

Informe final* del Proyecto B019

Biodiversidad de productores primarios de lagunas costeras del norte de Yucatán, México

Responsable: Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira

Institución: Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida
Departamento de Recursos del Mar

Dirección: Carretera Antigua a Progreso Km 6, Cordemex, Mérida, Yuc., 97310 , México

Correo electrónico: jherrera@mda.cinvestav.mx

Teléfono/Fax: Tel: (999) 1242162 Fax: (999) 9812334

Fecha de inicio: Septiembre 30, 1994

Fecha de término: Junio 13, 1996

Principales resultados: Base de datos, Informe final, cartografía

Forma de citar el informe final y otros resultados:** Herrera Silveira, J. A., 1997. Biodiversidad de productores primarios de lagunas costeras del norte de Yucatán, México. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida **Informe final SNIB-CONABIO** proyecto No. B019. México D. F.

Resumen:

La zona norte de la península de Yucatán por su suelo kárstico y permeable no presenta escurrimientos superficiales a manera de ríos, por lo que las descargas de agua dulce a la costa son a través de afloramientos del manto freático, lo que convierte a las lagunas costeras de esta zona en sistemas únicos en las costas mexicanas. Desde la crisis henequera de Yucatán, los proyectos de desarrollo han considerado a la zona costera y en particular a las lagunas costeras, como una de las opciones más importantes para la diversificación de las actividades económicas. Sin embargo, el rezago en el conocimiento sobre la biodiversidad y las condiciones ecológicas relacionadas las ubica en serios problemas de reducción de la riqueza de las especies, características de los ambientes tropicales y de la cual depende a su vez la diversidad de especies de importancia ecológica, económica y escénica. Si bien existe abundante información sobre la hidrología y tasas de producción primaria de lagunas costeras de los litorales mexicanos (Edwards, 1978; Contreras, 1983), es menos frecuente encontrar información sobre la composición específica de los organismos responsables y, mucho menos sobre su importancia relativa para el total del sistema y su relación con características ambientales (Dillon, 1971; Mallin et al, 1991). La importancia ecológica de las lagunas costeras de Yucatán ha sido reconocida a través de diferentes declaratorias como refugios faunísticos (Celestún, Río Lagartos), reservas ecológicas (Dzilam); entre otras características por su importancia como zonas de alimentación, descanso, crianza de especies migratorias y residentes de importancia pesquera, ecológica y escénica (flamenco, patos, garzas, pelícanos, lagartos, camarón, jaiba). Existe información detallada de las características hidrológicas de la Laguna de Celestún, así como un listado florístico de las principales especies de macrófitos sumergidos, sin embargo, no se dispone de información sobre la riqueza específica del fitoplancton. Respecto a las lagunas de Chelem y Dzilam, se cuenta con información limitada sobre su hidrología y se desconoce por completo las especies que componen la comunidad de productos primarios. Tal como se ha observado, es evidente que no se ha llevado a cabo un trabajo sistemático sobre la diversidad de especies de productores primarios que sostiene la dinámica trófica en estas lagunas costeras y que están sujetas a diferencias hidrológicas y presión antropogénica por lo que se desconoce información básica como: a) cuántas especies de productores primarios existen en estas lagunas, b) cuáles son las especies más importantes tanto en abundancia como su contribución estacional a la producción de cada sistema; c) qué tan diversas son las comunidades de productores primarios en estos tres ecosistemas; d) cuál es la distribución espacial de las especies de productores

primarios de acuerdo a gradientes espaciales; e) cuál es el acoplamiento que existe entre las interacciones de estas especies con las características hidrológicas; f) cuál es el riesgo potencial del cambio en la biodiversidad de productores primarios y por ende del resto de la estructura trófica de los sistemas objeto de estudio, así como la evaluación de los parámetros ecológicos y el potencial daño que ocasionaría el aumento en las actividades humanas. El presente estudio tiene la intención de contribuir tanto al conocimiento básico, al proponer evaluar la biodiversidad e importancia relativa de los grupos de organismos responsables de la producción primaria de estos sistemas, como aplicado, al complementar la información biológica con la evaluación de características ambientales de la columna de agua y sedimentos que mayor contribución tengan en la presencia, abundancia y distribución de las especies, ganando en información de carácter ecológico. Además, éstas lagunas costeras se localizan en una zona geomorfológica particular, y si bien comparten esta característica de origen, se observan diferencias entre sus características hidrológicas y grado de presión antropogénica, por lo que la ganancia en información biológica y ecológica de este tipo de ambientes se logrará en un periodo de tiempo relativamente corto por el espectro de condiciones que presentan estas lagunas costeras.

- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
- ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

**BIODIVERSIDAD DE PRODUCTORES PRIMARIOS DE LAGUNAS COSTERAS
DEL NORTE DE YUCATAN, MEXICO**

**COMISION NACIONAL PARA EL USO Y CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD
CONABIO.**

**Laboratorio de Producción Primaria
CINVESTAV-IPN Unidad Mérida
Octubre de 1995**

COMISION NACIONAL PARA EL USO Y CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD
(CONABIO)

Proyecto B019

**BIODIVERSIDAD DE PRODUCTORES PRIMARIOS DE LAGUNAS COSTERAS DEL NORTE
DE YUCATAN, MEXICO**

**Informe Final
Octubre 1995**

Responsable del Proyecto: Dr. Jorge Alfredo Herrera Silveira

Participantes:

Dr. Francisco Comin S. Biól.
Javier Ramírez R. M. en C. (p).
Jesús Soto C. Biól. R. David
Sánchez A. Biól. Esperanza
Pérez D. Q. Elizabeth Real L. Q.
F. B. Isabel Sánchez M.

CONTENIDO

Introducción	1
Área de Estudio	2
Resultados y Discusión	8
Celestun	
Hidrología	8
Sedimentos.....	10
Macrófitos	11
Fitoplancton	12
Figuras.....	13
Chelem	
Hidrología	25
Sedimentos.....	27
Macrófitos	27
Fitoplancton	28
Figuras	30
Dzilam	
Hidrología	42
Sedimentos	44
Macrófitos.....	44
Fitoplancton	46
Figuras.....	47
Conclusiones.....	59
Recomendaciones	60

INTRODUCCION:

La importancia ecológica y económica de las lagunas costeras ha sido destacada por su alta producción biológica, proporcionar áreas de crianza, alimentación, y/o protección de una alta diversidad de organismos, reconociéndose su valor como habitats críticos. Estas circunstancias responden al acoplamiento entre las características hidrológicas y la diversidad de productores primarios.

Sus recursos biológicos y escénicos las pone en grave riesgo a través del incremento de las actividades de origen antropogénico en ellas, y/o en zonas adyacentes. De tal suerte, existe un potencial aumento en las descargas de nutrientes, modificación física de la cuenca (urbanizaciones) y canales a través de los cuales se lleva a cabo el intercambio de masas de agua (compuertas, puertos) y contaminación inorgánica. Estas acciones han promovido cambios y/o pérdidas en la biodiversidad de los organismos responsables de la producción primaria. Estos cambios generalmente llevan a diferentes etapas de eutrofización durante las cuales la biodiversidad se ve reducida.

Las condiciones geomorfológicas de la Península de Yucatán han favorecido la formación de L.C, con características particulares, destacando el aporte de agua dulce que reciben a través de afloramientos del manto freático en forma de manantiales. La información sobre la biodiversidad de este componente estructural de los ecosistemas es escaso en la región, y se incrementa la necesidad de contar con datos para la toma efectiva de decisiones concernientes a su conservación y protección.

La importancia ecológica de las L.C. de Yucatán ha sido reconocida a través de diferentes declaratorias como refugios faunísticos (Celestún, Río Lagartos), y reservas ecológicas (Dzilam) entre otras características por su importancia como zonas de alimentación, descanso, crianza de especies migratorias y residentes de importancia pesquera, ecológica y escénica (flamenco, patos, garzas, pelícanos, lagartos, camarón, jaiba).

El presente estudio tiene la intención de contribuir tanto al conocimiento básico, al proponer evaluar la biodiversidad e importancia relativa de los grupos de organismos responsables de la producción primaria de estos sistemas, como aplicado, al complementar la información biológica con la evaluación de características ambientales de la columna de agua y sedimentos que mayor contribución tengan en la presencia, abundancia y distribución de las especies, ganando en información de carácter ecológico.

De acuerdo a la programación de entrega de informes, el proyecto se ha dividido en cuatro fases, el presente corresponde a las actividades desarrolladas durante la primer fase. Cabe señalar, que el inicio del proyecto fue bajo circunstancias especiales, debido al pequeño lapso de tiempo que hubo entre la notificación de aceptación y el inicio programado en el calendario de actividades. No obstante, una vez que este se puso en marcha las actividades se han venido desarrollando de forma ininterrumpida

AREA DE ESTUDIO:

La laguna de Celestún se localiza en el extremo Noroeste de la Península de Yucatán a 85 km de la Ciudad de Mérida, tiene una extensión de aproximadamente 28 km^2 , es rectangular alargada con su eje mayor paralelo a la costa, presenta una boca natural en su extremo sur. Es una zona de importante actividad pesquera y turística, su carácter es de Reserva Faunística. Las estaciones de muestreo hidrológico y biológico se presentan en la figura 1 y en la Tabla 1.

Tabla 1. Localización de las estaciones de muestreo hidrobiológico de la laguna de Celestún, Yucatán

Est.	Latitud Norte (° ' ")	Longitud Oeste (° ' ")
1	20 57 23	90 20 98
2	20 55 55	90 20 97
3	20 54 19	90 21 31
4	20 52 90	90 21 89
5	20 51 52	90 22 88
6	20 50 19	90 23 25
7	20 49 44	90 23 31
8	20 48 86	90 23 53
9	20 47 79	90 24 02
10	20 46 78	90 26 66

La laguna de Chelem es el sistema más cercano a la ciudad de Mérida (30 km), en sus alrededores se concentra y soporta la mayor densidad de población de la costa de Yucatán. Tiene una boca artificial en su parte media donde se ubica el mayor puerto e infraestructura básica para la industria pesquera del Estado. Estas, son condiciones que ejercen fuerte presión sobre el ecosistema (70% del bosque de manglar que la rodea ha sido destruido o seriamente dañado). Su extensión es de 13.6 km^2 , es alargada con su eje principal paralelo a la línea de costa. La localización de las estaciones de muestreo hidrológico y biológico se presentan en la figura 2 y en la Tabla 2.

Tabla 2. Localización de las estaciones de muestreo hidrobiológico de la laguna de Chelem, Yucatán

Est.	Latitud Norte (° ' ")	Longitud Oeste (° ' ")
1	21 14 69	89 47 57
2	21 14 84	89 46 44
3	21 15 19	89 44 81
4	21 15 56	89 43 52
5	21 15 69	89 42 48
6	21 16 35	89 41 68
7	21 16 34	89 41 25
8	21 16 38	89 40 35
9	21 16 53	89 42 27
10	21 16 92	89 42 16

La Laguna de Dzilam se encuentra en la porción central del norte de la Península de Yucatán a 105 km de la ciudad de Mérida. Su forma es alargada paralela a la costa, su extensión es de 9.4 km², presenta una boca natural en su porción central y en ella se desarrollan actividades de pesca que van en aumento. Se localiza en la región de la costa mejor conservada, por no haber accesos por carretera y es considerada como la laguna del estado de Yucatán en condiciones ecológicas de estado prístino, su carácter es de Reserva Estatal. Las estaciones de muestreo hidrológico y biológico se presentan en la figura 3 y en la Tabla 3.

Tabla 3. Localización de las estaciones de muestreo hidrobiológico *de la laguna* de Dzilam, Yucatán

Est.	Latitud Norte (° ' ")	Longitud Oeste (° ' ")
1	21 29 47	88 37 59
2	21 28 26	88 38 47
3	21 28 03	88 49 47
4	21 27 34	88 40 51
5	21 27 22	88 41 26
6	21 27 08	88 41 53
7	21 25 31	88 43 32
8	21 25 44	88 43 19
9	21 26 08	88 42 31
10	21 26 30	88 42 12

