Golfo de México en donde se ha demostrado que el 25% de las especies que se capturaron tienen alguna vinculación con los esteros y en toda la República el 25% de la pesca nacional se efectúa en lagunas costeras, lo cual continúa en aumento (Arrequín-Sánchez, 1977).

Un importante aspecto ecológico que brinda información relevante y que se toma en cuenta para la diagnóstico de un sistema acuático, es la productividad primaria, ya que con él puede obtenerse una idea del potencial energético del cuerpo de agua. Sin embargo, en el dominio de la investigación, la estructura y funcionamiento de la cadena alimenticia no es perfectamente conocido, siendo el fitoplancton de particular importancia por ser la base de esta cadena, y en

consecuencia, de los mecanismos de producción de los océanos y zonas costeras (Gallegos, et. al., 1983).

Un factor relevante de los esteros es la salinidad, que es probablemente la característica más importante; amplias variaciones pueden ocurrir anualmente, temporal o periódicamente y esta característica puede variar con la profundidad y de un lugar a otro (Tait, 1961). Las considerables diferencias en la salinidad de superficie son causadas por variaciones en la cantidad de evaporación, la cantidad de precipitación y la influencia de agua proveniente del drenaje terrestre (Kalle, 1971). La salinidad de las lagunas litorales suele ser inferior a la del mar, pero en algunas es mayor temporal o permanentemente y en todos los casos está sometida a fluctuaciones más o menos amplias (Malone, 1982).

La síntesis de compuestos orgánicos a partir de constituyentes inorgánicos encontrados en el agua a causa de la actividad de los organismos se denomina producción (Lively, et. al., 1983). La productividad es una de las características más interesantes de las comunidades acuáticas (Margalef, 1974), y está dada por la cantidad de materia orgánica formada por los productores en un volumen dado de agua durante un tiempo determinado. De los grupos principales de organismos que contribuyen a la producción primaria como son los algas bentónicas y planctónicas, así como plantas vasculares sumergidas ó que se encuentran en los márgenes del estero, no se puede generalizar en cuanto a su contribución relativa pues su extrema variabilidad en cuanto a su morfología y fisiología hace poco válida la generalización, pues en todo uno habrá un grupo de productor que sea el dominante y ello dependerá de los características expuestas anteriormente. Sea cual fuese la magnitud de la productividad primaria, ésta depende de



factores bióticos y abióticos, los cuales fluctúan de manera regular en condiciones naturales (Ort, 1969; Corral, 1978)

Las lagunas costeras y esteros son un rasgo morfológico dominante en los ambientes neríticos de los trópicos y subtropicales. Sin embargo, la producción del fitoplancton de estos sistemas y su aportación a ecosistemas de mar adentro no está bien conocida (Komon, *et al.*, 1983).

Un conocimiento científico del mecanismo de producción, de los factores ambientales y de su variación así como el conocer la biología de las especies con posibilidades de adaptación a un nuevo medio ambiente y ecosistema específico, es esencial para incrementar el nivel de producción sobre una base sostenida. Las áreas costeras y sobre todo los esteros y lagunas costeras son áreas donde parece posible aplicar técnicas modernas de acuicultura y desarrollar nueva tecnología por medio de la cual el ecosistema puede ser puesto en un nivel más alto de producción (Vanucci, 1969). En maricultura muy a menudo se trata de cultivar animales y no algas, por lo cual la mera determinación de productividad no es suficiente aunque puede ser tomada como un índice de fertilidad, pues en principio se podría considerar que a mayor productividad primaria mayor productividad secundaria y así sucesivamente; sin embargo, algo que complica grandemente lo anterior, es que estamos tratando con un medio muy dinámico, además, las poblaciones de pastos marinos constituyen un mecanismo por el cual estos sistemas van desapareciendo por esolvamiento (Alvarez-Borrego y Borrego, 1976).

La producción fotosintética de nueva materia orgánica por comunidades del plancton es un proceso fundamental pues soporta los niveles superiores de la pirámide trófica y por último lo cosechado por

el hombre. Las mediciones de la tasa de productividad primaria concierne al interés científico básico como una propiedad fundamental de la riqueza de los ecosistemas acuáticos (Fisher, et. al., 1982). La productividad primaria dada por el fitoplancton se puede considerar como fertilidad relativo de un área y está definida como la materia orgánica producido por una comunidad de fitoplancton por unidad de área o volumen y por unidad de tiempo expresada en  $g$  o  $mgC/m^2$  o  $m^{-3}/hr$ , día o año (Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975).

Algunos de los materiales formados por el fitoplancton son llevados al estado inorgánico por ellos mismos en el curso del proceso de respiración. La parte restante queda como tejido del fitoplancton y se denomina productividad primaria neta, ésta es la fuente de mayor importancia alimenticia para los animales herbívoros y de la cual depende directa o indirectamente la población animal de los cuerpos de agua, entre ellos los esteros (Cole and Platt, 1983).

Los esteros como todos los ecosistemas son dependientes de las funciones de producción primaria, consumo primario y descomposición. Una razón factible para explicar la normalmente alta productividad estuarina, es probablemente la alta diversidad de algos. Como las condiciones del medio ambiente físico-químico cambian (lo cual ocurre continuamente en un estero) varias especies de fitoplancton tendrán condiciones cercanas al óptimo presentando altas tasas de productividad (Correl, 1978).

En torno a las propiedades físicas y químicas del agua, estas tienen influencia en las condiciones biológicas y geológicas de los cuerpos de agua (Postma, 1969). Es por ello que los Océanos abiertos son menos productivos por unidad de área que las aguas costeras, ya que los sedimentos, los nutrientes disueltos, la materia orgánica y las

bacterias que se encuentran en éstos últimos, son fácilmente recirculadas por las mareas y el viento resultando en un aumento de la producción orgánica. Básicamente son cuatro grupos de factores los que afectan a la producción orgánica total y son: radiación solar, propiedades físicas, químicas y biológicas de la columna de agua, sedimentos y la zona adyacente (Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975).

Por lo que respecta a la temperatura, los organismos fitoplanctónicos se reproducen con mayor rapidez en las regiones donde ésta es elevada, como son las zonas tropicales y subtropicales. Por esta misma condición dentro del intervalo óptimo de temperatura la fotosíntesis es una función directa de ella (Finenko, 1978).

Ahora bien por lo que respecta a la luz, la productividad queda regulada casi siempre por factores independientes de ella y el fitoplancton no utiliza más que una fracción de la luz disponible (Margalef, 1974). La fotosíntesis está limitada a la zona superficial del cuerpo de agua y la medida de la extinción útil de esta capa productiva es el nivel de compensación, el cual varía de acuerdo a la concentración de materia suspendida en el agua, y puede ser de origen orgánico o inorgánico, y de ello dependerá lo mayor o menor transparencia del agua (Jerlov, 1970).

Uno de los factores ecológicos más significativos que determina el desarrollo natural del fitoplancton y por ende el aumento de productividad primaria es la disponibilidad de minerales. Los compuestos de nitrógeno y fósforo juegan un papel importante ya que ellos participan en la regulación del metabolismo intracelular. El mantenimiento de la producción depende de la restauración de los nutrientes desde el fondo del estero o las capas superficiales por medio de corrientes verticales mezcladoras de agua (Cole and Cloern,

1984). Dentro de las sales nutrientes, los que presentan mayor importancia y que en un momento dado pueden transformarse en factores limitantes de la productividad primaria en un estero, son los nitratos y fosfatos. Sin embargo, éstas no son las únicas sales necesarias ya que depende en gran parte del metabolismo de los organismos y de sus requerimientos en particular (Day, 1977). En las lagunas costeras tropicales la tasa de renovación de nutrientes es mayor que en las lagunas templadas (Day and Yañez-Arancibia, 1982). Los procesos de incorporación de nitratos, amonio, y fosfatos en fitoplancton marino difieren en magnitud por la dependencia con la luz. Los procesos de fotosíntesis e incorporación de nutrientes difieren en sus respuestas a la luz (Nalewajko and Garside, 1983).

Otro limitante de la productividad primaria que hay que considerar se refiere a la concentración de clorofila-*a* en los organismos del fitoplancton. Sin embargo, es obvio que en una unidad de superficie no puede existir más clorofila activa que la cantidad de ella que basta para absorber prácticamente toda la luz (Margalef, 1974). Los valores bajos de la relación entre la actividad fotosintética y el contenido de clorofila en el plancton ocurre en latitudes altas mientras que los valores máximos prevalecen en regiones tropicales (Griffiths, *et. al.*, 1982). El plancton en el cual la mayor parte de su pigmento corresponde a la clorofila-*a*, es un fitoplancton muy productivo, en el cual probablemente predominan las diatomeas (Lara-Lara y Alvarez-Borrego, 1975). La concentración de clorofila-*a*, pretende ser utilizada como indicador de la producción orgánica bruta del fitoplancton; como en el caso de la zona Norte del Golfo de California que presenta variaciones de 0.05 mg/m<sup>-3</sup> a 30 mg/m<sup>-3</sup> en la capa superficial (Gendrop, *et. al.*, 1978).

Debido a que los cambios de marea son parte importante en lo dinámico de los esteros, tal como sucede con otros factores como temperatura y salinidad, ocasiona que los organismos que ahí habitan estén adaptados a éstas rápidas fluctuaciones; por ello el contenido de clorofilos podría ser una característica endógena del organismo, análogo a lo que sucede con los ciclos circadianos (GIBSON, 1982).

En el caso particular del Estero de Celestún, además de comportar los demás características generales de estos cuerpos de agua existen proyectos para dar impulso a la región incrementando las actividades tanto recreacionales mediante la creación de un polo turístico, como pesqueras mediante el desarrollo de la acuicultura. La consecuencia inmediata de estas acciones sería el establecimiento de asentamientos humanos que traen consigo desajustes y deterioro al ecosistema por el mal uso del medio ambiente. Por ello se ha hecho importante el conocimiento ecológico ordenado del estero para que de esta forma se tomen medidas adecuadas que permitan utilizarlo con el menor daño ecológico posible.

Por lo visto anteriormente, la diagnosis ecológica de este sistema tiene como importancia y es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo determinar la variación temporal de la productividad primaria fitoplanctónica del Estero de Celestún Yucatán durante el período de tiempo que abarca el ciclo lluvias (1983)- secas (1984) y la relación que guardan con ello factores físicos, químicos y biológicos.

## ANTCEDENTES.

Los esteros, lagunas costeras y bohíos en el mundo, representan un tipo de ecosistema susceptible de manejo, un ejemplo de ello es la obtención de bienes de consumo, lo cual en los últimos años ha preocupado a los países con litorales por presentarseles una opción más para solucionar problemas como el de la alimentación, que son de primer orden; por ello han venido desarrollándose trabajos para conocer las condiciones ecológicas de estos sistemas, principalmente con miras a establecer el potencial energético con el que cuentan estos cuerpos de agua.

No existen dos lagunas iguales aún cuando estén cerca una de otra, ya que aún partes de la misma difieren en sus condiciones, su fisiografía y factores ambientales y ésto afecta a los procesos biológicos (Vanucci, 1969).

Con lo que respecta a su origen, éste es variable ya que pueden ser el resultado de procesos biológicos, por la circulación y estratificación de las masas de agua y por el flujo energético (Odum, 1972). Para su clasificación existen gran variedad de opiniones. Un intento para ello ha sido el trabajo de Lanford (1977) sobre las lagunas costeras de México basándose fundamentalmente en el origen geológico de la depresión y a las características de la barra, colocando al Estero de Coestán en el grupo III-A que corresponde a las características siguientes: La barrera formada en la parte interna de la plataforma continental deja depresiones inundadas en el margen interno de la misma, bordeado por la superficie de la tierra en su margen interno y protegida del mar por varias barreras de arena producidas por las corrientes y el oleaje. La orientación del eje mayor

es paralelo a la costa. La batimetría es típicamente somera excepto en los canales erosionados; las modificaciones son debidas principalmente a los procesos de la zona litoral incluyendo vientos, la actividad de los huracanes y la localización de los sedimentos terrígenos. presenta barreras extensas de arena ocasionalmente múltiples el desague es ausente o muy localizado, la forma y batimetría es modificada por la acción de las mareas, oleajes fuertes, tormentas de arena y localmente por corrientes, las cuales tienden a segmentar las lagunas costeras. La energía es típicamente baja excepto en los canales de marea durante condiciones de tormenta, la salinidad es variable dependiendo del ciclo de lluvias de la zona. Ahora bien, la forma básica de una laguna costera con barrera de arena, es regularmente con su eje mayor paralelo a la costa. El número y tamaño de entornos que tenga está en función de la actividad del agua que fluye através de ella y esta a su vez del área, amplitud y frecuencia de marea y el flujo de agua dulce. Los canales más profundos se presentan en este tipo de lagunas costeras característicamente adyacente a la barra de la laguna. Los ciclos de marea, la mezcla o intercambio de agua, los procesos de sedimentación, distribución y deposición; así como la producción orgánica son de considerable interés en Oceanografía y disciplinas relacionadas, ya que muchos de estos sistemas vienen a ser depósito de desechos para muchas regiones habitadas e industriales, por lo que es necesario entender su dinámica física y biológica antes y después de sufrir algún impacto (Phleger, 1969).