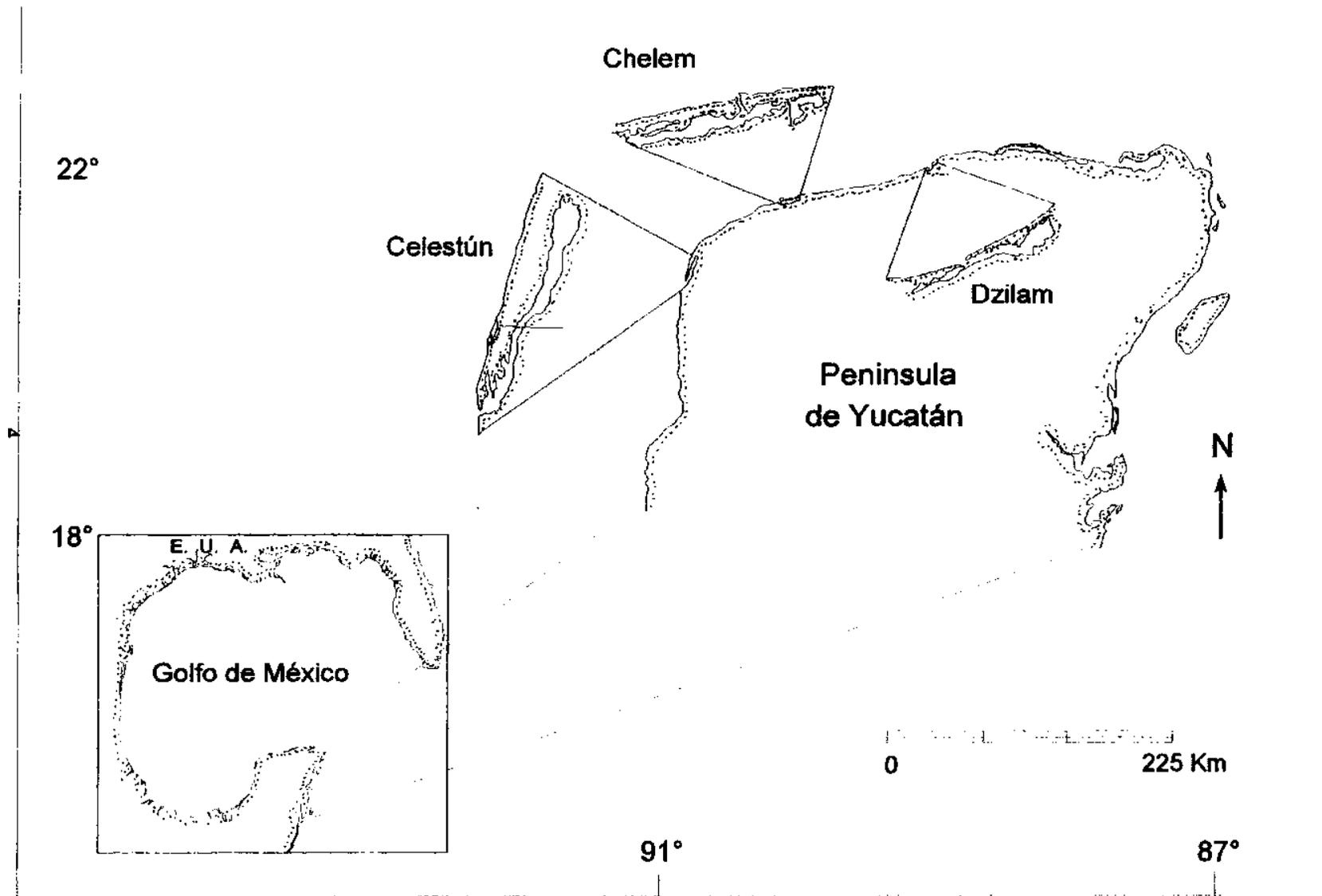
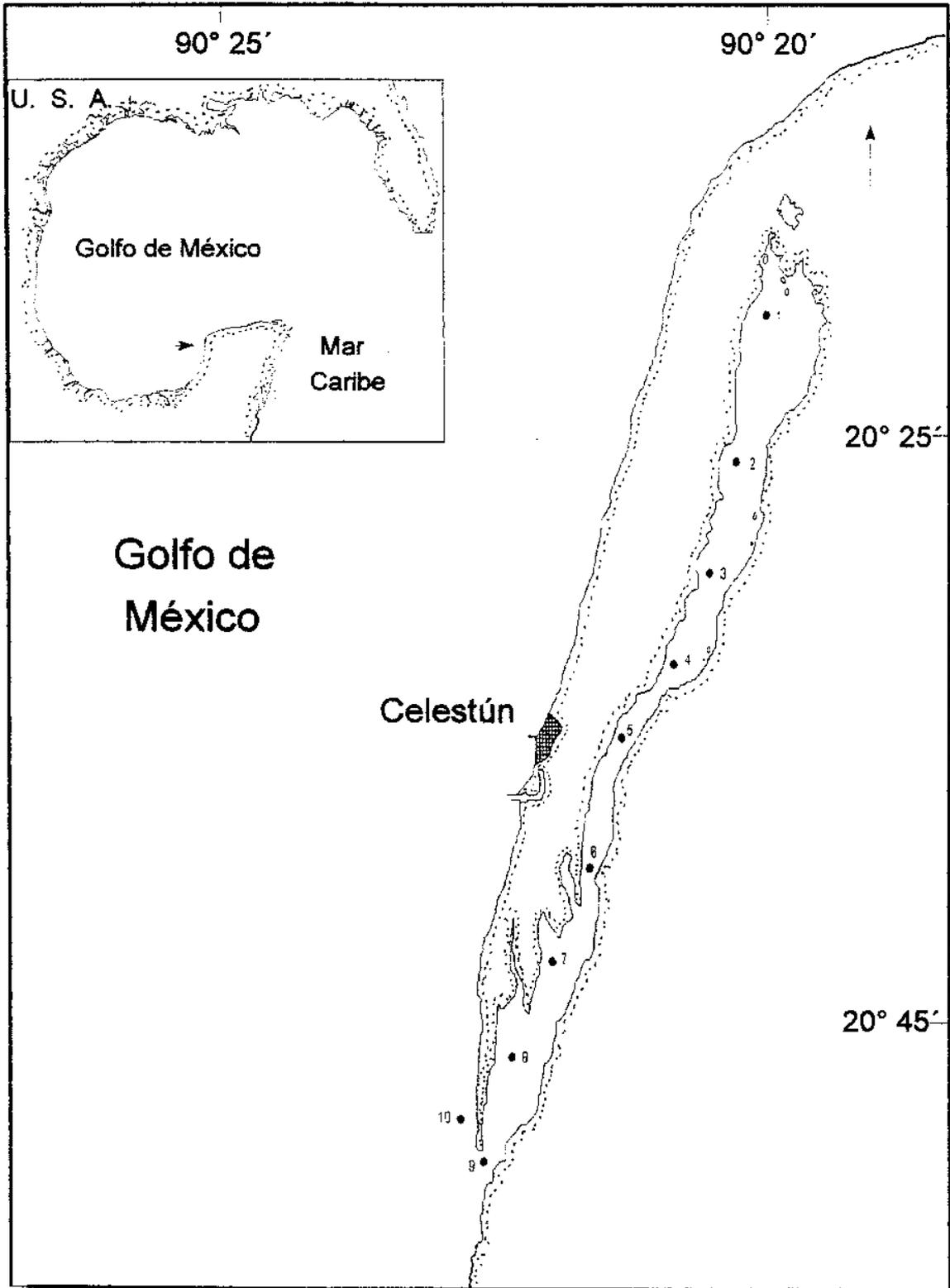


Figura 1. Localización de las lagunas costeras del norte de la Península de Yucatán.



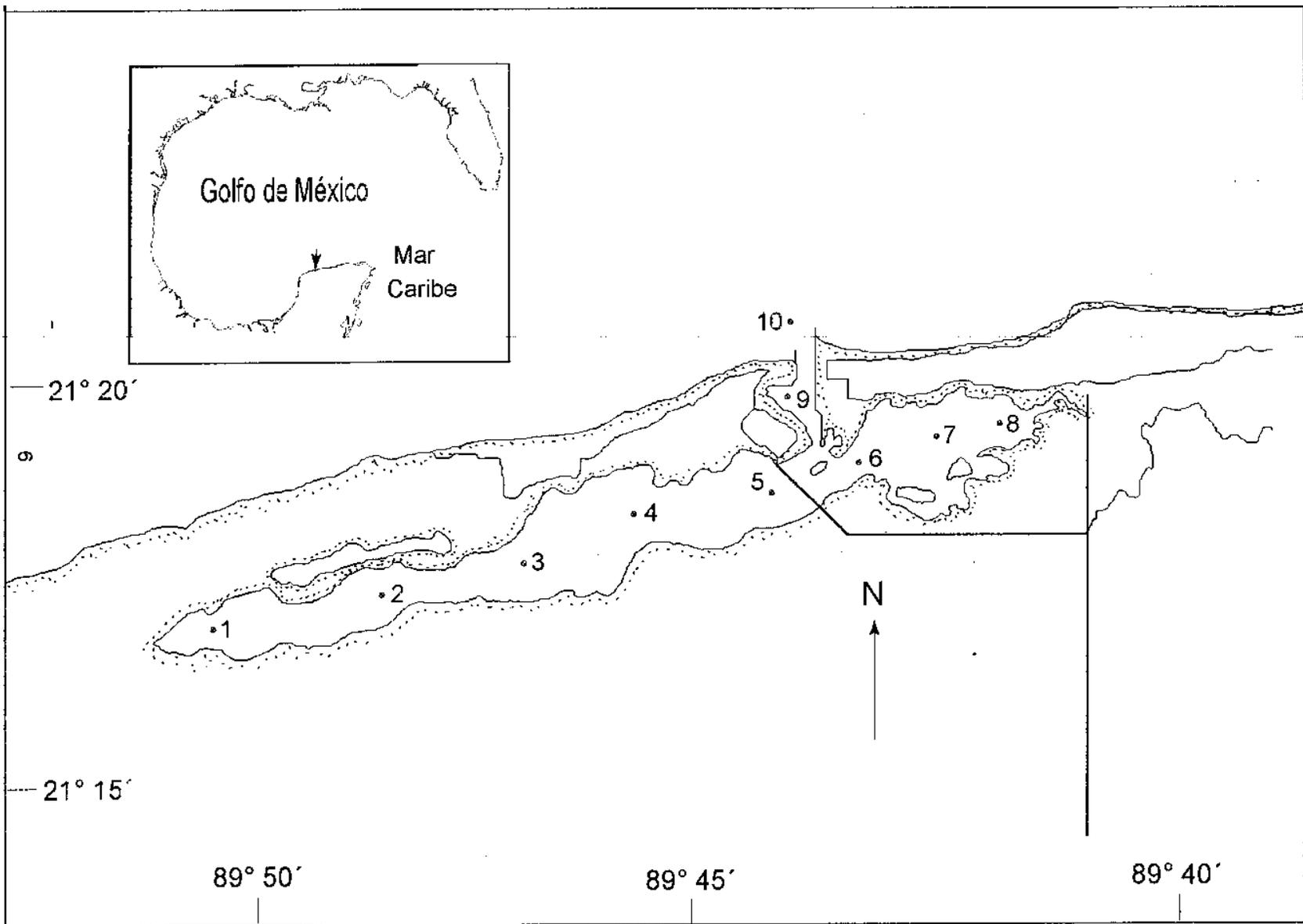


Figura 3. Localización de la Laguna de Chelem y sitios de muestreo.

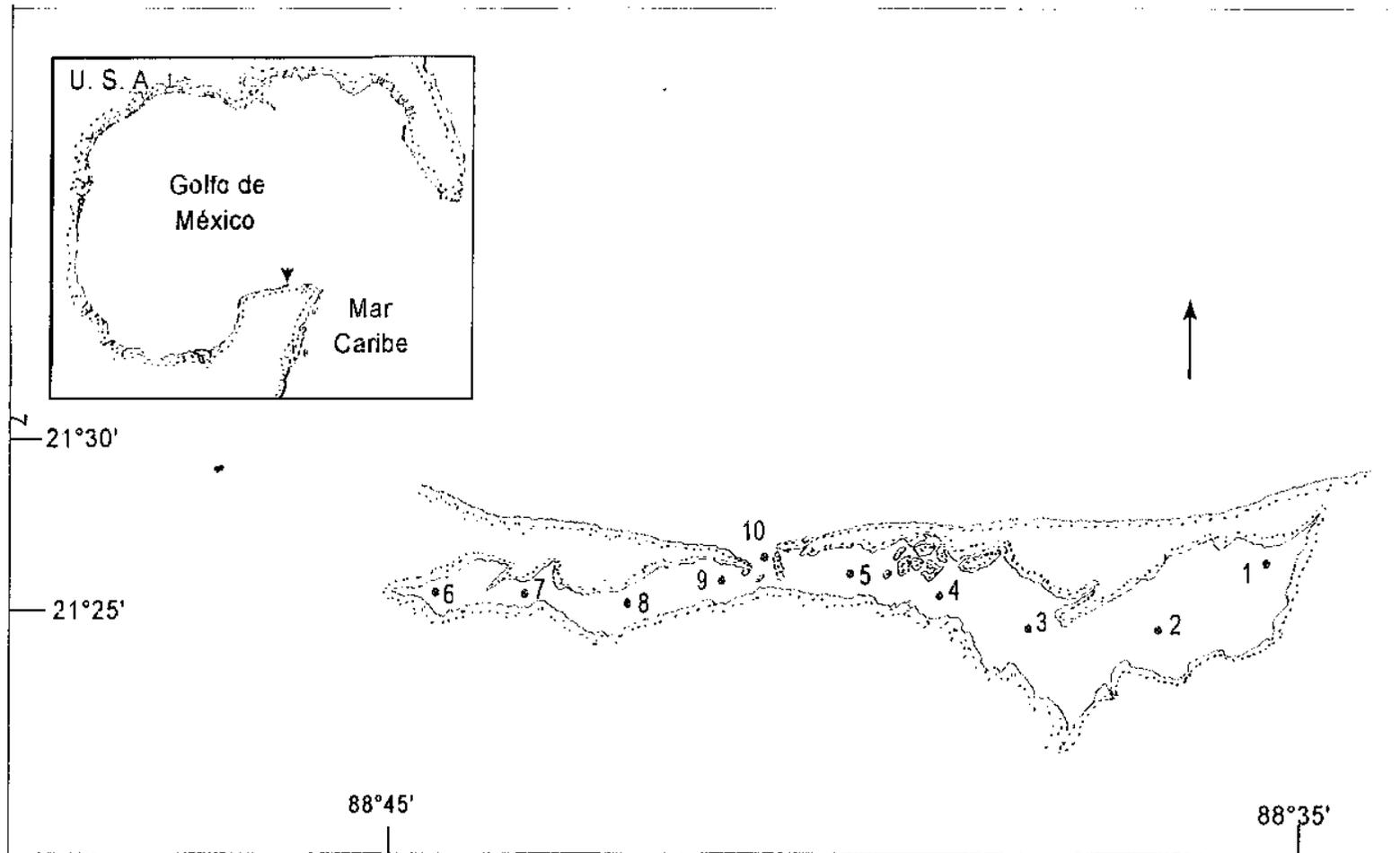


Figura 4. Localización de las Bocas de Dzilam y sitios de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSION:

CELESTUN:

Se realizaron cinco campañas de muestreo (octubre, diciembre, febrero, abril y junio), obteniéndose muestras hidrológicas y biológicas en 10 estaciones a lo largo de la laguna (Fig. 1). Se realizaron mas de 800 análisis entre variables físico-químicas del agua, sedimentos, y macrófitos. Este número de análisis es muy similar al realizado para la laguna de Chelem, mientras que para la laguna de Dzilam, dado que sólo se programaron tres campañas, el número de análisis sólo fué de aproximadamente 500.

Hidrología:

Las medias de las variables hidrológicas se presentan en las tabla 4, así como las variaciones espaciales en las figuras de la 5 a la 12. En ellas se pueden observar los diferentes patrones que existen para cada variable dentro de la laguna.

a) Profundidad (m) y Transparencia (%)

La laguna de Celestún es un sistema somero en el cual [a profundidad media es de <1.42m para el período de estudio, sólo en el canal de marea la profundidad es mayor. En la figura 5a se observan los cambios de profundidad en los cinco meses de estudio, el mes que presentó le menor profundidad fué febrero con un promedio de 1.11 m y la mayor en octubre con 1.98m. La influencia de los nortes en el primer caso y de las lluvias en el segundo, explican la mayor parte de las diferencias observadas

La transparencia presentó un promedio global de 58%, el valor máximo en este parámetro se encontró en el mes de febrero y junio con 63% y el mínimo en abril con 51 %. En la figura 5b se observa que la zona interna es la que presenta las mayores transparencias y las menores se presentan en la zona de mezcla y de la boca. La distribución de macrófitos sumergidos y la hidrodinámica de la laguna favorecen estas variaciones,

b) Temperatura (°C) y pH.

La temperatura presentó un promedio global de 25 °C, la mayor se encontró en junio con 28 °C y la menor en febrero con 19°C. Al igual que la profundidad, le temperatura esta claramente afectada por las condiciones de l cha que dominan en cada época. En la figura 6a se observa que durante los meses de estudio la temperatura presentó un comportamiento homogéneo dentro de la red de estaciones.

El pH presentó un valor medio de 7.62. El valor más alto de pH (8.2) se registró en el mes de abril. El valor más bajo de pH (6.86) se registró en el de Octubre. En la figura 6b se observa que el pH presentó un comportamiento homogéneo durante todo el período de estudio en la red de estaciones de muestreo.

c) Oxígeno Disuelto (OD, mg/L).

En lo que respecta al oxígeno disuelto; se presentaron valores medios de 4.74 mg/L. La concentración más alta se observó en el mes de junio con 6.28 mg/L y la menor de 2.9 *mg/L en octubre. El comportamiento de este parámetro es irregular durante los meses de*

estudio debido probablemente a la relación producción / consumo del sistema durante las diferentes épocas de! año, cabe resaltar que sólo en el mes de octubre se observó un comportamiento regular (Fig. 7a). Las menores concentraciones de oxígeno se observaron en zonas donde el movimiento de masas de agua es muy escaso y/o en zonas donde se presume que hay descargas de materia orgánica (embarcadero) y los procesos de descomposición son muy importantes,

d) Salinidad (‰).

Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media fué de 24.38‰, E` valor más bajo (20.08‰) se presentó en el mes de diciembre y el más alto (28.22‰) en abril. La variación espacio-temporal de este parámetro se presenta en la figura 7b, en la cual se puede observar que el gradiente sigue un patrón de la porción interna hacia afuera en todos los meses de observaciones. Este patrón sugiere que le mayor influencia de las descargas de agua dulce es en las estaciones internas, con lo que la laguna tiene un comportamiento estuarino *respecto a este parámetro,*

e) Nutrientes.

El amonio presentó un promedio global de 17 uM, encontrándose la mayor concentración en el mes de febrero (37.45 uM) y la menor en abril (8.05 M). En la figura 8a se observa que este parámetro presenta un comportamiento homogéneo en el período de estudio con las mayores concentraciones en la zona interna y tendiendo a disminuir hacia la zona marina en todos los meses.

Los nitratos tuvieron su máxima concentración en febrero con 5.63 M y la mínima en junio con 0.84 uM, con una media global de 3.51 M. El comportamiento de este parámetro dentro del período de muestreo es poco variable, observándose las mayores concentraciones en las estaciones de la zona media de la laguna para después disminuir en la zona marina (Fig. 8b).

Para los nitritos, el promedio global fué de 1.4 M. La mayor concentración se presentó en el mes de diciembre con 3.15 pM y la menor en junio con 0.22 pM. El comportamiento de este parámetro es irregular, observándose que en la zona media se presentan la mayores concentraciones para después disminuir hacia la zona marina (Fig. 9a).

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (SRP) presentaron un promedio global de 0.33 M, con el máximo en el mes de octubre (1.25 M) y la mínima en abril (0.02 M). El comportamiento de este parámetro se puede observar en la figura 9b, en general las concentraciones fueron bajas para todos los meses de observaciones y en todas las estaciones de muestreo, exceptuando las altas concentraciones de las estaciones 1 y 2 del mes de octubre.

Para el sílice reactivo soluble (SRSi), se presentaron valores medios para el período de estudio de 119 pM. La mayor concentración se encontró en diciembre con 247 pM y la menor en octubre con 41 pM. El comportamiento espacio-temporal del SRSi es homogéneo para todos los meses, con las mayores concentraciones en la zona interna para disminuir hacia la zona marina (Fig. 10a) .

Las variaciones espacia-temporales de nutrientes en esta laguna sugieren que para los nitratos y silicatos las descargas del manto freático son la fuente principal de estos, mientras

que en el caso del amonio y el fósforo los procesos de remineralización y actividad de otros organismos son los factores clave en las variaciones de concentración observada.

fl Pigmentos.

La concentración media de Clorofila-a (Cl-a) fué de 3.96 mg m^{-3} para el ciclo de muestreo, presentándose la mayor concentración en febrero con 5.61 mg m^{-3} y la menor en abril con 2.03 mg m^{-3} . La figura 1 BO muestra el comportamiento de la Cl-a, donde se observa un comportamiento irregular en todos los meses sin seguir un patrón definido.

Para los feopigmentos (Fp), le concentración promedio fué de 5.94 mg m^{-3} , la máxima concentración se obtuvo en abril con 15.52 mg m^{-3} y la mínima en diciembre con 2.85 mg m^{-3} . El comportamiento de Fp durante el tiempo de estudio fué homogéneo, exceptuando el mes de abril donde se presentaron picos de altas concentraciones en las estaciones 3 y 6 (Fig. 1 la).

g) Productividad Primaria Fitoplanctónica (PPN).

Las tasas de producción neta de fitoplancton tienen una media global de $255 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$. La mayor tasa de PPN se presenta en el mes de junio ($654 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$) y la menor ($54 \text{ mgC/m}^3/\text{día}$) en diciembre. En la figura 11 b se observa que se presenta un comportamiento irregular en las tasa de producción durante el ciclo de observaciones.

La variación estacional de la PPN sugiere que en la época de nortes las condiciones en la laguna no son favorables para el desarrollo del fitoplancton, sin embargo, para la época de lluvias las condiciones son mas favorables, entre las que destacarían el aumento en los aportes de nutrientes por lo manantiales y el aumento en la temperatura media del agua.

Sedimentos:

a) Textura.

Los sedimentos de la laguna presentan variación espacial en los porcentajes de Arena, Arcilla y Limo. En la zona interna los porcentajes son del 30% de limo, 65% de arena y 4% de arcilla, en la zona media 27% de limo, 67% de arena y 5% de arcilla, y en la zona de la boca 21 % limo, 75% arena y 3% de arcilla. Este patrón espacial concuerda con el hecho de que en la zona de la boca hay mayor exposición a la marea y corrientes, con lo cual, las partículas pequeñas no pueden sedimentar, mientras que, en la zona interna la protección a este tipo de procesos físicos favorece la sedimentación de las partículas de menor tamaño.

b) Materia orgánica (MO%).

La concentración media global de MC en los sedimentos fué de 5.5%, con el mayor porcentaje en el mes de octubre con 9.57% y el menor en junio con 2.78%. El comportamiento de la MO durante el ciclo de estudio fué homogéneo en general (Fig. 12).

Tabla 4. Comparación de las medias de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la laguna de Celestún, de los muestreos de octubre 1994 a junio 1995.

PARÁMETRO	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun
Transparencia, %	58	58	63	s1	63
Temperatura, °C	27	24	19	26	27
pH	6.86	6.96	7.99	8.2	8.08
Salinidad, %,	22.3	20	24.06	28.22	27.19
Oxígeno Disuelto. mg/L	2.9	4.38	5.55	4.61	6.28
Nitratos NO ₃ uM	3.7'	5.6	5.6	1.77	0.84
Nitritos NO ₂ P ^M	1,8^	3.1	1.5	0.35	0.22
Amonio NH ₄ uM	20	10.57	37.44	8.05	8.05
Fósforo SRP pM	1.25	0.15	0.056	0.02	0.20
Sílice SRSi pM	41	247	48	105	153
Clorofila-a, mg m ⁻³	3.42	4.26	5.6	2.03	4.51
Feopigmentos, mg m ⁻³	4.33	2.84	4.11	15.5	2.92
Producción Neta de Fitoplancton mgC/m ³ /día	294	54	103	173	654

Macrófitos:

De los transectos de muestreo realizados durante las cinco campañas se obtuvo la distribución espacial de los principales grupos de macrófitos sumergidos para la laguna de Celestún, la cual se presenta en la figura 13. El patrón de distribución que se observa es de principalmente *Chara fibrosa* en la zona interna, *Ruppia cirrhosa* en la zona media y *Halodule wrightii* en la zona de la boca. Esta distribución sugiere que la covariación del gradiente de salinidad y tipo de sedimento es la principal responsable de esta distribución espacial.

Información mas detallada se encuentra en la base de datos del disco que se anexa.

Respecto a la riqueza específica (RE) por estaciones; las estaciones con menor RE fueron las estaciones internas mientras que las estaciones de la boca fueron las que presentaron mayor RE. Esta distribución de la riqueza de especies de macrófitos sugiere que la contribución de especies marinas es muy importante. Esta observación se puede robustecer a través de observar la figura 14a, en la cual. los meses de mayor RE de especies en la zona de la boca fueron los correspondientes a la época de nortes (diciembre y febrero). Las condiciones meteorológicas durante este período favorecen la entrada de masas de agua a la laguna arrastrando con ella especies propias del ambiente marino.

Por lo que respecta a la biomasa, la media fué de 92 g p.s. m⁻², con las mayor en el mes de diciembre (111 g p.s. m⁻²), y la menor en el mes de abril (75 g p.s. m⁻²) (Fig. 14b). El patrón de variación espacial fué irregular sugiriendo que la cobertura de los macrófitos es por parches.

La contribución por especies a la biomasa total se presenta en la figura 15a. En ella se observa que 4 especies de las 28 contribuyen con el 92.4% del total de la biomasa referida como g p.s. m⁻². Estas especies son: *Ch. fibrosa*, *H. wrightii*, *R. cirrhosa* y *Ch. linum*.

Los cambios temporales de la diversidad de especies medida con el índice de Shannon-Wiener (H'), son muy pequeños (Fig. 15b), sin embargo, sugieren que la distribución de la abundancia entre las especies de macrófitos fué mas homogénea en el mes de octubre (2.8) y mas heterogénea en el mes de junio (1.9).

Fitoplancton:

Para el caso del fitoplancton, la identificación ha resultado ser muy interesante ya que se han observado algunos ejemplares que parecen ser especies no descritas aun, o en las cuales las descripciones existentes no concuerdan con las dimensiones observadas. Por lo cual, se procederá a enviar algunas muestras a laboratorios de E.U.A. y Europa donde existen especialistas de cada grupo. Sin embargo, el trabajo ha sido lento y aun no se cuenta con la identificación completa.

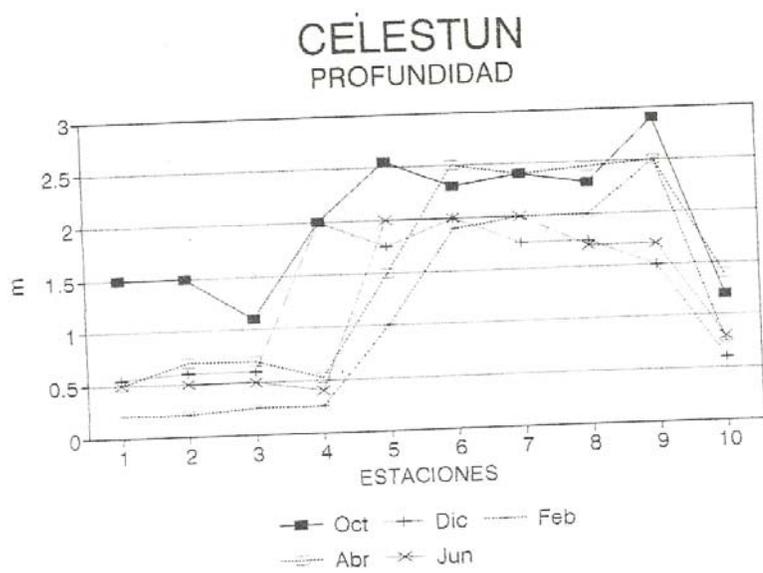
Hay que destacar que el grupo que domina la comunidad de fitoplancton en esta laguna es el de las cianofitas y diatomeas, con lo cual, doblemente se dificulta su identificación exacta. En el primer caso, para la identificación de este grupo se requiere de muestra *in vivo*, y de cultivos, y en el segundo infraestructura como microscopio electrónico.

Es por ello que para no caer en errores, el trabajo sólo incluye las identificaciones hasta nivel de especies en aquellas que se esta completamente seguro y hasta género (la mayoría) en la que existen dudas, esta información es la que ha servido de base para los análisis subsecuentes. Esta información es la misma que se ha incorporado a la base de datos en el diskette que se anexa, por lo que el campo de especie en la mayoría de los casos no esta cumplimentado.

La riqueza de especies en Celestún varió espacial mente sin un patrón definido (Fig. 16a), dominando en el interior el grupo de las cianofitas y en la zona marina las diatomeas. La riqueza de especies se espera que sea mayor a la reportada ya que al basarse en los géneros es altamente probable que se encuentren varias especies del mismo género, sin embargo, hasta ahora se podría afirmar que en los muestreos de la época de nortes secas hay mayor riqueza de especies (70 especies en ambas épocas), probablemente por la influencia marina que se observa durante esta época como lo señala el patrón de salinidad. Este mismo comportamiento se observó en el caso de los macrófitos.

La diversidad presentó un patrón mas homogéneo variando entre 3.7 y 4.3 bits/ind (Fig. 16b). Temporalmente, se observan diversidades altas (>5 bits/ind), la mayor fué durante el muestreo de nortes (5.9).