En la Laguna de Términos ubicada en la región tropical en el Golfo de México, al igual que el Estero de Celestún, la temperatura no influye grandemente en la productividad fitoplanctónica y este patrón difiere de los que se presentan en latitudes mayores donde la

temperatura ambiental del agua varía significativamente durante la sucesión de estaciones y así ésta viene a ser limitante para la productividad primaria durante el invierno; por otra parte en todas sus estaciones de muestreo se presenta un marcado decremento en la salinidad durante la estación de lluvias (septiembre-diciembre), y mayores salinidades fueron encontradas al final de la época seca. Este modelo está bien correlacionado con la precipitación y el derrame terrestre, además presenta alta turbidez durante los meses de diciembre y enero que corresponden al final de la época de lluvias cuando las salinidades bajan, asimismo hay una rápida incorporación de nutrientes por los pastos marinos, probablemente creando condiciones limitantes para el fitoplancton y reduciendo la productividad en la columna de agua. Dentro de los parámetros biológicos de la Laguna de Términos, el promedio de clorofila-a mostró un patrón temporal presentando una relación inversa significativa entre la salinidad y las lecturas de Secchi, siendo mayor la concentración de clorofila-a al final de la época de lluvias (noviembre-diciembre) y menor al final de la época seca (abril-mayo), con una productividad fitoplanctónica de 217  $\mu\text{gC}/\text{m}^3/\text{hr}$  (Dey, 1982).

En el caso de la Bahía Escuintla en Florida, la variación anual de salinidad a lo largo de un transecto se correlaciona positivamente con la columna de agua que contiene clorofilas y partículas de carbono inorgánico, sin embargo la baja productividad primaria (36 a 127  $\mu\text{gC}/\text{m}^3/\text{día}$ ) en la columna de agua no es sorprendente y es probablemente típico de aguas neríticas tropicales y subtropicales someras; lo cual está en contraste con la alta producción de pastos marinos que ocurren en aguas claras de esta zona (Roman, *et. al.*, 1983).



Para el caso de Bahía San Quintín, la cual está ubicada en una región subtropical del Pacífico Mexicano, la incorporación de compuestos de nitrógeno y fósforo por pastos marinos aparentemente influye en la distribución espacial de nutrientes. En ella la remineralización de los nutrientes de los sedimentos y el efecto de turbulencia inducido por corrientes de marea y vientos, incrementa su concentración en el interior de la Bahía; la productividad primaria decrece de la boca al interior de la misma manera que lo hacen las clorofilas. Debido a que la Bahía es somera y la turbidez es causada por corrientes de marea no existen gradientes verticales; asimismo, Millón-Ñuñez, et. al., (1982) reportan que la productividad primaria fué siempre alta con un intervalo de 27 a 648  $\text{mgC/m}^3/\text{día}$ .

En el caso de la laguna costera tropical de Conocoio en el Estado de São Paulo, Brasil, adyacente a una zona de manglares (condición que presenta el Estero de Celestín) los valores de productividad primaria van de 11 a 97  $\text{mgC/m}^3/\text{hr}$  (Tundisi, 1969).

Por lo que respecta al conocimiento del Estero de Celestín existe solo un estudio encaminado a conocer las condiciones bacteriológicas de la columna de agua, llegando a la conclusión de que la calidad del agua es bastante buena ya que presenta menos de 200 coliformes fecales por ml en el 100% de los muestros tomados durante la época en la cual las condiciones hidrográficas se presentaban mas favorables para la contaminación (Ayala, 1982).

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

El Estero de Celestún esta localizado en la punta Noroeste de la Península de Yucatán, entre el Municipio de Celestún Estado de Yucatán y el Municipio de Calkiní Estado de Campeche entre los paralelos  $20^{\circ} 45' 00''$  y  $20^{\circ} 58' 00''$  de latitud Norte y los meridianos  $90^{\circ} 15' 00''$  y  $90^{\circ} 25' 00''$  longitud Oeste. Tiene una extensión de aproximadamente 20.8 Km, 1.5 Km en su parte más ancha y 400 mt en su parte más angosta. El área aproximada del Estero es de 31 Km cruzado en su parte media por un puente que comunica el Puerto de Celestún con la carretera a Mérida. La comunicación de este sistema con el Golfo de México es através de una boca situada en la parte más al Sur del Estero. Su forma es rectangular alargada con orientación Noreste-Suroeste (Fig. 1). El Estero es largo y somero, presenta un canal que lo recorre a todo lo largo con profundidades que van de los 3.5 m hacia la boca a los 0.50 m hacia la parte interna con promedio de 1.5 m, el cual es la zona navegable del Estero y a los bordes de este se extienden las zonas más someras que durante la marea baja quedan expuestas y los cuales se encuentran tapizados de pastos marinos que están ampliamente distribuidos a lo largo del mismo, los cuales son utilizados por aves que habitan el Estero como zonas de alimentación y descanso, además de que contribuyen de manera importante a la remineralización de los nutrientes.

El suelo en la región es caliza-carstíco con terrenos pobres para las actividades agrícolas, la característica de estar situado en una región con suelo calcáreo es de marcada importancia y le brinda un grupo de particularidades al Estero y a la región tales como; fácil lixiviación del terreno y rápido filtrado del agua proveniente de la

precipitación hasta la capa freática, ya que la misma particularidad de lo que se hace mención es la razón principal de la carencia de ríos y de la presencia de los característicos cenotes de la región. El agua filtrada y los materiales lixiviados del suelo vienen a encontrar la superficie nuevamente por afloramientos del monto freático en forma de los llamados ojos de agua que se encuentran en los bordes del Estero, en el Estero mismo y en la zona costera adyacente a la playa. De esto podemos deducir que los aportes de agua dulce que recibe el Estero son por precipitación y por medio de estos ojos de agua.

Como ya se mencionó antes, la pobreza de los suelos y la carencia de actividades agrícolas en la región, trae como consecuencia que el suministro de nutrientes por el drenaje terrestre sea relativamente pobre.

La vegetación en la región es de tipo matorral espinoso con plantas carnosas y pastizal, el Estero se encuentra bordeado por vegetación de manglar que retienen y aportan gran cantidad de materia orgánica a los aguas del mismo.

El clima de la región en la cual se encuentra situado el Estero de Celestún es caliente semi-seco con régimen de lluvias de Verano con precipitación media anual de 75 mm, presentándose una precipitación media máximo mensual de 180 mm en los meses de junio y agosto y uno mínimo mensual de 0 mm durante los meses de febrero o abril (Anónimo, 1984). Esta característica cobra gran importancia en la zona de estudio ya que por estar localizado en la región tropical donde las temperaturas son poco variables solo son apreciables las estaciones seco y de lluvia.

Por lo que respecta a sus recursos, entre los más importantes están: Lutjanus griseus (pergo), Lutjanus analis (pergo), Colomes

pennotula (mojarra), Archosaurus probatocephalus (corgo), Logodon  
rhomboides (corgo), Eucinostomus gula (mojarrita), Haemulon plumieri  
(ronco), Orthopristis chrysopterus (corcovado), Anisopterus  
sarawakensis (pez burro), Bethus ocellatus (lenquedo), Anchoa  
lamprataensis (anchoa), Bardiello chrysurus (corvino); Crustáceos:  
Callinectes sapidus (jaiba), Callinectes danae (jaiba), Panopeus  
duorarum (camaron rosado); y Moluscos: Crasostrea chizophorae (ostión  
de mangle), Melongena melongena (chivita); entre otros (Ayala, 1982).

## MATERIAL Y METODOS.

Por lo que respecto al período y frecuencia de las observaciones el criterio seguido obedece al hecho de que en la región las condiciones meteorológicas son bastante estables donde solo son significativos las épocas de lluvias y secas (Anónimo, 1984).

El presente trabajo corresponde al ciclo lluvias-secas con base en muestreos bimensuales, iniciándose en el mes de octubre de 1983 y finalizando los mismos el mes de abril de 1984. De esta forma se obtuvieron cuatro muestreos estando comprendidos dos en la época de lluvias y otros dos en la temporada seca.

El trabajo de campo incluyó observaciones en ocho estaciones a lo largo del estero (Fig. 1), cinco de ellas localizadas en la zona sur y tres en la zona norte que es muy somera y con pocas variaciones en lo que respecta a corrientes y nivel de mareas. Las estaciones estuvieron separadas una de otra de 2 a 2.5 Km, estando todas ellas situadas sobre el canal.

Para el transporte dentro del área de muestreo, se contó con una embarcación de 10 pies de eslora, equipada con motor fuera de borda.

Todas las muestras obtenidas para la determinación de parámetros se tomaron a nivel superficial. Las muestras para la determinación de parámetros químicos y biológicos, se obtuvieron con una botella tipo Van Horn de 2 lt de capacidad; las muestras se preservaron en hielo hasta su procesamiento en el laboratorio lo cual se hizo a la mayor brevedad posible para evitar alteraciones y como consecuencia sesgos en las estimaciones.

Para la determinación de la temperatura se usó un termómetro

laylor de cubeta con escala de 10 a 110°C; para la salinidad se utilizó un refractómetro American Optical de temperatura compensada con aproximación de 0.5 partes por mil, y para la transparencia se empleó el disco de Secchi.

Para la estimación de la productividad primaria se usó la técnica y ecuaciones del método de las botellas clara-oscuro descrito por Strickland y Parsons (1972). Este método consiste en encerrar una muestra de agua conteniendo una población natural en botellas de vidrio y exponer las botellas a la misma profundidad de la que fueron extraídas durante un período de tiempo determinado al cual se le denomina tiempo de incubación; para el presente trabajo esto se realizó 'in situ' y la duración de lo mismo se estandarizó en 2 hr, después de éste tiempo las muestras se fijaron con sulfato manganeso y álcali yoduro para su posterior determinación de O-2 disuelto por la modificación yodométrica del método de Winkler. La disminución de O-2 en la botella oscuro indica la cantidad de respiración llevada a cabo por los organismos en el agua, en tanto que el cambio de O-2 en la botella clara refleja el resultado neto del O-2 consumido por la respiración y del O-2 producido por fotosíntesis y sustrayendo la concentración final de O-2 en la botella oscuro de la concentración en la botella clara obtenemos una aproximación de la productividad bruta durante el período de incubación puesto que el O-2 liberado es proporcional a la materia orgánica producida.

Para la determinación de oxígeno se usó el muestreador Winkler y la técnica fue la modificación yodométrica del método de Winkler (Strickland and Parsons, 1972), basado en la titulación con tiosulfato de sodio de una cantidad de yodo equivalente al contenido de O-2 en la muestra de agua en presencia de un indicador de almidón.

Los análisis biológicos consistieron en la medición de pigmentos fotosintéticos; la extracción de los mismos se llevó a cabo por la técnica de la acetona (Strickland and Parsons, 1972), la cual se basa en las características espectrales de los pigmentos contenidos en los organismos fotosintetizadores los cuales son retenidos por medio de un filtrado usando un equipo Millipore y filtros de celulosa con tamaño de poro de 0.45 micras; el volumen en este caso varió de 500 ml a 750 ml dependiendo del estado de saturación del filtro; posteriormente estos pigmentos fueron extraídos de las células con acetona al 20% y su absorbancia leída en el espectrofotómetro. Las ecuaciones utilizadas para la estimación de clorofilas fueron las propuestas por Gónzimo, (1966) que son:

Para clorofila-a:  $C = 11.64 (E-663) - 2.16 (E-645) + 0.10 (E-630)$ .

Para clorofila-b:  $C = -3.94 (E-663) + 20.91 (E-645) - 3.66 (E-630)$ .

Donde,

E 663= Absorbancia de la muestra a 663 nm

E 645= Absorbancia de la muestra a 645 nm

E 630= Absorbancia de la muestra a 630 nm

$Y \text{ mg pigmento/m}^{-3} = C/V$  donde V= Volumen de agua filtrado en l.

El volumen de agua filtrada se utilizó para los análisis químicos en los cuales se midieron los siguientes nutrientes; Fosfatos (PO-4), Nitratos (NO-3), Nitritos (NO-2) y amonio (NH-4) con las técnicas espectrofotométricas standard reactivo descritas en Strickland y

Parsons (1972), utilizando un espectrofotómetro PYE UNICAM SF-550 UV/VIS.

Los determinaciones de NO-3 y NO-2 estan basados en convertir a estos últimos en compuestos coloreados azoicos por lo que a los NO-3 hay que reducirlos previamente a NO-2 haciéndolos pasar por columnas de Cadmio previamente tratadas con Cobre. Los NO-2 presentes son diazotirodos por medio de la sulfanilamido y el colorante azoico producido por la unión con N-1 naftil-etilendiamina es leído a una absorbanacia de 543 nm.

Por lo que respecta al amonio la determinación esta basada en la reacción con hipoclorito de sodio en presencia de fenol formando una monocloroamido y después un compuesto azul de indofenol en un medio alcalino al que se lee su absorbanacia a 640 nm.