(A)



(B)

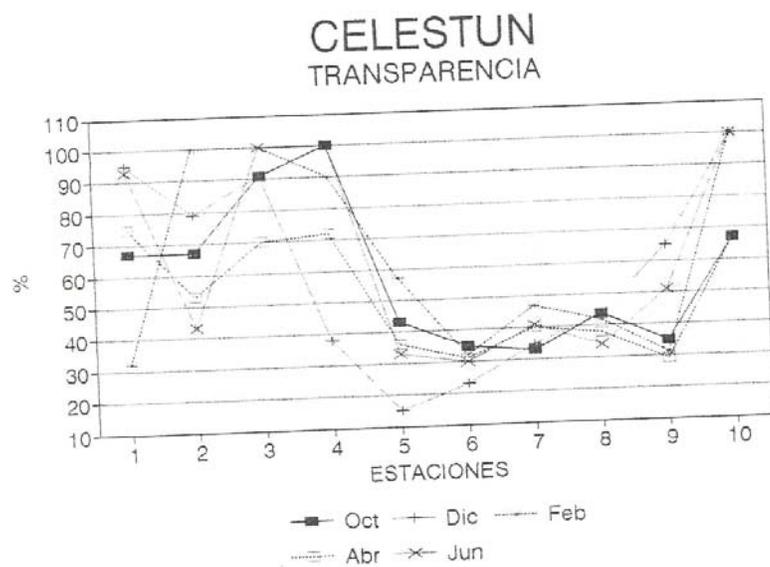
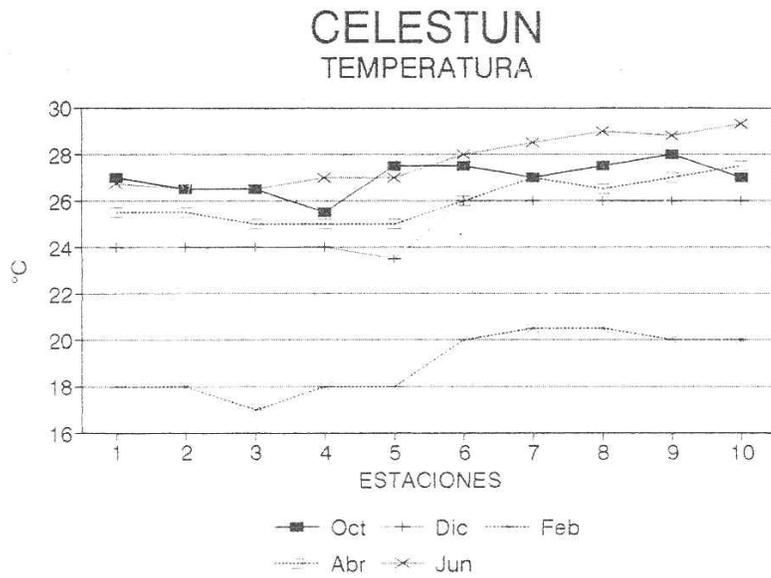


Figura 5. Distribución espacial de la profundidad (A) y transparencia (B) en la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

(A)



(B)

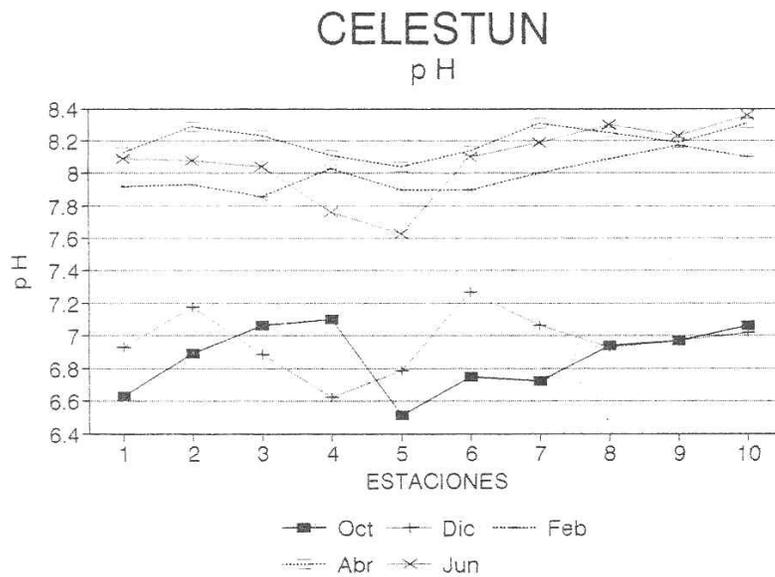


Figura 6. Distribución espacial de la temperatura (A) y pH (B) en la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

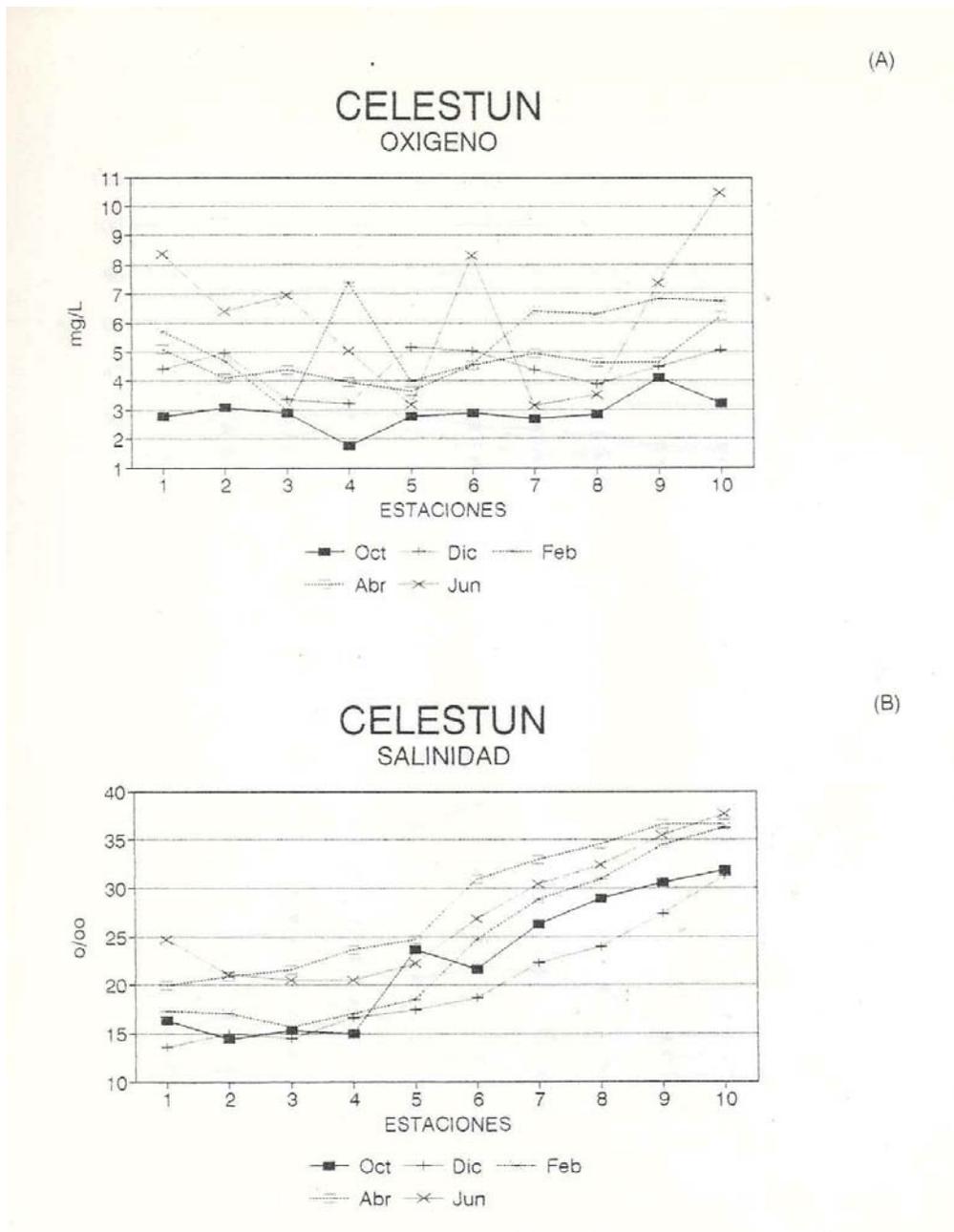
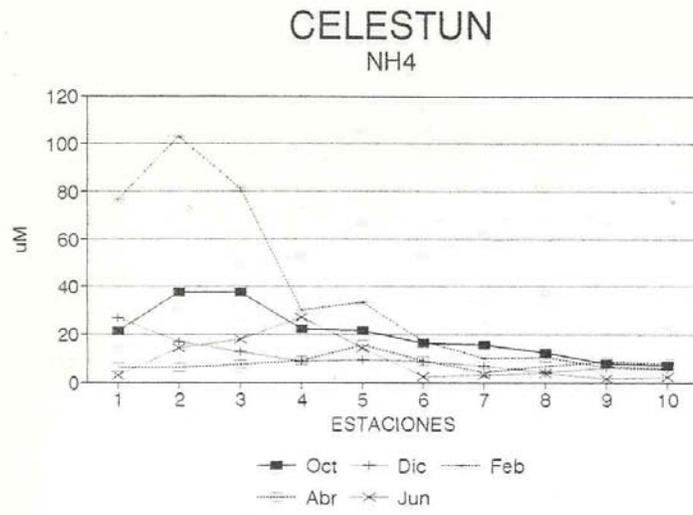


Figura 7. Distribución espacial del oxígeno (A) y salinidad (B) en la laguna de Celestún. durante el período de estudio.

(A)



(B)

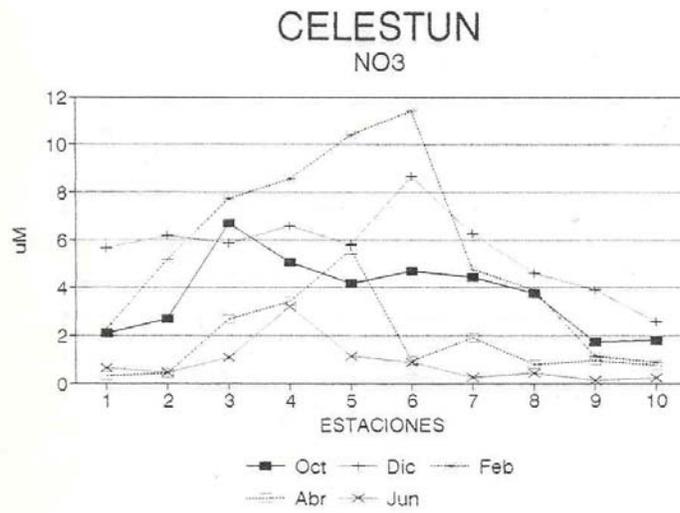


Figura 8. Distribución espacial del amonio (A) y nitrato (B) en la laguna de Celestún. durante el período de estudio.

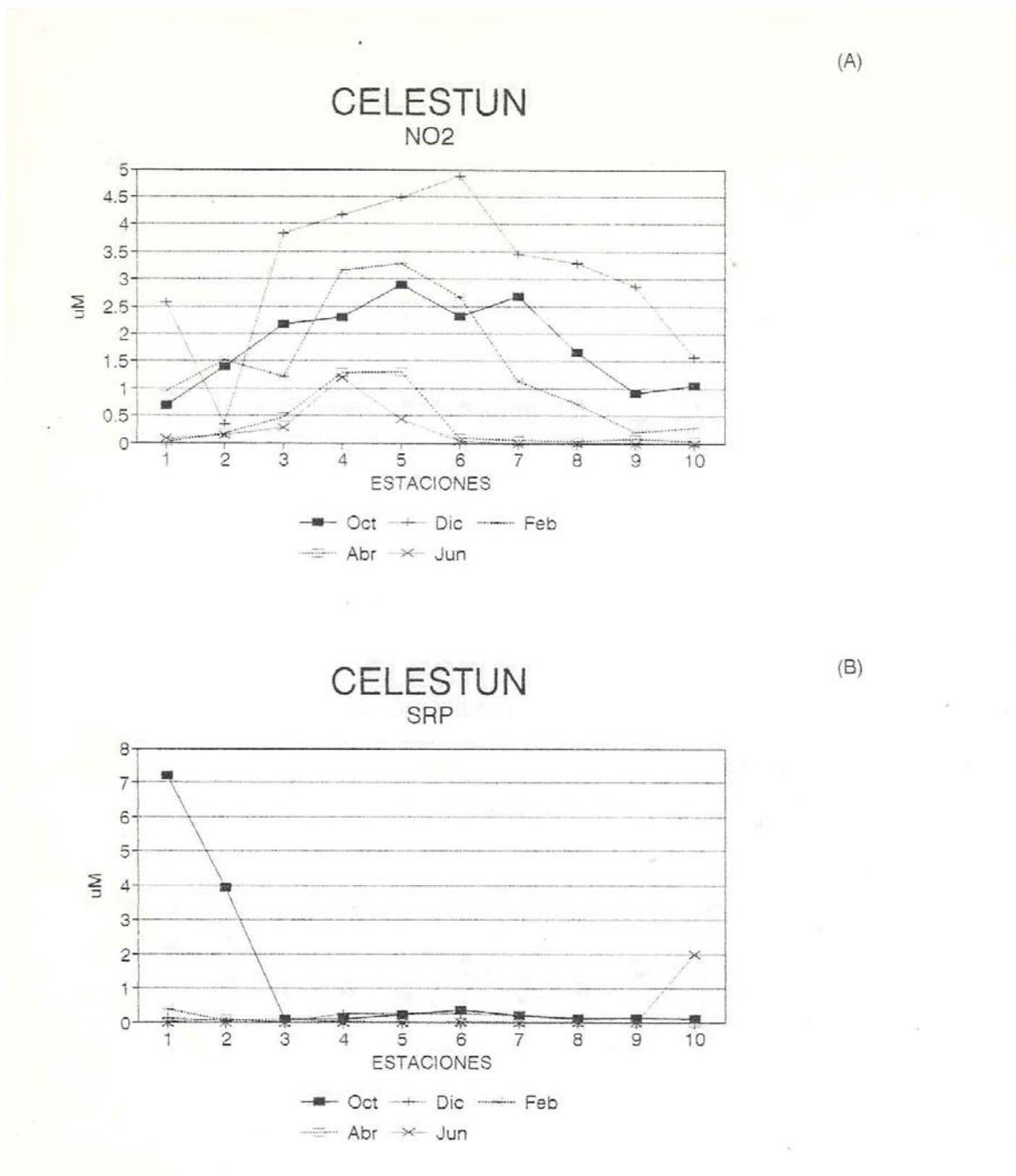


Figura 9. Distribución espacial del nitrito (A) y fósforo reactivo soluble (B) en la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