Por otra parte, la reacción de fosfatos esta basada en la reacción de estos con el molibdato de amonio en un medio ácido continuando con una reducción del ácido fosfomolibdico a un complejo azul que es leído al espectrofotómetro a 885 nm de absorbanacia.

Al igual que los anteriores técnicas, la de silicatos (SiO-3) es espectrofotométrica, utilizándose la descrita por Contreras (1984) utilizando la curva de calibracion de Strickland y Parsons (1972). La diferencia se basa en la utilización del molibdato de amonio en lugar de fenol, ya que ambos se fundamentan en la formación de ácido beta-silicomolibdico cuando la muestra es tratada con un reactivo acidificado de molibdato formando un complejo de color amarillo el cual se le mide su absorbanacia a 885 nm; la técnica utilizada tiene justificación en cuanto a los principios químicos que rigen en el agua de mar (Vazquez, com. pers.).

Por lo que respecta a los datos que fueron obtenidos de estos



análisis se construyeron gráficos donde se muestra su variación espacio-temporal.

En las primeras dos estaciones del muestreo correspondiente al mes de octubre no pudieron tomarse registros debido a fallos técnicos asociadas con el estado del tiempo.

## RESULTADOS.

Todos los datos registrados se resumen en los Tablas 1 a 4 que corresponden a los muestreos efectuados en los meses de octubre y diciembre de 1983 y febrero y abril de 1984.

### Factores Físico-Químicos:

Profundidad: La figura 2 presenta un perfil de profundidad con valores registrados en cada estación, en ella puede apreciarse que las zonas más someras del estero le corresponden a la parte más interna del mismo en la cual la laguna tiende a desaparecer por asolvamiento; ahí encontramos profundidades que van de 0.65 m a 0.85 m. Por otro parte, la zona más profunda le corresponde a la estación 6 con profundidades de hasta 2.70 m. Se puede apreciar el valle localizado entre las estaciones 5 y 7.

Temperatura: La temperatura promedio superficial del agua para las ocho estaciones varió escaramente através del ciclo de muestreos presentandose la más baja en el mes de febrero con valor de 22.6°C, y el más alto en el mes de abril con valor de 30.7°C. Los valores máximos fueron obtenidos en las estaciones 5 y 6 del muestreo de abril con temperatura de 32.5°C y el valor mínimo fué registrado en la estación 8 del muestreo realizado en febrero con 22°C. La figura 3 muestra la variación espacio temporal de temperatura superficial del agua, observándose ligera estratificación al final y principio del período de muestreo. No se distingue ningún gradiente relacionado con la época de lluvias y principio de secas, estando homogéneamente distribuida la temperatura a lo largo del estero.

Salinidad: Todas las estaciones mostraron un marcado decremento en la salinidad durante la temporada de lluvias y valores altos al final de

la época de secas. Este modelo se correlaciono positivamente con la precipitación y drenaje terrestre. Las salinidades mayores fueron obtenidas en la estación 8 que corresponde a la boca del estero, donde hubo variaciones de 25 partes por mil a 39 partes por mil. Las salinidades más bajas se registraron en las estaciones 1, 2 y 3 que corresponden a la parte más interna del estero con variaciones de 10 a 20 partes por mil. En la Figura 4 se presento la variación espacio-temporal de este parámetro, en el cual se puede observar el doble gradiente, tanto estacional como temporal que presenta el estero, haciendose más notoria esta, al final de los períodos de lluvias y secas.

Turbidez: Las lecturas del disco de Secchi variaron temporalmente siguiendo el patrón de lluvias. Las lecturas menores que corresponden a la alta turbidez, se presentaron durante el mes de diciembre cuando finaliza lo temporado de lluvias y la salinidad es baja. Esto es debido al aporte de agua dulce por precipitación y por los ojos de agua; además se debe hacer notar el efecto de los factores meteorológicos, pues en la época de diciembre a febrero es cuando ocurren con mayor frecuencia los temporales denominados "Nortes" que junto con los factores ya mencionados, provocan la remoción de los sedimentos del estero. No existen amplias diferencias entre la lectura de los diferentes estaciones. La turbidez fué siempre mayor a lo entrada del estero donde las lecturas variaron de 0.30 m a 0.50 m. La más alta variación se presentó en la estación 6 donde las lecturas del disco de Secchi presentaron variaciones de 0.40 m a 0.90 m (Fig. 5).

Oxígeno Disuelto: La figura 6 muestra que los valores de oxígeno disuelto fueron significativamente mayores en el mes de diciembre y en las estaciones cercanas a la boca, mientras que fueron menores en las

meses de febrero y abril. Los valores más altos fueron registrados en diciembre, con el máximo de 6.16 ml/l correspondiente a la estación 8. Asimismo, las más bajas fueron registradas en abril en la estación 2 con valor de 1.2 ml/l. La estratificación horizontal de oxígeno se hace evidente al final de la época seca.

Nitritos: Existe un cierto gradiente de nitritos que va aumentando hacia la boca del estero durante la temporada seca, siendo mas evidente en la parte más interna del estero como lo muestra la Figura 7. Los valores máximos se encuentran durante la temporada de lluvias en la estación 6 con variaciones de 0.80 a 1.02 ug-at N/l, y los valores menores al principio de la época seca en la estación 2 con un valor de 0.30 ug-at N/l.

Nitratos: Los registros de nitratos fueron significativamente mayores en los meses de octubre y diciembre con valores máximos de 9.3 ug-at N/l en las estaciones 7 y 8 en la parte más interna del estero. Los valores mínimos se obtuvieron hacia la boca en la estación 2 durante el mes de febrero con un valor de 1.3 ug-at N/l. La figura 8 muestra el gradiente horizontal que existe de este nutriente tanto en la época de lluvias como en la seca mostrando además que la entrada de agua marina es un factor importante asociado a las altas concentraciones. La limitada circulación de aguas en la parte interna del estero durante la época seca es un factor que determina las bajas concentraciones de esta zona. Además la abundancia de pastos marinos (Zostera marina y Ruppia maritima) en esta zona y la retención de sedimentos son aspectos que afectan inversamente la disponibilidad de nutrientes en la columna de agua.

Amonio: La Figura 9 muestra que no existe un gradiente de variación horizontal de las concentraciones de amonio a lo largo del estero. Lo

que es significativa es la variación estacional, observándose un aumento en la concentración de amonio al final de la época seca. El mayor valor fué registrado en la parte más interna del estero correspondiente al mes de abril con valores de 7.0  $\mu\text{g-at N/l}$  y los valores menores los encontramos en la boca del estero en el mes de octubre con una concentración de 1.8  $\mu\text{g-at N/l}$ .

**Silicatos:** Los valores de silicatos fueron significativamente mayores en los meses de octubre y diciembre con valores de 12  $\mu\text{g-at Si/l}$  en la estación 8 hacia la parte interna del estero. Los valores mínimos se registraron en las estaciones 1 y 2 hacia la boca durante el mes de abril con valor de 2.0  $\mu\text{g-at Si/l}$ . La Figura 10 muestra la existencia de un gradiente estacional en la estratificación horizontal de la concentración de silicatos, ya que sus valores van disminuyendo al transcurrir el período de muestreo y hacia el interior del estero.

**Fosfatos:** Los valores de concentración de fosfatos tienen relación directa con el ciclo de lluvias-secas y con los aportes de agua marina como se muestra en la Figura 11. Los mayores concentraciones se obtuvieron en diciembre con valores de 4.14  $\mu\text{g-at P/l}$  en la estación 7 y el valor más bajo de 0.7  $\mu\text{g-at P/l}$  en la estación 1 en el mes de abril.

#### Factores Biológicos:

**Clorofila-a:** Las concentraciones promedio de clorofila-a en los 8 estaciones mostraron un patrón temporal y espacial definido (Figura 12) presentándose siempre los valores mayores en las estaciones 4, 7 y 8 ubicadas hacia la boca del estero variando entre 6  $\text{mg/l}$  a 7.8  $\text{mg/l}$  con un máximo el mes de diciembre, mientras que las concentraciones menores se obtuvieron en las estaciones más internas del estero con valores mínimos en el mes de abril con 1.5  $\text{mg/l}$ . Las concentraciones mayores

presentan relación inversa con la salinidad y las lecturas del disco de Secchi, mientras que las concentraciones menores presentan relación directa con el oxígeno disuelto.

**Clorofila-b:** La Figura 13 presenta la variación espacio-temporal de la concentración de clorofila-b en la cual podemos observar que en período de secos no existe estratificación a lo largo del estero mientras que en el período de lluvias si se presenta, apreciándose una zona de mayor concentración correspondiente a las estaciones 5, 6 y 7 durante el mes de diciembre con variaciones de 0.15 a 0.28 mg/l, mientras que al final de la época seca encontramos una distribución homogénea en casi todo el estero con un valor de 0.8 mg/l.

**Productividad Primaria Neta:** La Figura 14 muestra el patrón de variación espacial y temporal de la productividad primaria neta, encontrándose un mayor gradiente en los meses de octubre y diciembre que corresponden a la época de lluvias que van de 315 a 325 mgC/m<sup>3</sup>/día, registrándose los valores más altos en las estaciones 6 y 7. Los valores más bajos se observaron en las tres primeras estaciones que corresponden a la zona interna del estero con variaciones de 70 a 80 mgC/m<sup>3</sup>/día, durante la época de secos.

## DISCUSION.

Es claro el patrón de comportamiento de la productividad a través del ciclo lluvias-secas donde se observa la relación directa que tiene con el régimen pluvial, junto con otros parámetros que también guardan esta correspondencia, ya que durante ambos períodos se observaron condiciones físico-químicas y biológicas características para cada época que definen comportamientos diferentes.

Otra condición que hay que hacer notar y que guarda estrecha relación con el comportamiento de diferentes parámetros, principalmente químicos, es el perfil batimétrico del estero.

El aporte principal de agua que alimenta al estero está dado por el océano adyacente, introduciendo agua marina; esto origina la formación de una corriente de marea que al entrar al estero y chocar la masa de agua con una pared física formada por el elevamiento topográfico que tiene el estero a partir de la estación 6 (Fig. 2), provoca la remoción de sedimentos y junto con ellos origina que los nutrientes estén disponibles en la columna de agua, de esta forma se crea un proceso de mezcla, permitiendo además una buena oxigenación del agua. En esta región del estero el agua desplazada cambia sus propiedades a causa de esta condición. La zona donde ocurre este fenómeno es la comprendida por las estaciones 5, 6, y 7, permitiendo un proceso de circulación, provocando que durante todo el período de muestreo se observen las mayores productividades gracias a la disponibilidad de nutrientes originado por la mezcla. Asimismo, se hace evidente que las bajas concentraciones de nutrientes en la columna de agua de las zonas más internas del estero son factores limitantes para la productividad de esta región debido a que esta porción del estero es

muy somero, con gran cantidad de vegetación que retiene los sedimentos, lo que limita la recirculación de agua y por tanto la remoción de nutrientes desde el fondo.

Por otro parte las altas densidades de pastos marinos contribuyen a que la laguna se vaya asolvando; además la rápida incorporación de nutrientes por parte de estos organismos provoca una disponibilidad limitada de nutrientes para los organismos fitoplanctónicos, un patrón similar es observado en la Laguna de Términos (Day, et. al., 1982).

No sólo la remoción de sedimentos es un importante suministro de nutrientes, sino también la materia orgánica acorreada a la laguna por drenaje terrestre de las regiones adyacentes a la misma, que es, en este caso una vegetación de manglar que durante la época de lluvias aporta importantes cantidades de materia orgánica al ser lavados sus suelos y llevado los materiales de lixiviación al estero; sin embargo este aporte no es de consumo inmediato pues necesita primero ser llevado al estado inorgánico por la acción de bacterias y hongos para hacerlos disponibles a los organismos fotosintetizadores. Las altas concentraciones de amonio proveniente de la excreción de los organismos fueron registrados en la parte interna del estero (Fig. 7), factor que sumado a lo escaso recirculación del agua que diluya los materiales de desecho, son causas que limitan la productividad de esta porción del estero.

En el caso de la concentración de oxígeno disuelto este tiene un patrón de comportamiento directo con la productividad (Fig. 15), ya que en las estaciones donde se encuentran concentraciones altas la productividad es mayor además de mantener la relación con el ciclo de lluvias y "Nortes". Los niveles de oxígeno disuelto se vieron afectados por la temperatura y salinidad, y por vientos que guardan una relación



estrecha con la actividad biológica a juzgar por las concentraciones de amonio principalmente en las estaciones 1, 2, y 3 (Fig. 15).

Respecto a los nutrientes tenemos que los  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , y  $\text{PO}_4^{3-}$  tienen relación directa evidente con la productividad (Fig. 15), es clara que estos elementos son aportados vía remoción de sedimentos y éstos a su vez afectados por los aportes de agua marina, ya que la zona de los ojos de agua correspondientes a la parte medio e interno del estero es bajo su concentración, siendo un factor limitante para el desarrollo del fitoplancton. Esto viene asociado a la carencia de actividades agrícolas en la región, pues en otras zonas los afluentes terrestres superficiales son los principales proveedores de estos elementos como en el caso de la Bahía Morlaix (Wafar, et. al., 1983) y Bahía Biscaina (Roman, 1983).

Los silicatos no fueron un factor limitante para la productividad, pues se encontraron a lo largo del estero y durante las dos estaciones en concentraciones adecuadas para el buen desarrollo de los organismos fotosintetizadores principalmente diatomeas Coote y Yost (1977), indican valores de 4 a 13  $\mu\text{g/L}$  como niveles de concentración de silicatos en las cuales se encuentran un buen desarrollo del fitoplancton. Lo que se hace pertinente poner de manifiesto es el patrón de variación espacial y temporal determinado por las condiciones meteorológicas, aumentando en el época de lluvia hacia la zona de la boca y decreciendo en la época seca hacia la parte interna del estero. Asimismo, se observó que este elemento es aportado principalmente vía marina como se observa en la Figure 10, que muestra un cierto gradiente a lo largo del estero y durante el período de muestreo.

Como era de esperar las concentraciones más altas de clorofila *a* se presentaron en la región de las estaciones 2 y 3 en la época de mayor

aporte pluvial y drenaje terrestre, además la condición topográfica de la laguna de la cual ya se se hizo mención vuelve a jugar un papel importante ya que el choque y recirculación de agua en esta zona crea condiciones favorables para el desarrollo de los fitoplanctones. Por lo que respecta a la concentración de clorofila-b estas son bajas y la relación con la productividad es inversa (Fig. 15), aunque durante la época de secas no existe un gradiente horizontal y esto puede estar dado por las condiciones ambientales más estables que se presenta durante ese período.

Un carácter significativo en el Estero de Celestún es la relación que tiene la productividad con la transparencia (Fig. 15), lo cual indica que en las zonas y temporada donde la turbidez es mayor existe mayor productividad primaria fitoplanctónica, por otra parte esto viene a confirmar la particularidad del mayor grado de remoción de sedimentos que tiene esta zona durante la temporada de lluvias y "Nortes", así como la estabilidad relativa que se presenta cuando las condiciones meteorológicas cambian como ocurre en el caso de la temporada seca ya que esta misma zona tiene las mayores lecturas de Secchi durante esta época. Las lecturas del disco de Secchi se ven afectados por vientos, olas y corrientes, lo que los hace variar ampliamente y aún cuando se describe un patrón generalizado se debe considerar que las mediciones fueron hechas en tiempos diferentes durante condiciones variables de marea.

Por lo que se refiere a la salinidad, la productividad aparentemente guarda una relación inversa con ella, lo cual es más claro al observar el gradiente horizontal que se muestra durante la temporada de lluvias, ya que en la época de secas aunque la salinidad es mayor la carencia de aportes de agua dulce y la alta evaporación que

existe por los altas temperaturas durante esta época lo hace menos evidente.

Por lo que respecto a la temperatura ésta no fué en ningún momento factor limitante, ya que en las regiones tropicales son más estables lo que no sucede en regiones de clima templado donde esta condición causa mayores variaciones de temperatura tanto del aire como del agua convirtiéndose este factor en limitante. Al igual que lo solinidad, la temperatura durante la época de secas no presenta ningún gradiente marcado a lo largo del estero observándose en esta época los valores más altos registrados. La temperatura superficial del agua mostró estrecha relación con el modelo de temperatura promedio del aire.

Un aspecto que hay que considerar es que en comparación con otras lagunas como son la Laguna de Términos y la Bahía Biscaina, el Estero de Celestún no cuenta con la presencia de aportes fluviales importantes además de una mayor recirculación de masas de agua, y sin embargo se presentan altas tasas de productividad primaria fitoplanctónica que van de 70 a 375 mgC/m<sup>3</sup>/día.

## CONCLUSIONES.

- 1) La productividad primaria del fitoplancton del Estero de Colectán presenta tasas relativamente altas para las condiciones ambientales en las que se encuentra ubicado, ya que su situación geológica y edafológica hacen pensar en condiciones poco favorables. La productividad siguió un comportamiento temporal y espacial característico durante el período de muestreo, ya que es mayor al final de la época de lluvias y en la zona cercana a la boca del estero y menor al final de la época seca y en la región interna del mismo.
- 2) La topografía del fondo del estero es una condición importante en la disponibilidad de nutrientes las cuales fueron factores que tuvieron relación directa con la productividad.
- 3) Las concentraciones de sales nutrientes como  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  presentaron concentraciones más altas en las zonas cercanas a la boca y por ello las altas tasas de productividad de esta región, siendo estos mismos factores limitantes para el desarrollo del fitoplancton en la zona interna del estero por la falta de renovación de los sedimentos, oxigenación y la alta densidad de pastos marinos que tienden a retenerlos incorporándolos al fondo.
- 4) La vegetación de manglar aporta grandes cantidades de materia orgánica a las aguas del estero durante la época de lluvias, la cual una vez que se degrada queda disponible en la columna de agua y por ende puede ser utilizada por el fitoplancton.
- 5) La disponibilidad de luz no es un factor que afecta el desarrollo del fitoplancton, pues no contribuye significativamente a los cambios estacionales de la productividad.
- 6) La salinidad del Estero de Colectán presenta relación inversa con el

ciclo de lluvios-secos además de un gradiente espacial, encontrándose los más altos registros en la boca y durante la época de secas y los menores en la región interna y en la época de lluvias por lo que podemos observar que presenta un comportamiento netamente estuarino.

7) Los gradientes temporales de 0-2 y Si0-3 no presentan ningún comportamiento significativo en relación con la productividad primaria.

## LITERATURA CITADA.

- Alvarez-Borrego S. y A. C. Barragan. (1976). Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahío San Quintín, B. C. Cienc. Mar. 3(1):51-61.
- Anónimo. (1966). Determination of photosynthetic pigments in sea water analysis. SCOR/UNESCO, Fish. Res. Board, Canada Bull. 122:1-311.
- Anónimo. (1984). Resumen anual de datos climatológicos del Municipio de Celestún, Yuc. Mex. S.A.R.H. Dirección de Hidrología. Repto. de Hidrometría Ofno. de Climatología. 1964-1984.
- Arreguín-Sánchez, F. (1977). Contribución al conocimiento de la Hidrobiología de las Lagunas de Mandinga, Veracruz, México. Tesis Profesional. Esc. Nal. Cienc. Biol. I.P.N. Mexico:125 pp.
- Ayala, J. (1982). Estudio de la contaminación por Coliformes fecales en el Estero de Celestún Yucatán. Previa al inicio de un cultivo ostrícola. Tesis Profesional. Fac. Química. Univ. de Yucatán, México. 60 pp.
- Cole, B. E., and J. F. Cloern. (1984). Significance of biomass and light availability to phytoplankton productivity in San Francisco Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser. 17:15-24.
- Contreras, F. E. (1984). Manual de Técnicas Hidrobiológicas U.A.M-Ixtopalapa, México, 194 pp
- Correl, L. B. (1978). Estuarine Productivity., Biol. Sea. 28(10):646-650.
- Coote, A. R., and P. A. Yeates. (1979). Distribution of nutrients in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 36:122-131.
- Côté, E. and T. Platt. (1983). Day-to-day variations in the spring-summer photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 28(2):320-344.

- Boy, J. W. (1977). Productivity and Nutrient export studies in a Cypress Swamp and System in Louisiana. Est. Process. 2:225-270.
- Boy, J. W., and Yañez-Arancibia, A. (1982). Coastal Lagoons and Estuarine Approach. Cienc. Interamer. 2(1-2):11-26.
- Boy, J. W. (1982). Primary Production in the Laguna de Términos, a tropical estuary in the Southern Gulf of México. Oceanol. Acta Proc. Intern. Symp. Coast. Lag. SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux France:269-276.
- Finenko, Z. Z. (1978). Production in Plant Population. In: Marine Ecology. Editor O. Kinne. Wiley and Sons. 4:13-71.
- Fisher, T.; R. Carbon and R. T. Barber. (1982). Carbon and Nitrogen Primary Productivity in three North Carolina Estuaries. Est. Coast. Shelf Sci. 15:621-644.
- Gallegos, C. L.; T. Platt; W. B. Harrison and B. Irwin. (1983). Photosynthetic parameters of Arctic marine phytoplankton: Vertical variations and time scales of adaptation. Limnol. Oceanogr. 28(4):699-708.
- Gendrop, F. V.; K. Acosta; y R. Schwartzlose. (1978). Distribución horizontal de clorofila-a durante la primavera en la parte Norte del Golfo de California. Cienc. Mar. 15(1):71-89.
- GLRORR. (1983). High frequency endogenous periodicities of chlorophyll synthesis in estuarine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 27(2):348-352.
- Griffiths, R. P.; R. A. Caldwell and R. V. Morita. (1982). Seasonal changes in microbial heterotrophic activity in Subarctic Marine waters as related to phytoplankton Primary Productivity. Mar Biol. 71:121-127.
- Jarlov, H. G. (1970). Light. In: Marine Ecology. Editor O. Kinne. Wiley

- and Sons. 1(1):95-125.
- Kalle, A. W. (1971). Oceans and Coastal Water as Life-Supporting environments, Mar. Ecol. 1(1):1-94.
- Lankford, R. F. (1977). Coastal lagoons of México, their origin and classification. Est. Process. Academic Press. 2:182-257.
- Lara-Lara, R., y S. Alvarez-Borrego. (1977). Ciclo anual de clorofilas y producción Orgánica Primaria en Bahía San Quintín, R. C. Cienc. Mar. 2(1):77-97.
- Lively, J. S.; Z. Kouffman and E. J. Carpenter. (1983). Phytoplankton Ecology of a Barrier Island Estuary, Great South Bay, New York. Est. Coast and Shelf Sci. 16:51-68.
- Malone, T. C. (1982). Phytoplankton photosynthesis and carbon-rich environment. Limnol. Oceanogr. 27(2):226-235.
- Margalef, R. (1969). Comunidades planctónicas en Logunas Costeras. Mem. Simp. Intern. Logunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967, México:545-562.
- Margalef, R. (1974). Ecología. Omega, España:937 pp.
- Millán-Núñez, R.; S. Alvarez-Borrego; and Nelson. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a Coastal Lagoons. Est. Coast. and Shelf Sci. 15:317-335.
- Moro, C. H. (1975). Origen y Transporte de Sedimentos en Estuarios. Cienc. Mar. 2(1):106-113.
- Nalecz-Joko, E.; and C. Garside. (1983). Methodological problems in the simultaneous assessment of photosynthesis and nutrient uptake in phytoplankton as function of light intensity and cell size. Limnol. Oceanogr. 28(3):591-597.
- Odum, E. (1972). Ecología. Interamericana:619 pp.



- Orr, A. P. (1969). The Fertile Sea. Fishing News Limited:107 pp.
- Parkins, F. P. (1969). The Biology of Estuaries and Coastal Waters. Academic Press, U.S.A. New York:667 pp.
- Phleger, F. P. (1969). Some general features of Coastal Lagoons. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967, México:5-26.
- Postma, H. (1969). Chemistry of Coastal Lagoons. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967, México:421-430.
- Pritchard, D. W. (1967). What is an Estuary: Physical view point. In: Estuaries; Lauff, G. H. Ed. Amer. Assoc. Adv. Sci. 82:3-5.
- Romon, H. R.; K. R. Reeve; and J. L. Frogatt. (1983). Carbon Production and Export from Biscayne Bay Florida I. Temporal Patterns in Primary Production Seston and Zooplankton., Est. Coast. Shelf Sci. 17:45-59.
- Strickland, J. D. and T. R. Parsons. (1972). A Practical Handbook of Sea Water Analysis. Fish. Res. Board, Canada Bull. 122:311 pp.
- Tait, R. V. (1981). Elements of Marine Ecology. Butter-Worths, Massachusetts, U.S.A.:349 pp.
- Tundisi, J. (1969). Plankton studies in Mangrove Environment-Its Biology and Primary Production. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras UNAM-UNESCO, Nov. 28-30, 1967. México:485-494.
- Vannucci, H. (1969). What in know about Production Potential of Coastal Lagoons. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO. Nov. 28-30, 1967. México:457-478.
- Wafer, N. V.; P. L. Corre and J. L. Birrien. (1973). Nutrients and Primary Production in Permanently Well-mixed temperate Coastal Water. Est. Coast. Shelf Sci. 17:431-446.