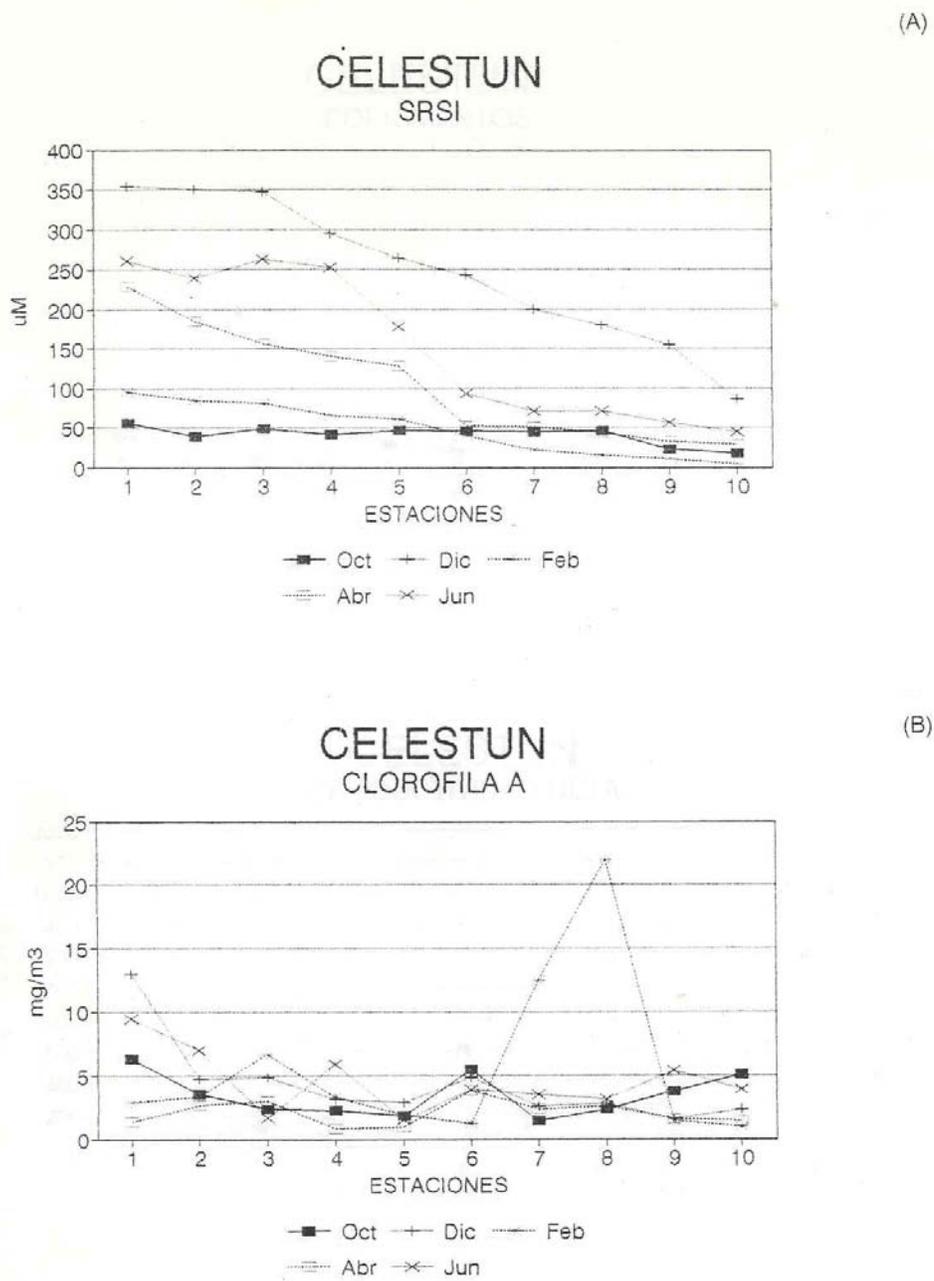


Figura 10. Distribución espacial del silice reactivo soluble (A) y clorofila-a (B) en la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

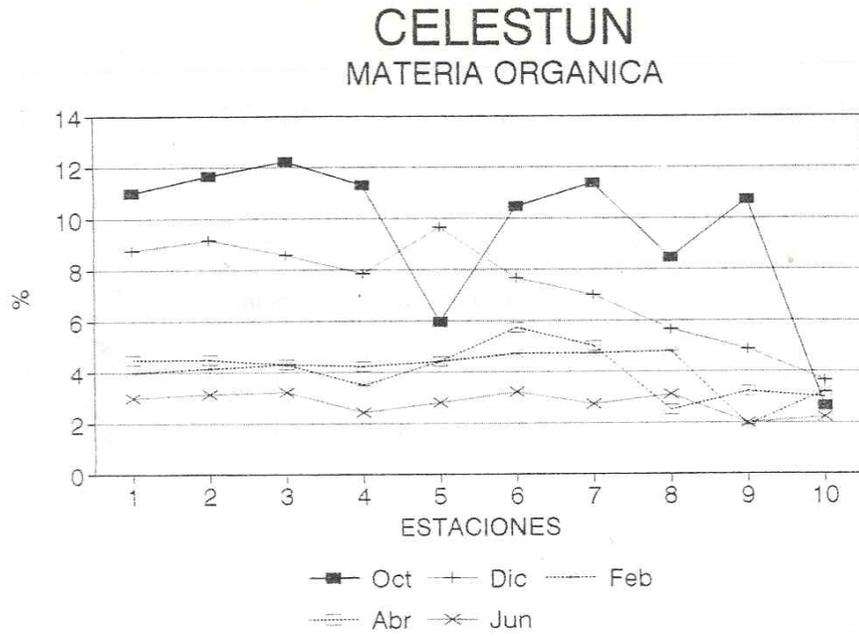


Figura 12. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica (A) en la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

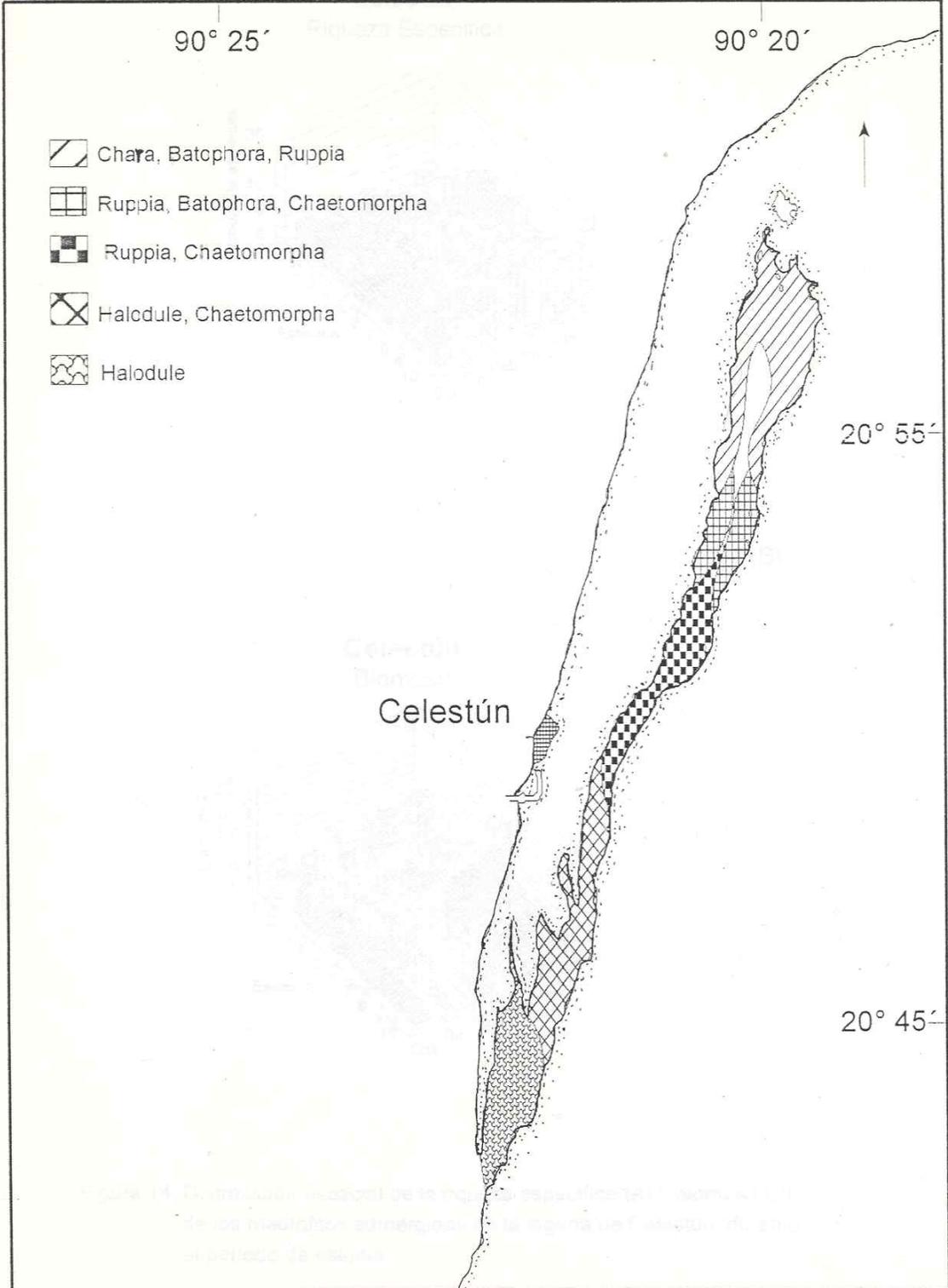
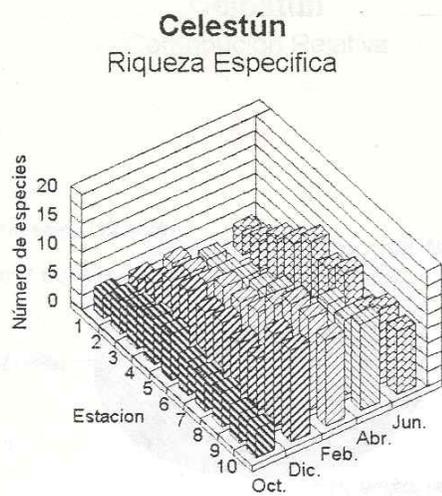


Figura 13 Distribución espacial de los macrófitos sumergidos en la laguna de Celestún.

(A)



(B)

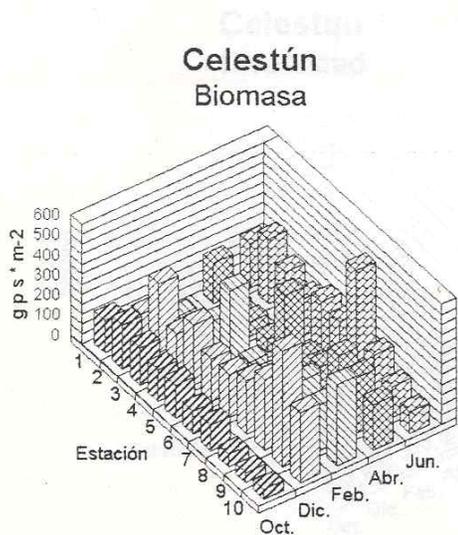
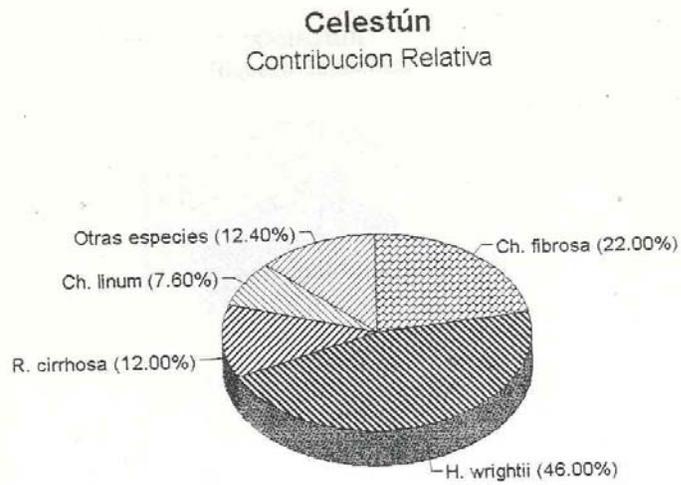


Figura 14. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y biomasa (B) de los macrófitos sumergidos de la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

(A)



(B)

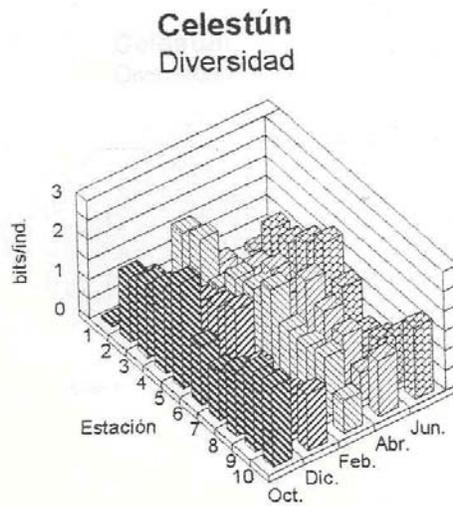
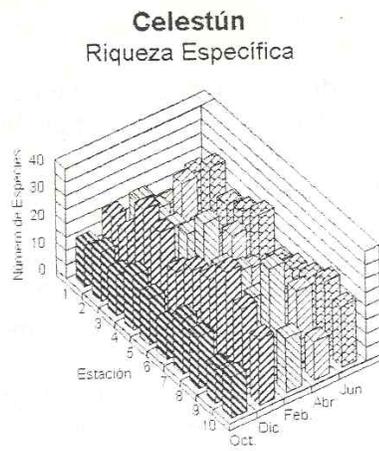


Figura 15. Contribución relativa a la biomasa (A) y diversidad (B) de 105 macrófitos sumergidos de la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

(A)



(B)

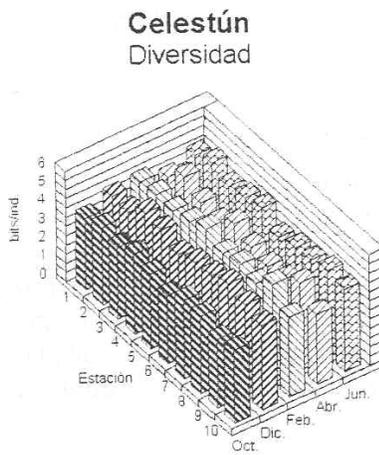


Figura 16. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y diversidad del fitoplancton de la laguna de Celestún, durante el período de estudio.

CHELEM:

Se realizaron cinco campañas de muestreo (octubre, diciembre, febrero, abril y junio), obteniéndose muestras hidrológicas y biológicas en 10 estaciones a lo largo de la laguna (Fig. 1).

Hidrología:

Las medias de los parámetros ambientales se presentan en las tabla 5, así como las variaciones espaciales en las figuras de la 17 a la 24. En ellas se pueden observar los diferentes patrones que existen para cada variable dentro de la laguna.

a) Profundidad (m) y Transparencia (%)

La laguna de Chelem es un sistema somero en el cual la profundidad media global fué de 1.47m, no tiene un canal de marea, el mes que presentó la mayor profundidad fué diciembre (1.73 m) y el de la menor profundidad febrero (1.03 m). En la figura 17a se observa la variación espacio-temporal de la profundidad en la laguna, que es homogénea durante el período de observaciones, siendo las estaciones más profundas la 9 y 10 en todos los meses, ya que es la zona donde se encuentra el puerto de altura de Yukalpeten.

La transparencia fué mayor en el mes de junio con 92% y menor en octubre con 79%, el promedio global fué de 83%. En la figura 17b se puede observar el comportamiento homogéneo de la transparencia durante el ciclo de observaciones, de las estaciones 1 a 5 fué del 1 00% exceptuando el mes de abril, y mientras que en el resto de las estaciones siguió el mismo comportamiento.

b) Temperatura (°C) y pH

La temperatura obtuvo una media global de 25.8°C, la máxima se presentó en junio (28.6°C) y la mínima en febrero (20°C). El comportamiento de este parámetro fué homogéneo durante el período de observaciones en la red de estaciones de muestreo, notándose que el mes más frío fué febrero que coincide con la época de nortes (Fig. 18a).