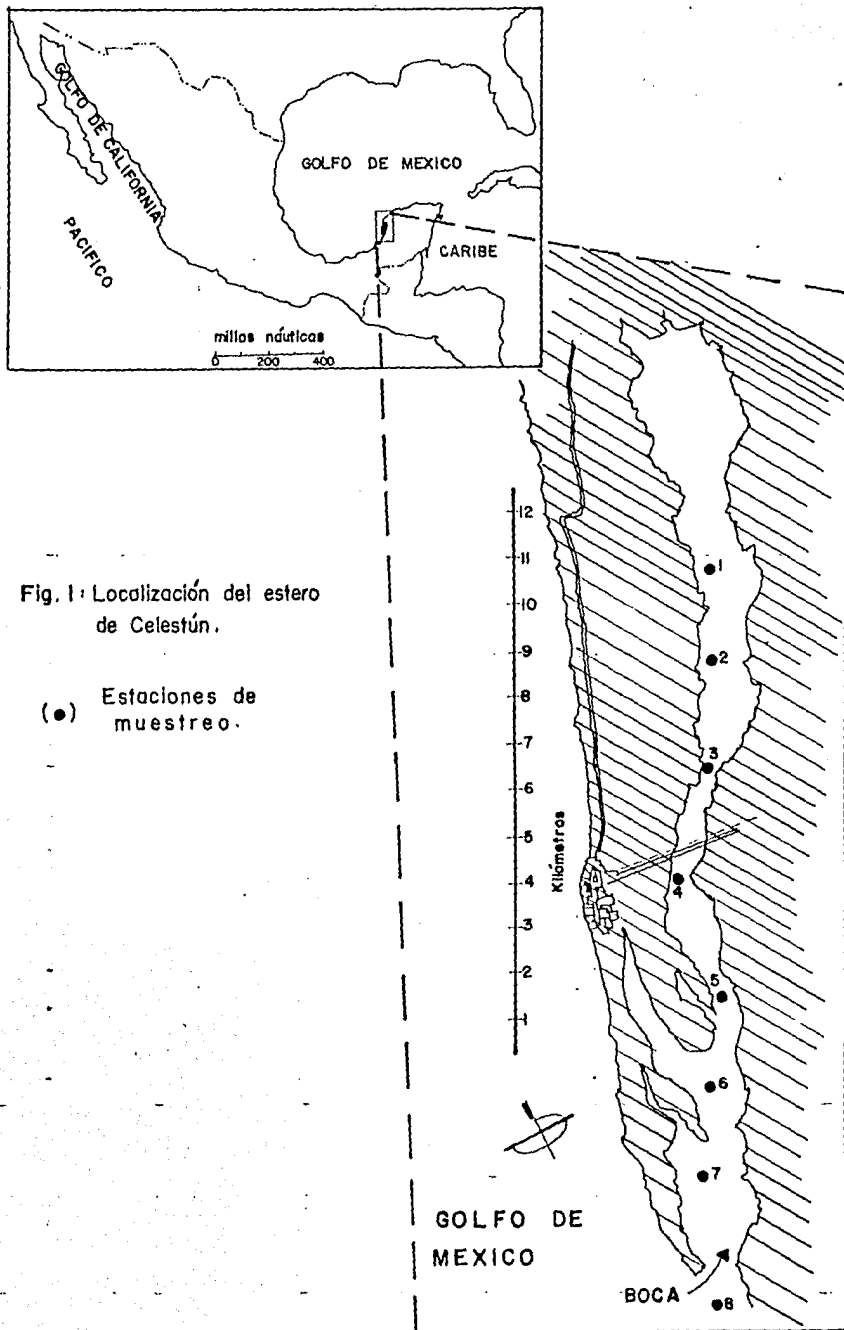


Fig. 1. Localización del estero de Celestún.

(●) Estaciones de muestreo.

Tabla 1: Registros obtenidos de los diferentes parámetros en las estaciones de muestreo durante el mes de Octubre de 1983.

PAR EST	T AGUA °C	SAL ‰	PROF mts.	TRAN mts.	O <sub>2</sub> ml/lit	NO <sub>2</sub> μg-atN/lit	NO <sub>3</sub> μg-atN/lit	NH <sub>4</sub> μg-atN/lit	Si O <sub>3</sub> μg-atSi/lit	PO <sub>4</sub> μg-atP/lit	Cl <sub>a</sub> mg/lit	Cl <sub>b</sub> mg/lit	P. N. mgC/m <sup>3</sup> lit
1													
2													
3	27	12	.90	.65	3.85	.64	5.0	3.0	9.1	.95	1.7	.42	176.4
4	27	12	1.10	.60	4.20	.78	5.3	3.0	10.0	1.12	2.5	.29	192.8
5	28	15	1.60	.50	4.90	.86	7.6	2.5	11.0	2.33	2.9	.27	222.3
6	26.5	22	2.65	.55	4.45	1.02	6.7	2.0	12.0	2.62	3.9	.22	245.5
7	26	25	2.55	.50	4.97	.78	7.2	3.0	12.6	3.0	4.2	.24	267.13
8	28	25	2.00	.50	5.24	.84	8.3	1.8	13.0	1.97	3.2	.26	250.45

Tabla 2: Registros obtenidos de los diferentes parámetros en las estaciones de muestreo durante el mes - de Diciembre de 1983.

PAR EST	T AGUA °C	SAL ‰	PROF mts.	TRAN mts.	O <sub>2</sub> ml/lit	NO <sub>2</sub> /g-atN/lit	NO <sub>3</sub> /g-atN/lit	NH <sub>4</sub> /g-atN/lit	Si O <sub>3</sub> /g-atSi/lit	PO <sub>4</sub> /g-atP/lit	Cl <sub>a</sub> mg/lit	Cl <sub>b</sub> mg/lit	P. N. mgC/m <sup>3</sup> /dia
1	24.5	10	.65	.65	4.25	.50	4.8	5.4	3.0	1.14	2.9	.40	102.39
2	23	10	.75	.65	4.20	.52	4.8	5.2	4.0	1.14	1.1	.42	105.42
3	23	10	.90	.70	4.10	.56	6.2	5.2	6.7	1.23	3.8	.27	120.39
4	25	10	1.10	.65	5.43	.74	7.3	4.0	8.0	2.15	4.5	.36	247.08
5	26	12	1.70	.45	5.78	.76	8.4	3.6	10.0	2.86	5.5	.15	257.32
6	25.5	15	2.70	.40	6.15	.80	8.6	3.3	11.0	3.98	7.8	.16	315.14
7	27	18	2.55	.40	5.84	.80	9.3	4.6	11.0	4.14	6.3	.28	375.31
8	25	22	2.00	.30	6.33	.85	9.3	4.6	12.0	3.25	6.1	.15	205.37

Tabla 3: Registros obtenidos de los diferentes parámetros en las estaciones de muestreo durante el mes de Febrero de 1984.

PAR EST	T AGUA °C	SAL ‰	PROF mts.	TRAN mts.	O <sub>2</sub> ml/lit	NO <sub>2</sub> /g-atN/lit	NO <sub>3</sub> /g-atN/lit	NH <sub>4</sub> /g-atN/lit	SiO <sub>3</sub> /g-atSi/lit	PO <sub>4</sub> /g-atP/lit	Cl <sub>a</sub> mg/lit	Cl <sub>b</sub> mg/lit	P.N. mgC/m <sup>3</sup> /día
1	23	15	.70	.65	2.10	.32	2.1	6.2	5.0	.93	1.8	.23	85.3
2	23	15	.70	.65	4.12	.30	1.3	6.0	4.3	.98	1.8	.48	86.7
3	23	15	.85	.65	2.33	.32	1.7	5.5	4.4	1.02	2.2	.45	88.12
4	23	19	.95	.60	3.48	.54	3.2	4.0	5.3	1.87	1.2	.52	92.13
5	23	24	1.60	.65	4.15	.63	4.5	2.6	6.7	2.22	3.3	.32	116.5
6	24	26	2.35	.70	4.15	.65	6.5	2.7	8.3	2.5	4.5	.48	190.3
7	23.5	28	2.20	.50	5.13	.65	5.6	4.0	8.0	2.65	4.8	.45	185.6
8	22	31	1.95	.50	5.83	.60	5.3	4.0	8.5	2.5	3.6	.25	159.1

Tabla 4: Registros obtenidos de los diferentes parámetros en las estaciones de muestreo durante el mes de Abril de 1984.

PAR EST	T AGUA ° C	SAL ‰	PROF mts.	TRAN mts.	O <sub>2</sub> ml/lt	NO <sub>2</sub> /g-atN/lt	NO <sub>3</sub> /g-atN/lt	NH <sub>4</sub> /g-atN/lt	Si O <sub>3</sub> /g-atSi/lt	PO <sub>4</sub> /g-atP/lt	Cl <sub>a</sub> mg/lt	Cl <sub>b</sub> mg/lt	P.N. mgC/m <sup>3</sup> /día
1	31	20	.65	.60	3.25	.55	1.4	7.8	2.1	.70	1.5	.52	78.1
2	30	20	.70	.65	1.12	.56	1.6	7.7	2.0	.82	1.5	.61	75.1
3	30	20	.85	.70	2.45	.50	2.8	7.7	2.4	.86	1.5	.57	75.3
4	31	26	1.00	.75	4.15	.67	4.5	6.6	3.4	.94	1.7	.88	80.14
5	32.5	28	1.55	.80	4.15	.79	3.7	6.0	5.0	1.46	2.0	.92	90.1
6	32.5	35	2.20	.90	4.65	.60	5.8	5.0	5.6	2.33	1.8	.85	141.4
7	30	38	2.00	.85	5.15	.74	5.3	6.0	5.4	2.38	2.9	.97	132.1
8	29	39	2.00	.50	5.10	.77	5.3	5.0	5.4	1.49	1.9	.61	132.1



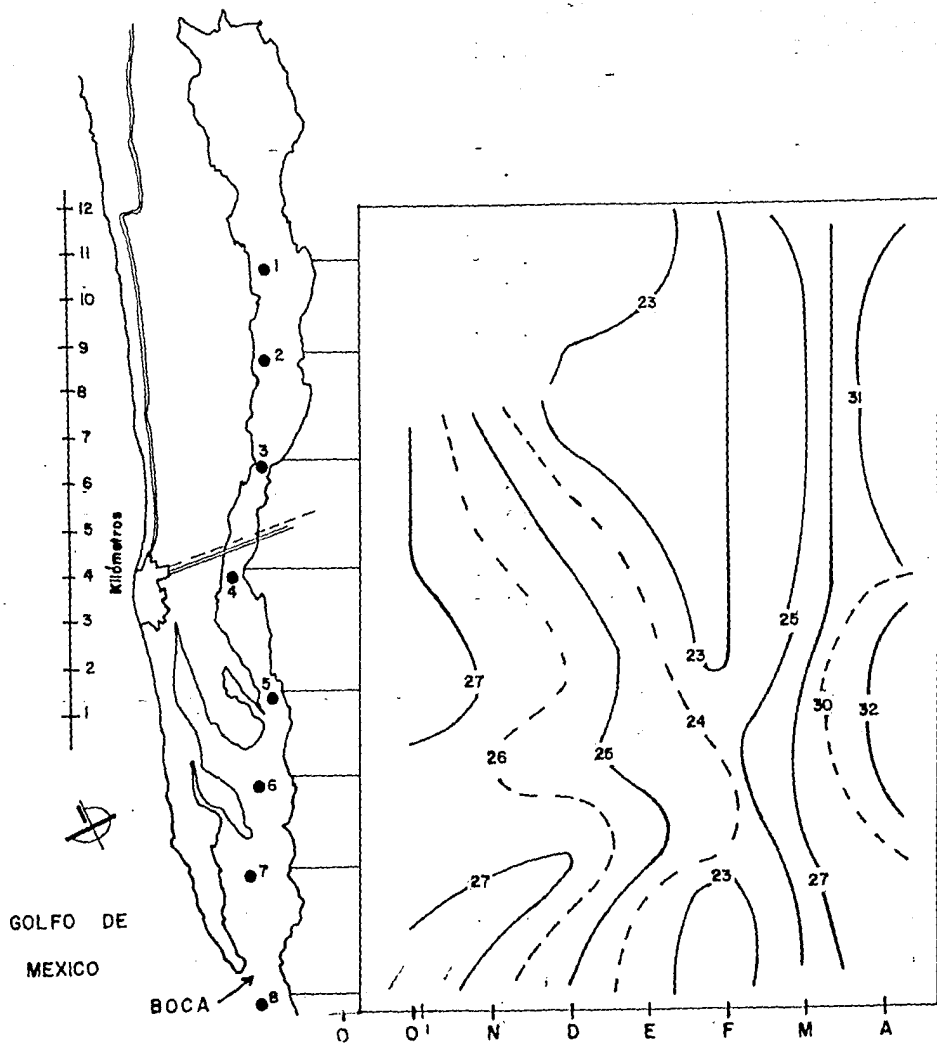


Fig. 3 : Variación temporal de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) superficial del agua durante el período Octubre 1983 - Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.