Respecto al pH se encontró su mayor valor en abril con 8.33 y el menor en diciembre con 6.98, con un promedio en el ciclo de observaciones de 7.8. El comportamiento del pH fué homogéneo como se observa en la figura 18b. Los valores de pH sugieren que la dominancia de aguas de características alcalinas, lo que se relaciona con las características cársticas del suelo de la región.

c) Oxígeno Disuelto (OD, mg/L).

Por lo que respecta al oxígeno disuelto, se presentaron valores medios globales de 6.3 mg/L. La concentración más alta se observó en febrero con 7.04 mg/L y la menor de 5.49 mg/L en abril. Su variación espacio-temporal se puede observar en la figura 19a, en la cual el patrón es homogéneo en todos los meses. Las concentraciones menores de oxígeno disuelto se observaron en zonas donde existe escaso recambio de agua, la temperatura y la salinidad son altas, así como en zonas donde la descomposición de materiales orgánicos es también alta.

d) Salinidad (%0).

Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media general fué de 36.39%0. El valor más bajo (32.06%0) se presentó en octubre y el más alto (41.12%0) en junio. La variación espacio-temporal de este parámetro se presenta en la figura 19b, en la cual se puede observar que el gradiente sigue un patrón de la porción oeste, con mayores salinidades, hacia la boca. Este patrón sugiere que la mayor influencia de las descargas de agua dulce es en las estaciones internas en los meses de octubre y diciembre, sin embargo, probablemente los aportes no son lo suficientemente intensos como para hacer variar la salinidad por abajo de 25%0, con lo que la laguna tiene un comportamiento marino respecto a este parámetro.

e) Nutrientes.

Para el amonio, la mayor concentración se encontró en el mes de octubre con 11.15 μM Y la menor en junio 6.39 μM , con un promedio global de 8 μM . El comportamiento del amonio durante el período de observaciones se puede observar en la figura 20a, en donde las concentraciones se mantienen con escasa variación durante el período de estudio, notándose las altas concentraciones (>15 μM) de las estaciones 1, 2 Y 3 del mes de octubre.

Los nitratos presentaron una media global de 1.53 μM , la máxima concentración se obtuvo en diciembre (2.68 μM) Y la mínima en junio (0.54 f.JM). El comportamiento de este parámetro en general fué muy variable, con picos de altas concentraciones en el mes de octubre en las estaciones 3 y 6 (Fig. 20b). Este comportamiento sugiere que los procesos de nitrificación y desnitrificación en los sedimentos, así como la mineralización de materia orgánica son mas importantes que los aportes por manantiales como sucede en Celestún.

Por lo que respecta a los nitritos, la mayor concentración fué de 0.51 μM en octubre y la menor de 0.09 μM en abril, el promedio general fué de 0.3 μM . El comportamiento espacio-temporal se puede apreciar en la figura 21 a, donde se observa que en general las concentraciones son bajas, exceptuando un pico de alta concentración en el mes de diciembre en la estación 7 (2.7 μM).

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (SRP) fueron bajas, la mayor concentración se obtuvo en octubre (1.2 μM) y la menor en abril (0.01 μM). El comportamiento de este parámetro se observa en la figura 21 b, el cual es muy irregular y sin un patrón definido. Por las bajas concentraciones observadas de este nutriente durante casi todo el período de muestreo se propone la hipótesis de que es el factor limitante para el desarrollo de los productores primarios en este sistema.

El sílice reactivo soluble (SRSi) presentó valores medios globales de 49 μM , la máxima concentración se obtuvo en diciembre con 114 μM Y la menor en febrero con 9 μM . El patrón espacio-temporal se observa en la figura 22a, donde se aprecia que en todos los meses de estudio el SRSi se distribuye homogéneamente en la red de estaciones de muestreo, cabe resaltar que en junio en las estaciones de la zona oeste las concentraciones son altas (>100 μM), pero a la altura de la estación 5 disminuyen de manera significativa (<20 μ). Las menores concentraciones respecto a las observadas en Celestún, refuerzan la hipótesis de que los aportes por parte de los manantiales son de menor magnitud que en aquella laguna.

f) Pigmentos.

La concentración media general de Clorofila-a (Cl-a) fué de 2.43 mg m⁻³, la mayor se presentó en octubre (3.99 mg m⁻³) y la menor en junio (1.39 mg m⁻³). El comportamiento espacio-temporal de la Cl-a fué homogéneo, con las altas concentraciones en el mes de octubre en las estaciones de la zona este de la laguna (Fig. 22b).

Los feopigmentos (Fp) encontraron su máxima concentración en el mes de octubre (7.13 mg m⁻³) y la mínima en abril (2.55 mg m⁻³), con un promedio global de 4.55 mg m⁻³. La variación espacio-temporal de Fp es irregular de altas concentraciones (>20 mg m⁻³) en octubre disminuyendo hasta <1 mg m⁻³ en febrero (Fig. 23a).

g) Productividad Primaria Fitoplanctónica (PPN).

Las tasas de producción neta de fitoplancton tienen una media general de 180 mgC/m³/día y se correlacionan tanto espacial como temporalmente con el patrón de variación de la Cl-a. Las mayores tasas de PPN se presentan en octubre (313 mgC/m³/día) y las menores (34 mgC/m³/día) en diciembre (Fig. 23b). El patrón temporal de PPN es similar al de Celestún pero con tasas menores.

Sedimentos:

a) Textura.

Los sedimentos de la laguna presentaron pequeñas variaciones espaciales en los porcentajes de Arena, Arcilla y Limo. En promedio los porcentajes de los diferentes tamaños de partículas son: 74% arena, 20% de arcilla y 5.4% de limo. Con lo cual predominan los sedimentos de tipo areno-arcillosos. Esta estructura del sedimento es un reflejo de la influencia que ha tenido la abertura de la dársena y el puerto de abrigo en la laguna.

b) Materia orgánica (MO%).

La concentración media de MO en los sedimentos fué de 4.38%, el máximo porcentaje de MO se encontró en diciembre con 5.71 % Y el mínimo en abril con 3.33%. El patrón de variación espacio-temporal es irregular (Fig. 24).

Macrófitos:

De las cinco campañas de muestreo se han identificado 26 especies y la distribución espacial de los principales grupos se presenta en la figura 25. El patrón de distribución que se observa es de principalmente *Laurencia microcladia* en la zona interna, *Ruppia maritima* en la zona media y *Halodule wrightii* y *Thalassia testudinum* en la zona de la boca. Esta

distribución sugiere que además de la covariación del gradiente de salinidad y tipo de > sedimento, existe otro factor que pudiera ser de mayor importancia y es la hidrodinámica de

la laguna. En la zona interna es muy escaso el movimiento de masas de agua, favoreciendo incluso salinidades mayores a las del mar. Mientras en la zona de la boca las corrientes favorecidas por la dársena promueven condiciones en la columna del agua poco favorables para el desarrollo de algas y los pastos marinos son dominantes.

Información mas detallada se encuentra en la base de datos del disco que se anexa.

Respecto a la riqueza específica (RE) por estaciones, las estaciones con menor RE fueron las estaciones en la zona del puerto de abrigo, mientras que las estaciones intermedias fueron las que presentaron la mayor RE (Fig 26a). El periodo de mayor RE de macrófitos en Chelem fué Abril con 21 especies y la menor en Octubre con 14. La distribución de especies en la zona media robustece la hipótesis de que en la laguna de Chelem la hidrodinámica juega un papel importante en la distribución de la comunidad de macrófitos. Ya que en la zona con menor influencia de las corrientes las especies de algas dominan, mientras que en la zona de mayor influencia las especies con estructuras de sosten como los pastos marinos dominan esta área.

Las especies de macrófitos en la laguna de Chelem indican que la influencia del mar es muy importante, y las condiciones de alta transparencia son favorables para el desarrollo de este grupo. Sin embargo, como se pudo observar durante las campañas de muestreo la cobertura de macrófitos en Chelem es de solo el 30%.

Por lo que respecta a la biomasa, la media fué de 225 g p.s. m⁻², con la mayor en el mes de junio (361 g p.s. m⁻²), y la menor en el mes de abril (170 g p.s. m⁻²) (Fig. 26b). El patrón de variación espacial fué muy irregular sugiriendo que la cobertura de los macrófitos es por parches y muy escasa.

La contribución por especies a la biomasa total se presenta en la figura 27 a. En ella se observa que 3 especies de las 17 contribuyen con el 85% del total de la biomasa referida como g p.s. m⁻². Estas especies son: *Laurencia microcladia*, *H. wrightii*, y *Thalassia testudinum*.

Los cambios temporales de la diversidad de especies medida con el índice de Shannon-Wiener (H), son muy pequeños (Fig. 27b), sin embargo, sugieren que la distribución de la abundancia entre las especies de macrófitos fué mas homogénea en el mes de octubre (2.8) y mas heterogénea en el mes de junio (1.8)

Fitoplancton:

La riqueza de especies en Chelem fué la mayor de las tres lagunas estudiadas y varió espacialmente de manera irregular, lo cual sugiere que el arreglo de las comunidades responde a una combinación diferente de factores ambientales (Fig. 28a). El grupo dominante en todo el sistema fué el de las diatomeas pennales, el cual es en su mayoría son representantes de la comunidad béntica. Esto sugiere que la hidrodinámica como fué apuntado para la hidrología juega un papel importante en la comunidad del fitoplancton también.

La riqueza de especies se espera que sea mayor a la reportada ya que al basarse en los géneros es altamente probable que se encuentren varias especies del mismo género, sin embargo, hasta ahora se podría afirmar que en los muestreos de la época de nortes hay mayor riqueza de especies (101 especies), probablemente por la influencia marina que se observa durante esta época como lo señala el patrón de salinidad.

La diversidad presentó un patrón mas homogéneo variando entre 3 y 5.5 bits/ind (Fig. 28b). Temporalmente, se observan diversidades altas (>6 bits/ind), la mayor fué durante el muestreo de nortes (5.9).

Tabla 5. Comparación de las medias de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la laguna de Chelem, de los muestreos de octubre 1994 y junio 1995.

PARAMETRO	Oct	Dic	Feb	Abr	Jun
Transparencia, %	79	80	81	86	92
Temperatura, °C	28	26	20	26	28
pH	7.73	6.9	8.19	8.33	8.1
Salinidad, ‰	32	35.22	35.75	37.84	41.12
Oxígeno Disuelto, mg/L	6.51	6.83	7.04	5.49	5.63
Nitratos NO ₃ ⁻ μM	2.24	2.68	1.22	0.99	0.54
Nitritos NO ₂ ⁻ μM	0.51	0.47	0.19	0.09	0.26
Amonio NH ₄ ⁺ μM	11.15	7.49	7.81	7.26	6.39
Fósforo SRP μM	1.2	0.15	0.02	0.01	0.01
Sílice SRSi μM	27	114	9	30	65
Clorofila-a, mg m ⁻³	3.99	1.44	3.45	1.89	1.39
Feopigmentos, mg m ⁻³	7.13	3.25	4.06	2.55	5.77
Producción Neta de Fitoplancton mgC/m ⁻³ /dia	313	34	82	280	189

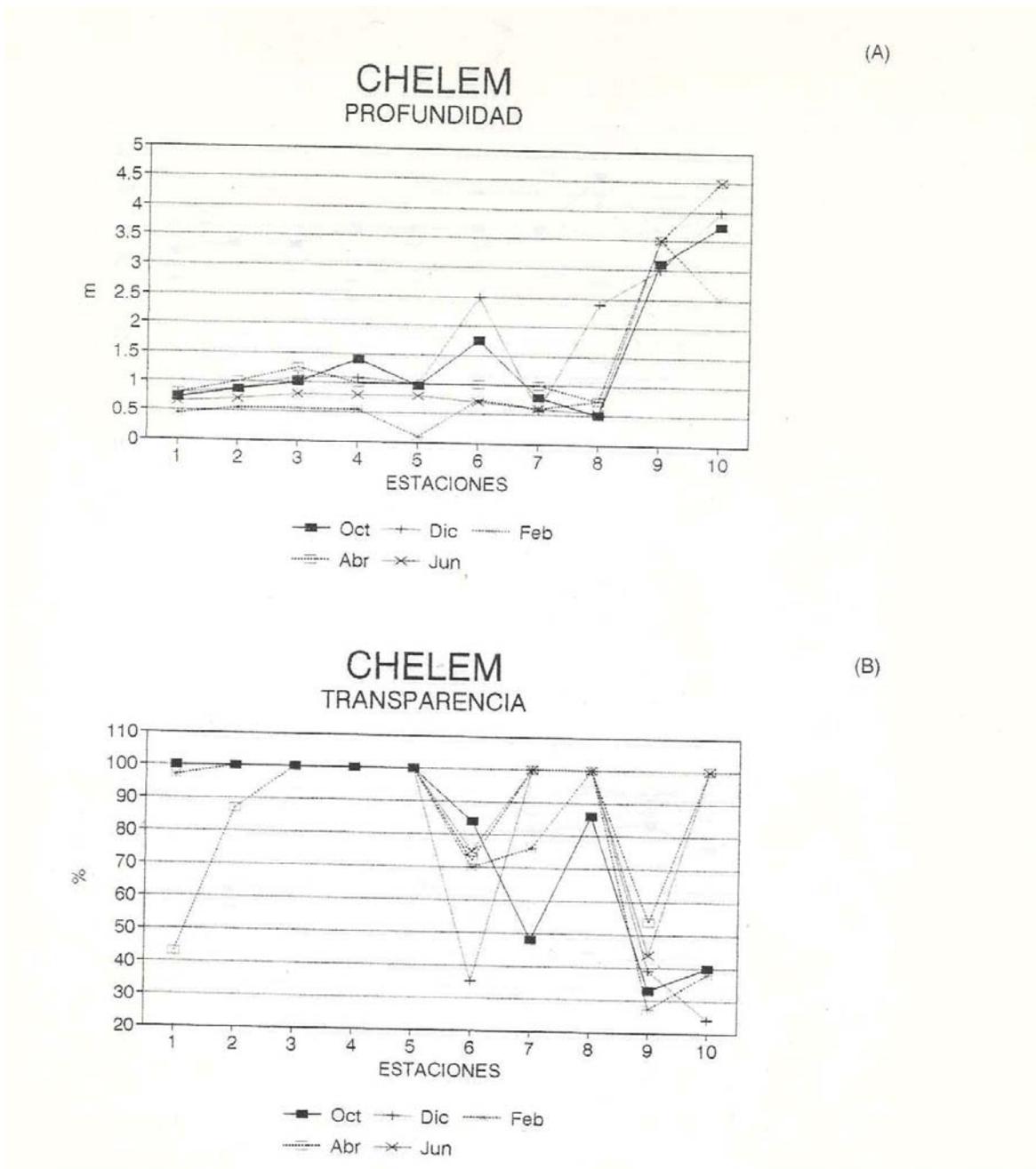
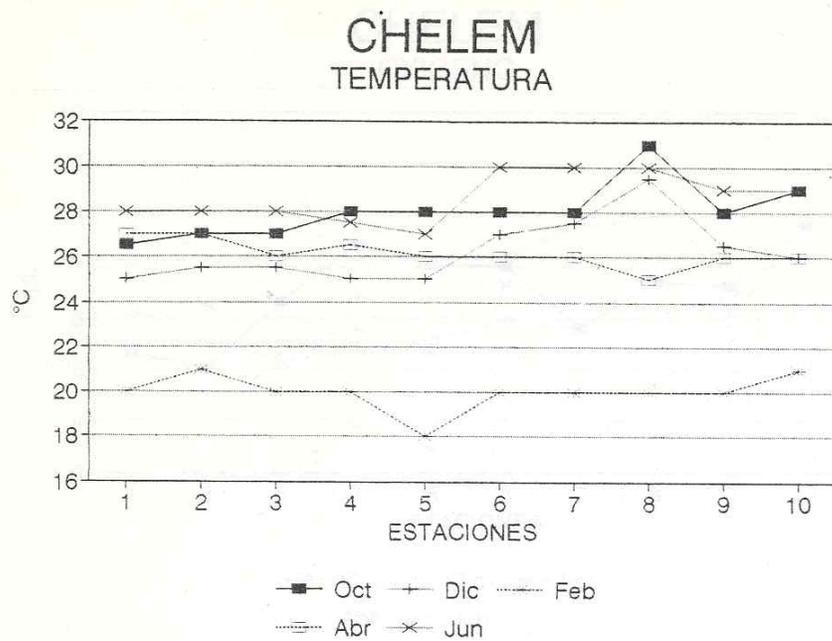


Figura 17. Distribución espacial de la profundidad (A) y transparencia (B) en la laguna de Chelem. durante el período de estudio.