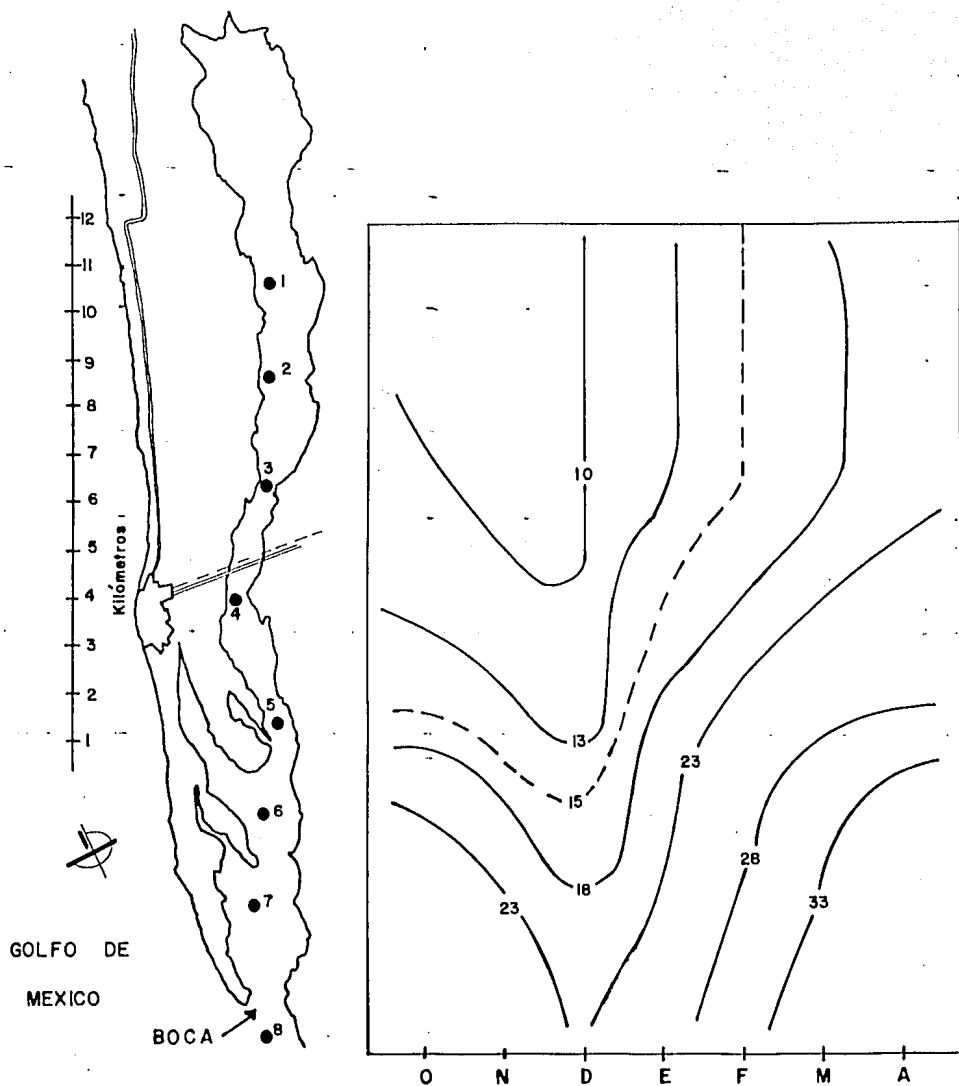


Fig. 4: Variación temporal de la Salinidad (‰) superficial del agua durante el período Octubre 1983 - Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

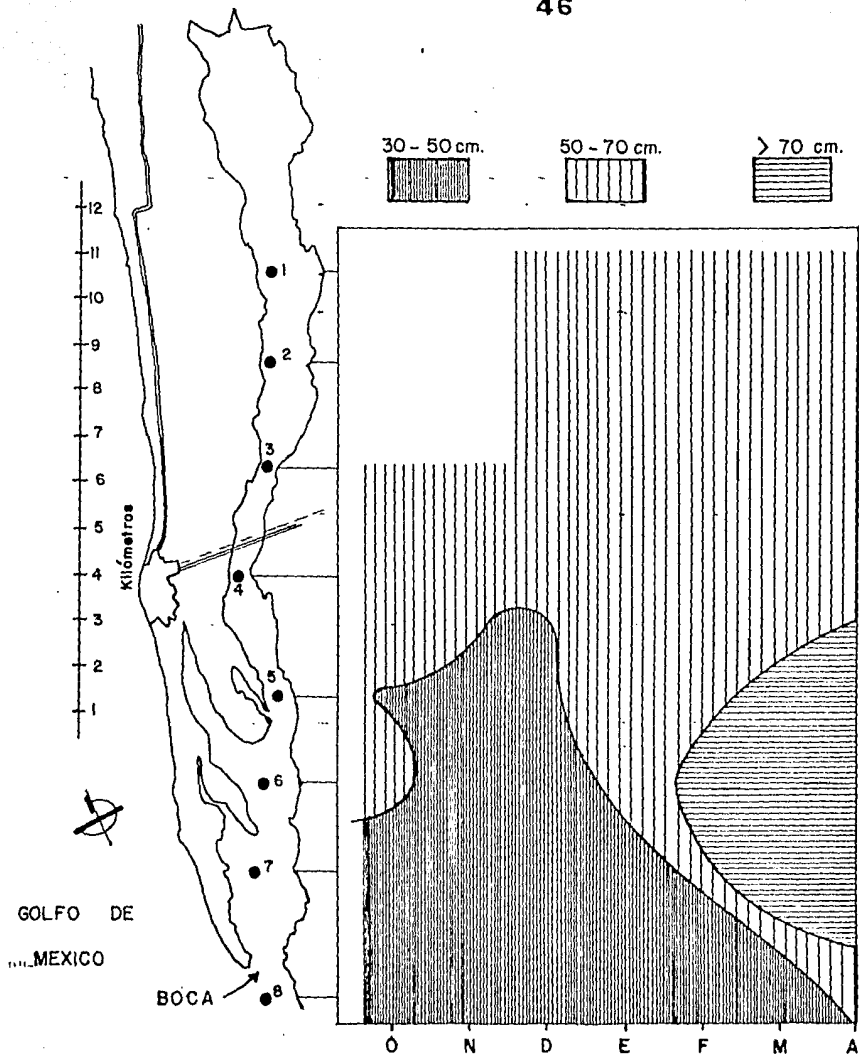


Fig. 5. Variación temporal de la Transparencia (cm) del agua durante el período -- Octubre 1983-Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

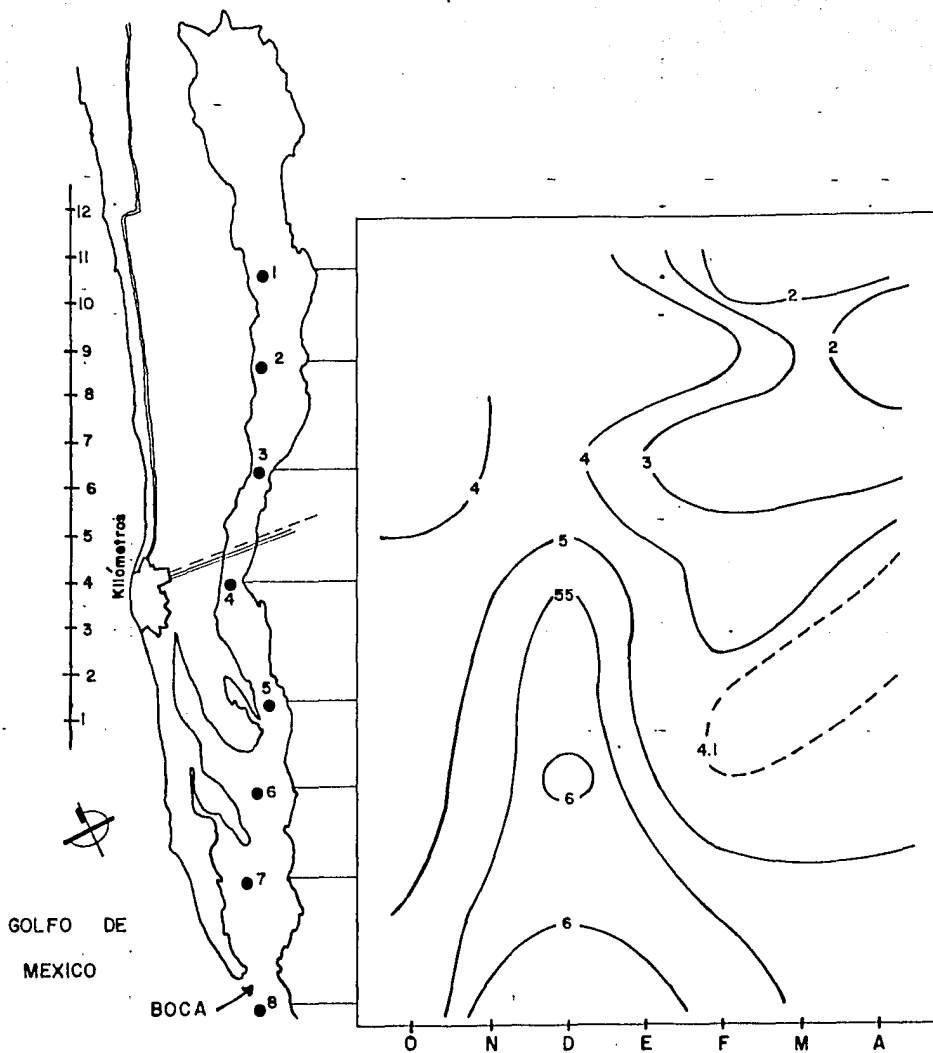


Fig. 6 : Variación temporal de Oxígeno disuelto (mg/lt.) superficial del agua durante el período Octubre 1983 - Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

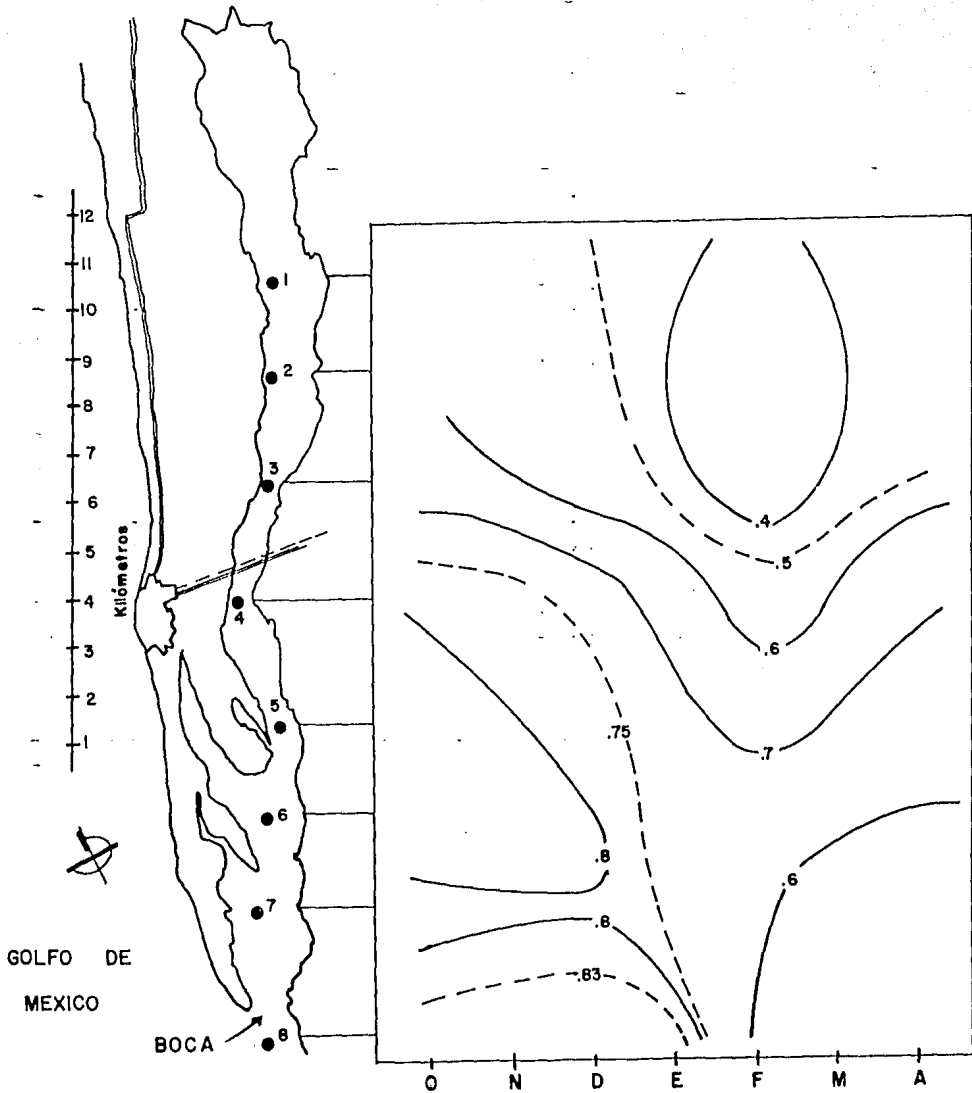


Fig. 7: Variación temporal de Nitratos ( $\mu\text{g-atN/l}$ ) superficiales del agua durante el período Octubre 1983 - Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

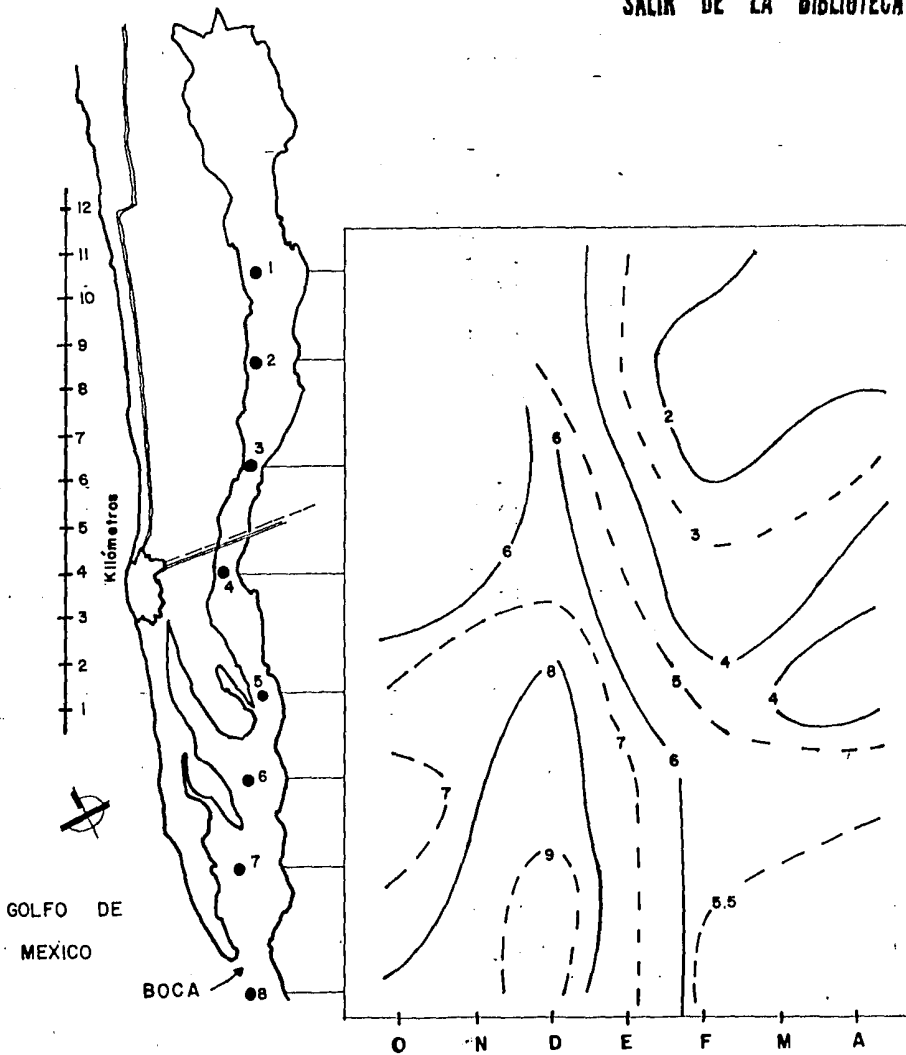


Fig. 8 : Variación temporal de Nitratos ( $\mu\text{g-atN/lit}$ ) superficiales del agua durante el período Octubre 1983 - Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

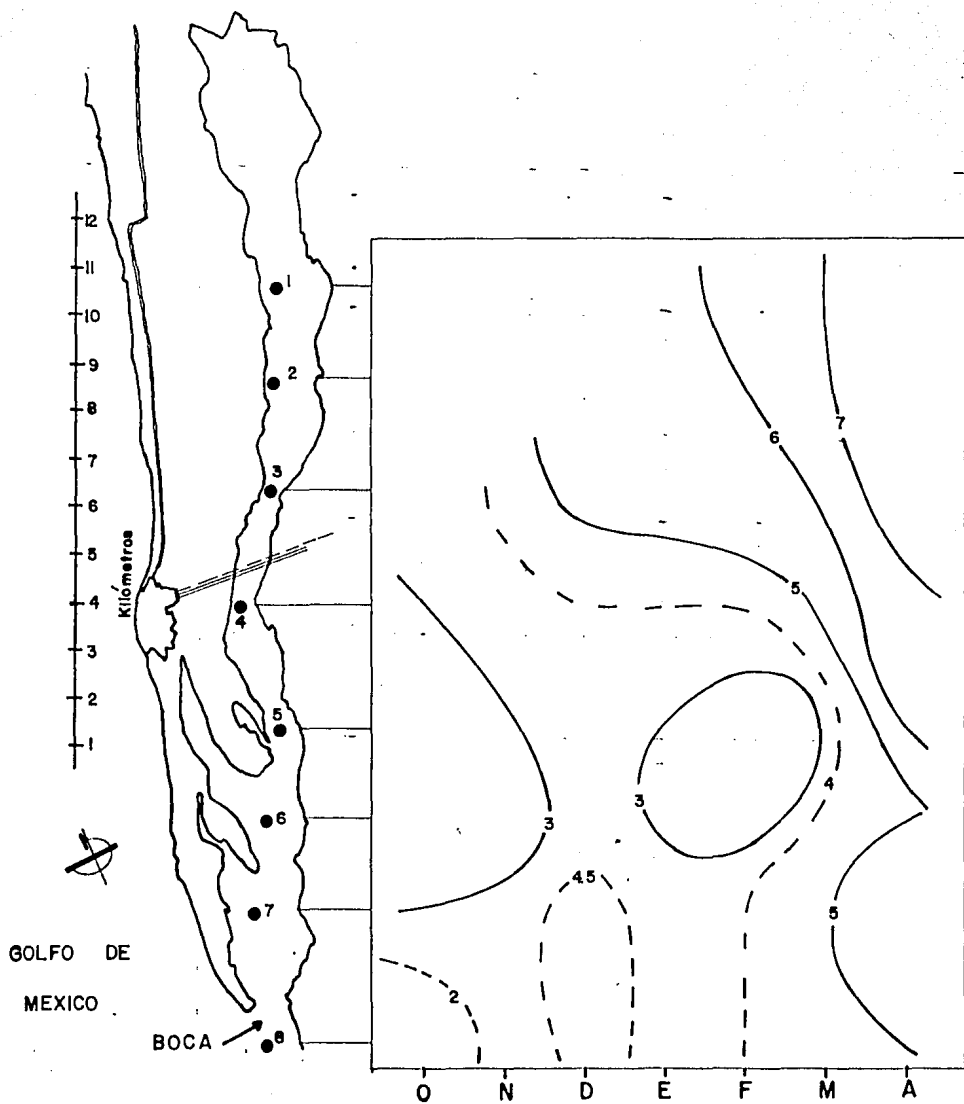


Fig. 9: Variación temporal de Amonio ( $\mu\text{g-atN/l}$ ) superficial del agua durante el período Octubre 1983-Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

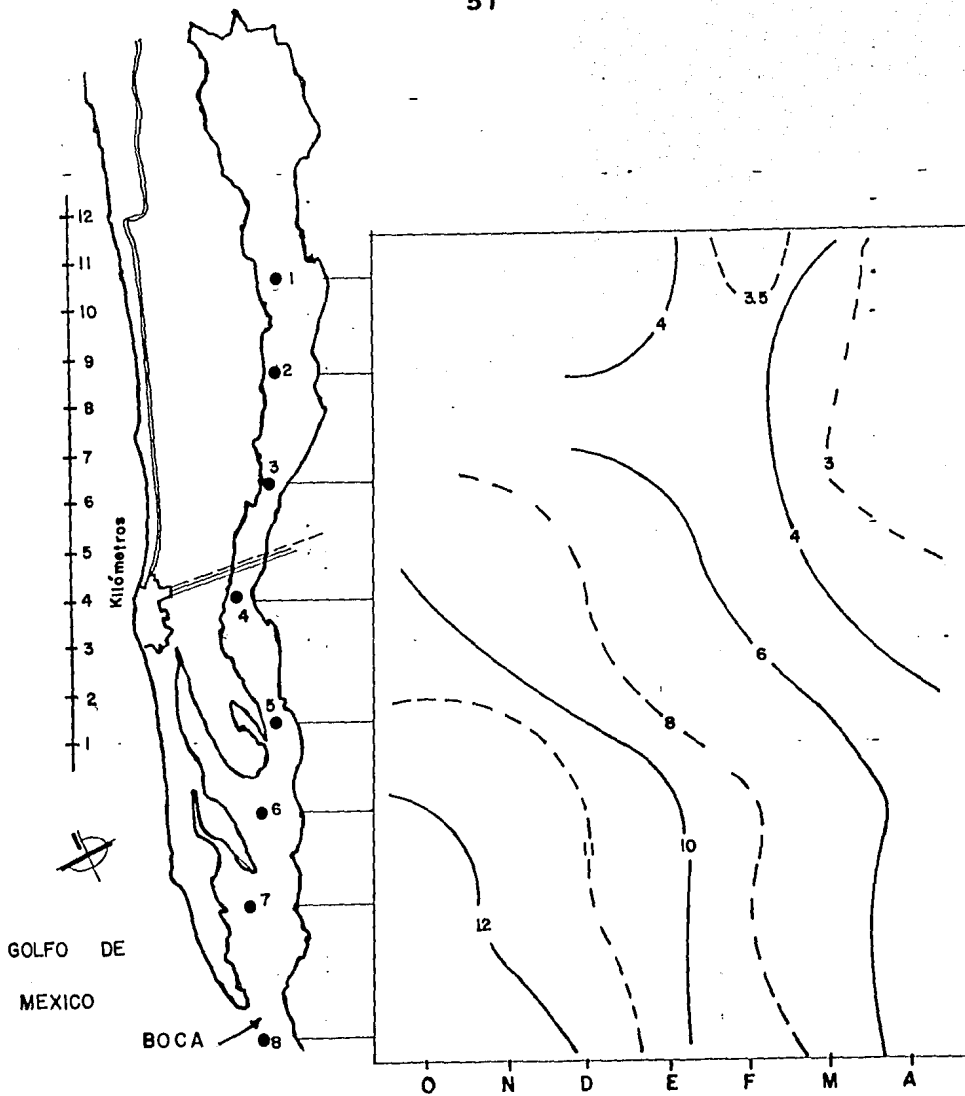


Fig. 10: Variación temporal de Silicatos ( $\mu\text{g-atSi/lit}$ ) superficiales del agua durante el período Octubre 1983-Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

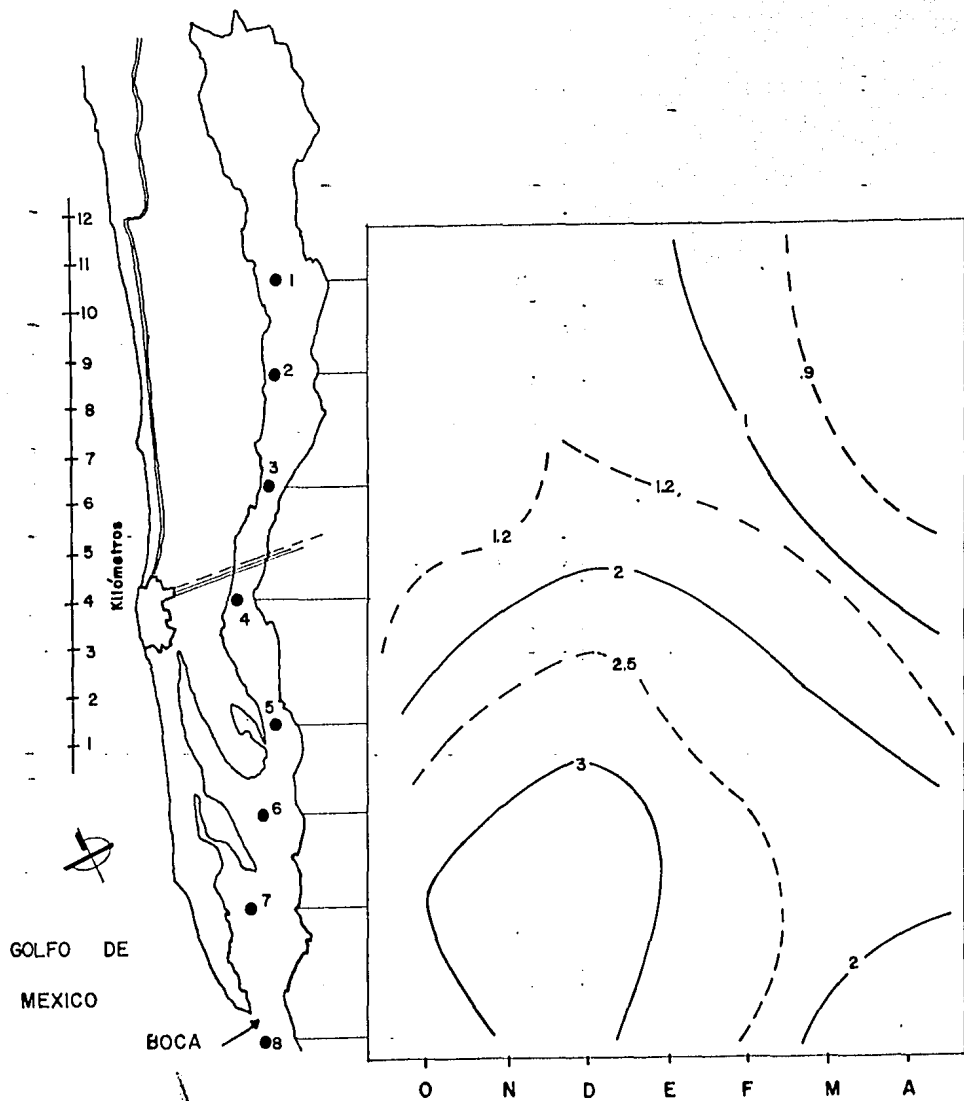


Fig. II: Variación temporal de Fosfatos ( $\mu\text{g-atP/l}$ ) superficiales del agua durante el período Octubre 1983–Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.