(A)



(B)

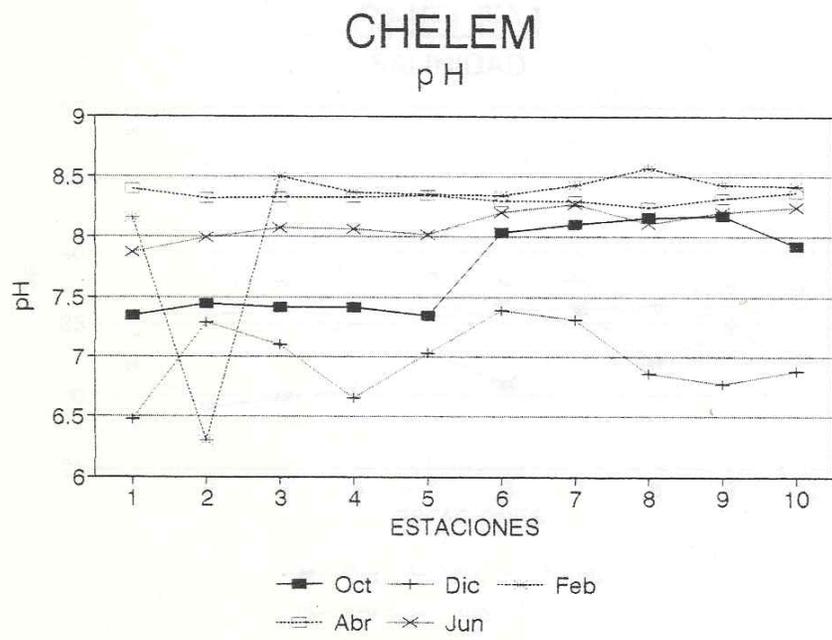


Figura 18. Distribución espacial de la temperatura (A) y pH (B) en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

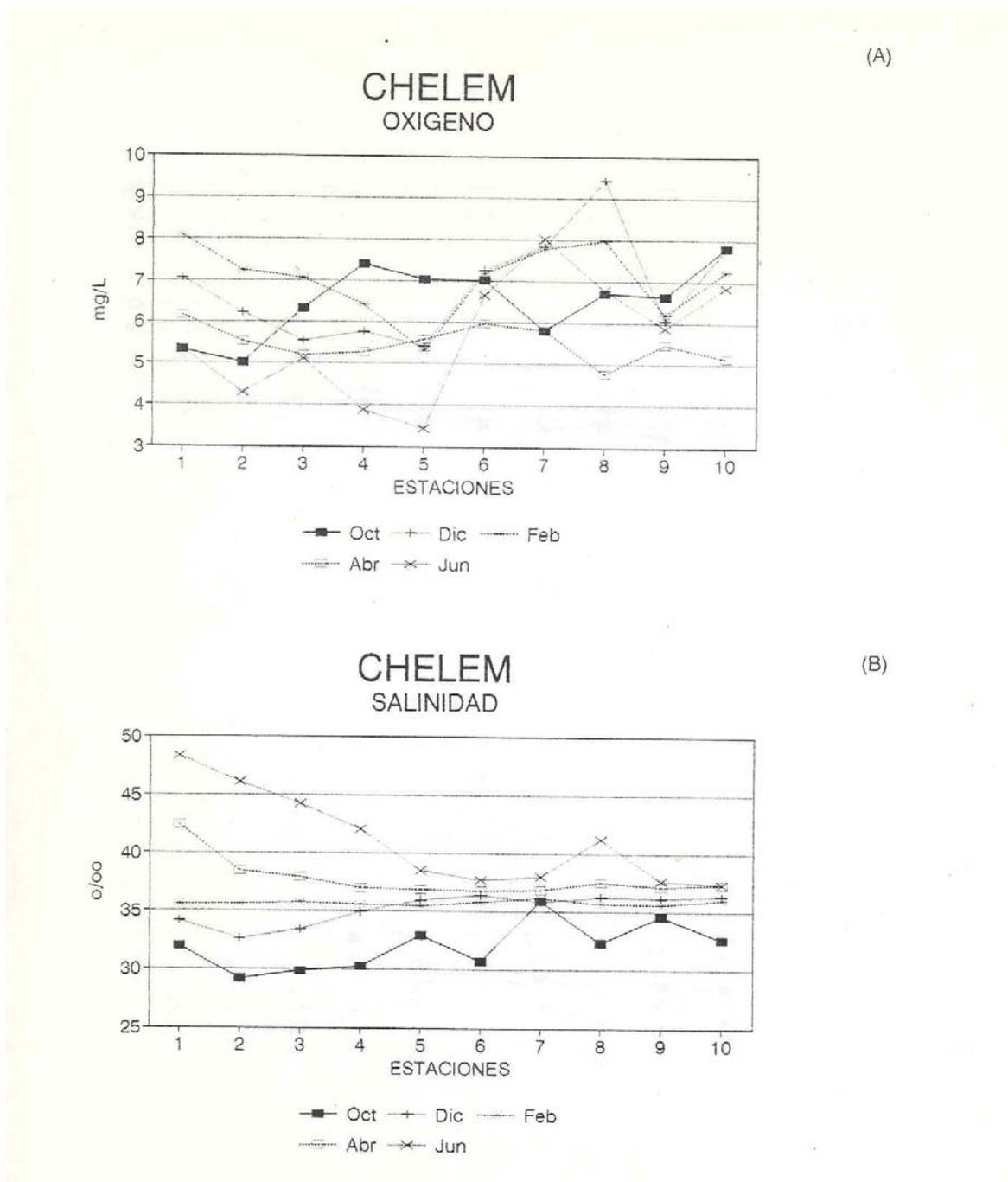
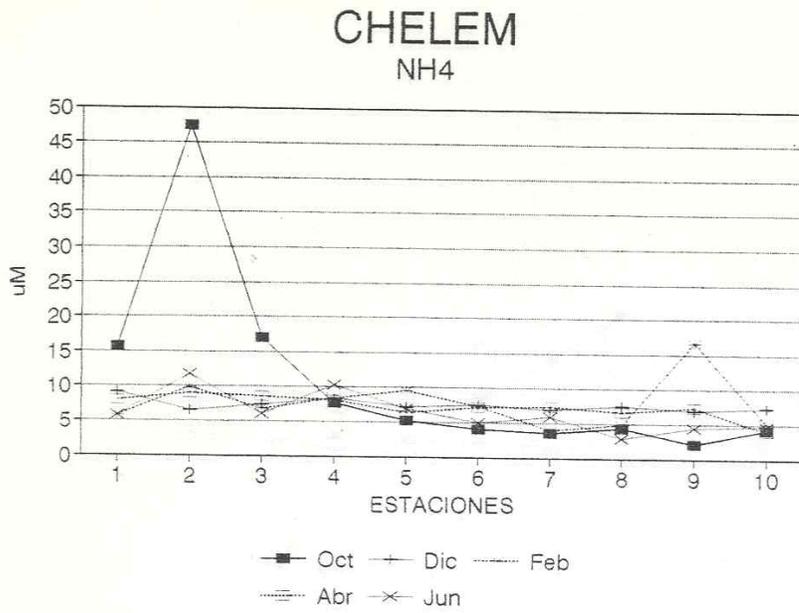


Figura 19. Distribución espacial del oxígeno (A) y salinidad (B) en la laguna de Chelem. durante el período de estudio.

(A)



(B)

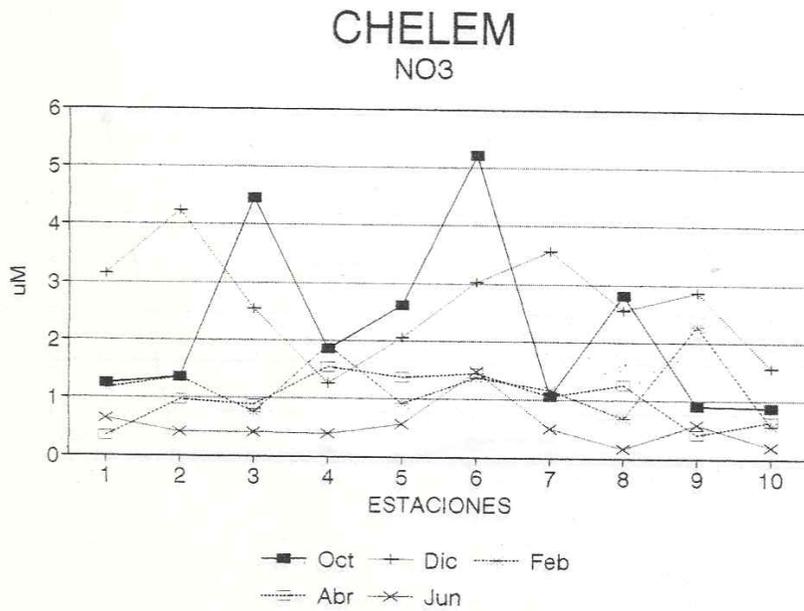


Figura 20. Distribución espacial del amonio (A) y nitrato (B) en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

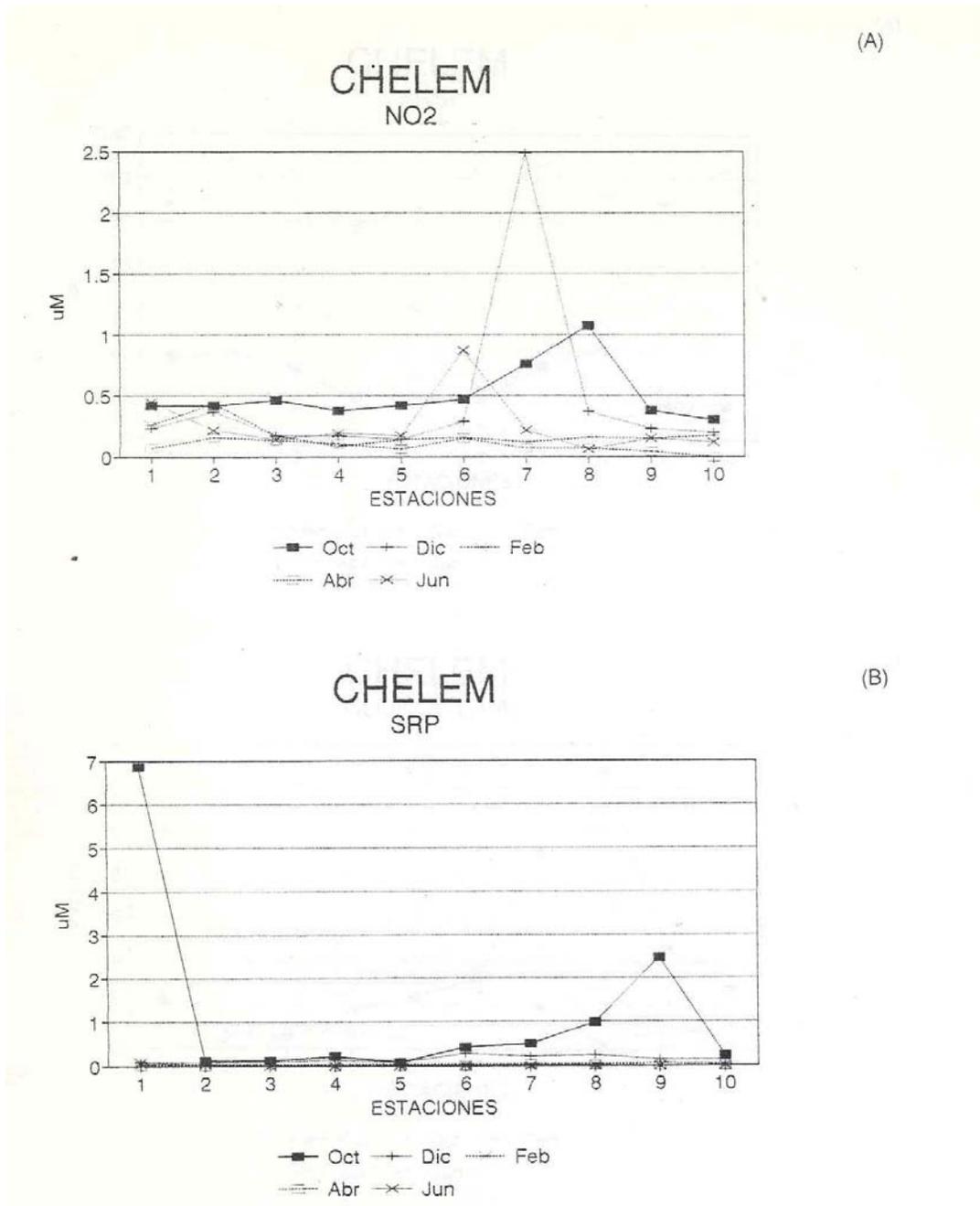


Figura 21. Distribución espacial del nitrito (A) y fosforo reactivo soluble (B) en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