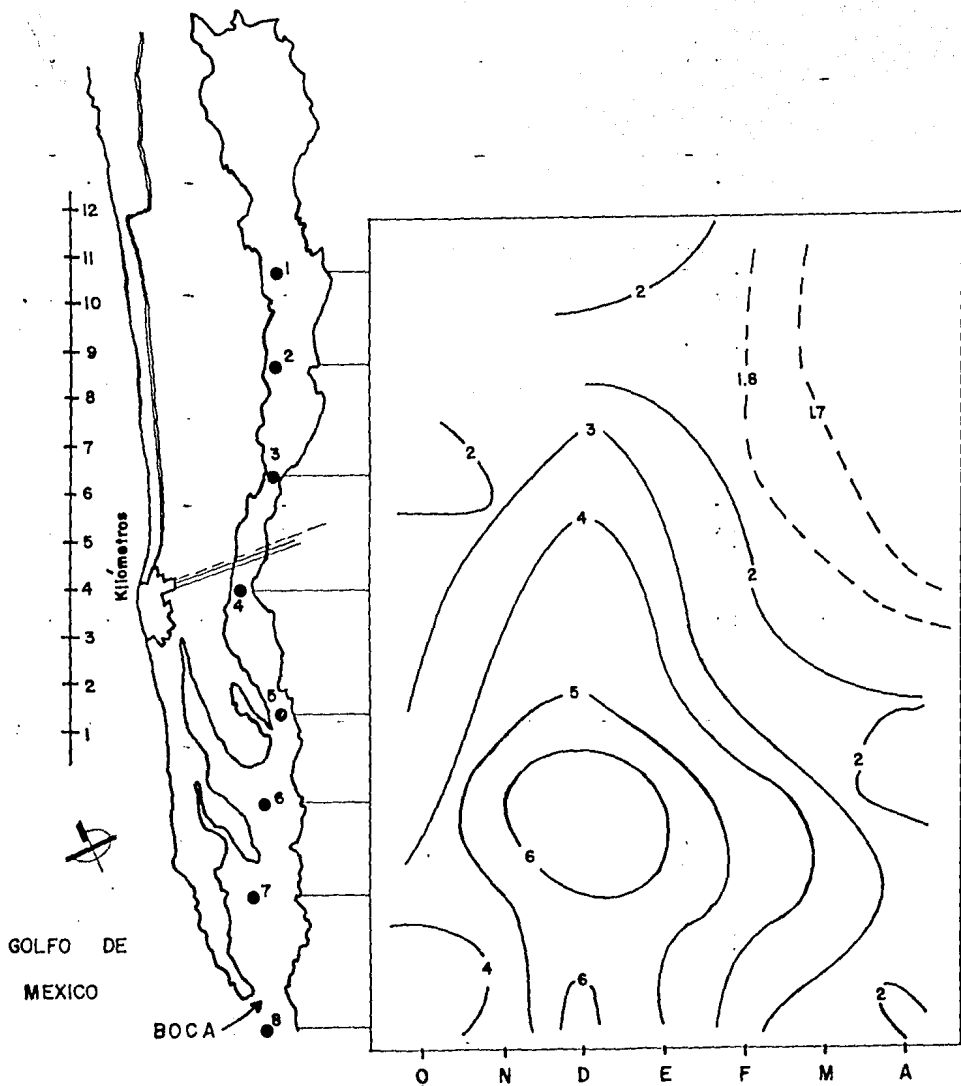


Fig.12: Variación temporal de Clorofila-a (mg/l) superficial del agua durante el período Octubre 1983- Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

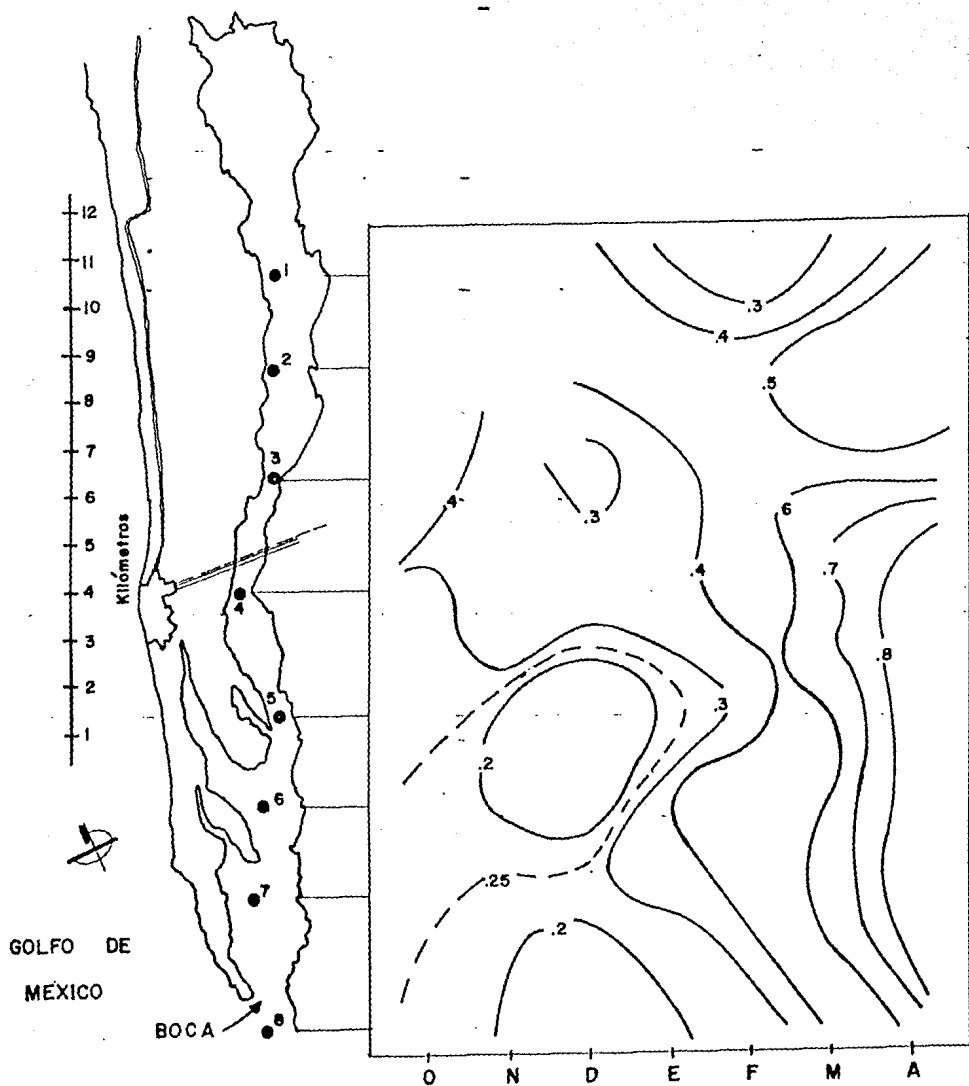


Fig.13: Variación temporal de Clorofila-a (mg/l) superficial del agua, durante el período Octubre 1983- Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

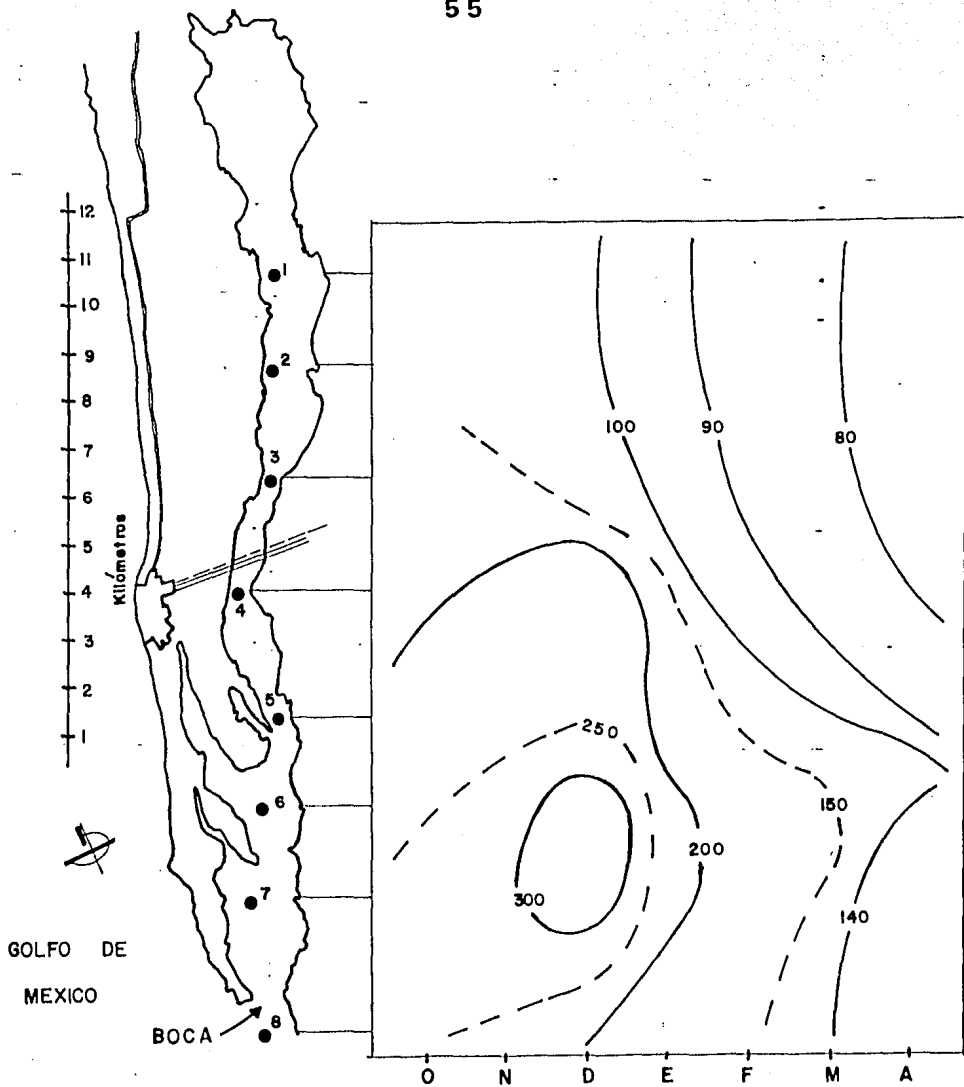


Fig. 14: Variación temporal de Productividad Primaria Neta ( $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{día}$ ) superficial del agua durante el período Octubre 1983-Abril 1984 en el Estero de Celestún, Yuc.

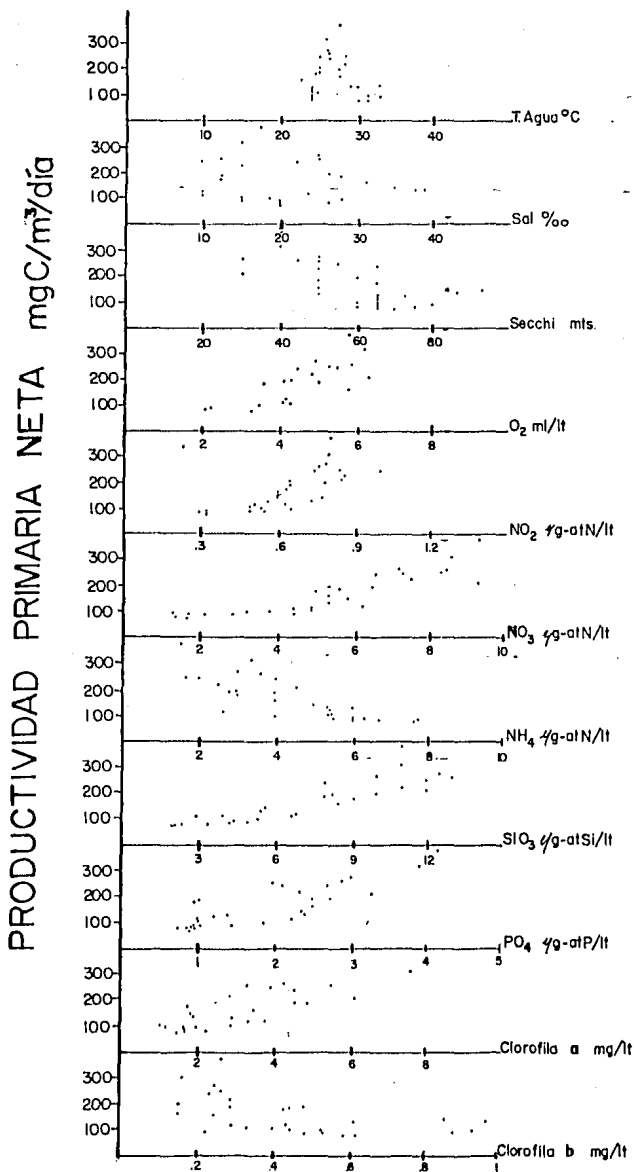


Fig. 15 : Relación de la Productividad Primaria Neta con respecto a cada uno de los parámetros físico-químicos registrados.