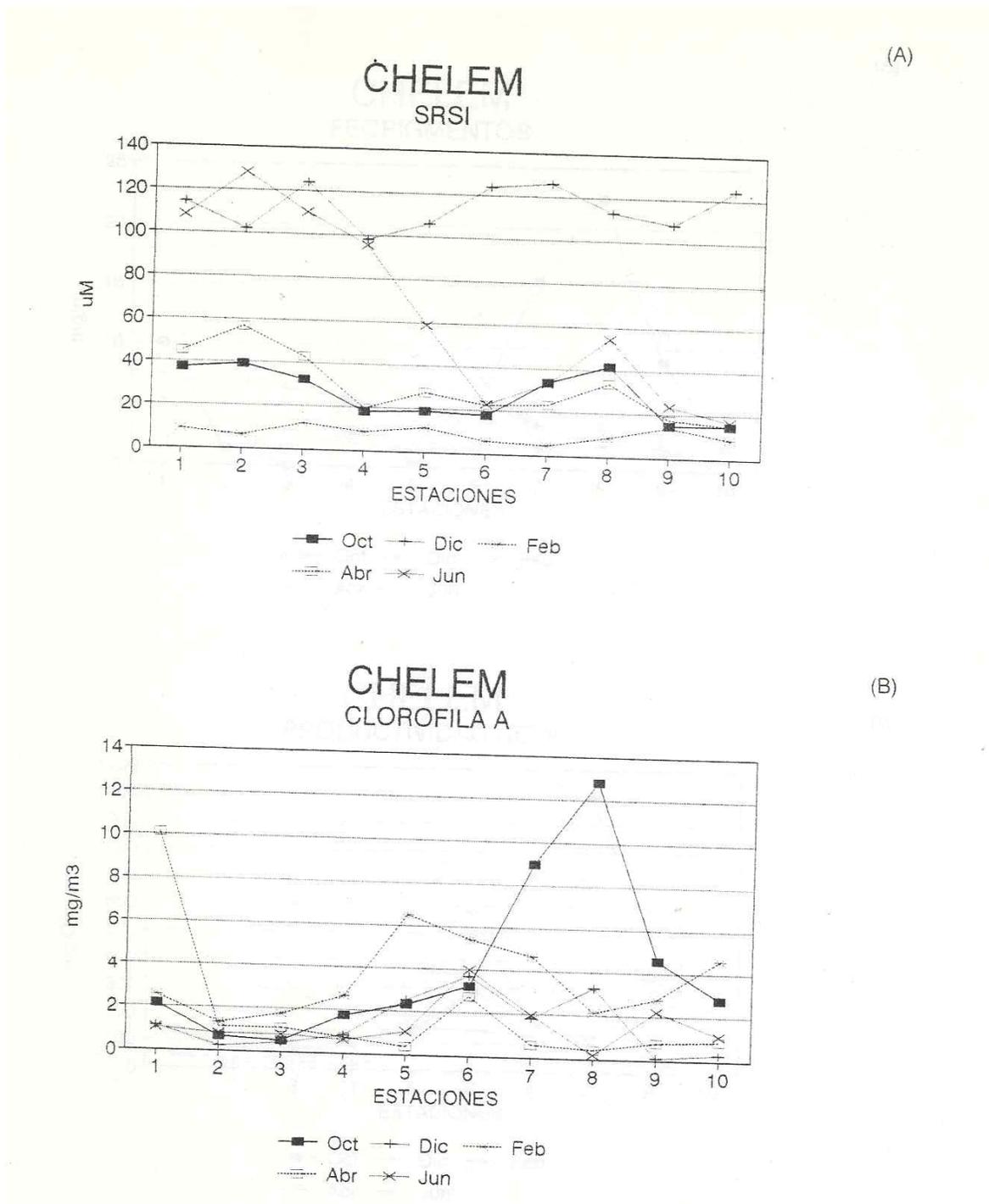


Figura 22. Distribución espacial del sílice reactivo soluble (A) y clorofila-a (B) en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

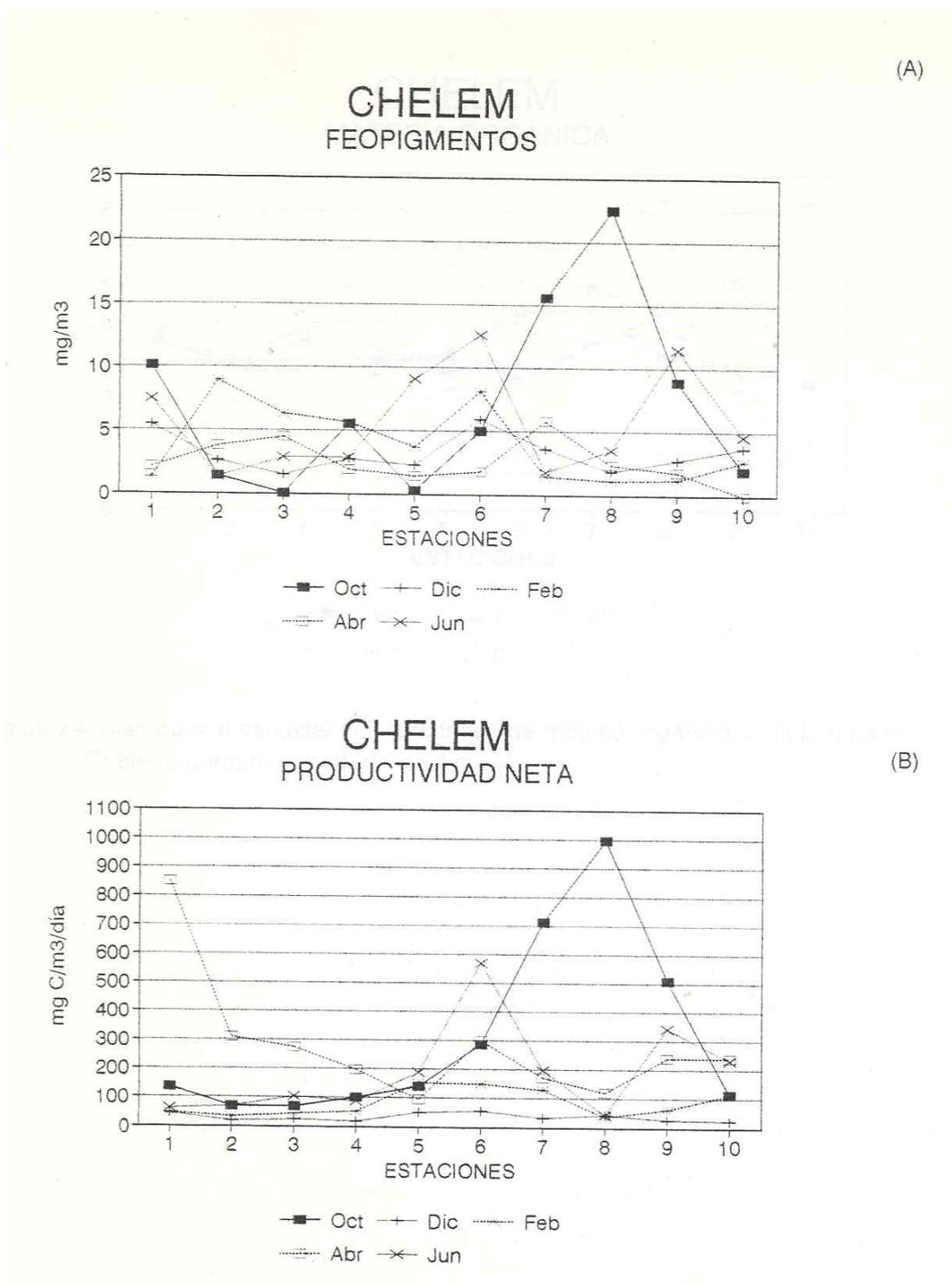


Figura 23. Distribución espacial de feopigmentos (A) y productividad neta (B) en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

CHELEM

MATERIA ORGANICA

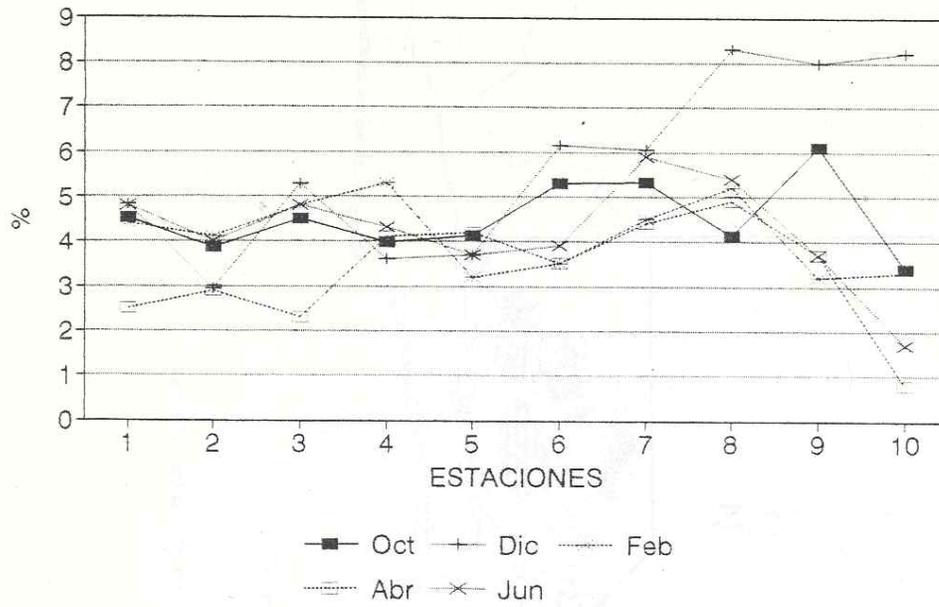


Figura 24. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica en la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

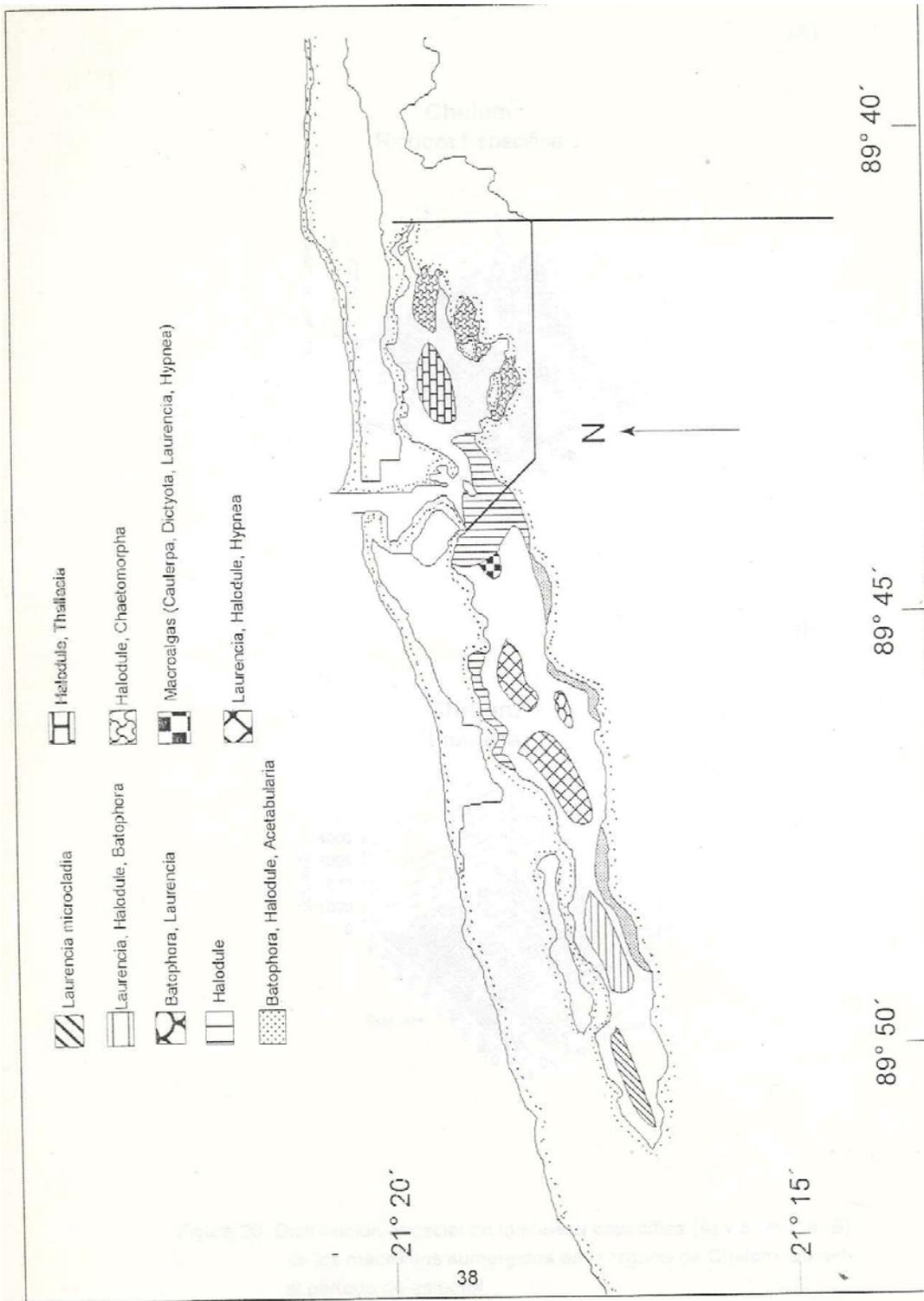
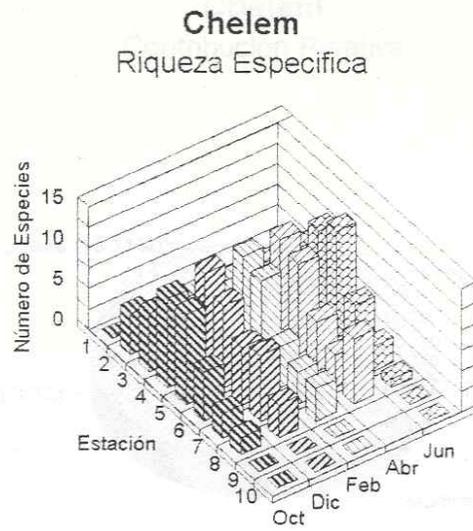


Figura 25 Distribución espacial de los macrófitos sumergidos en la laguna de Chelem.

(A)



(B)

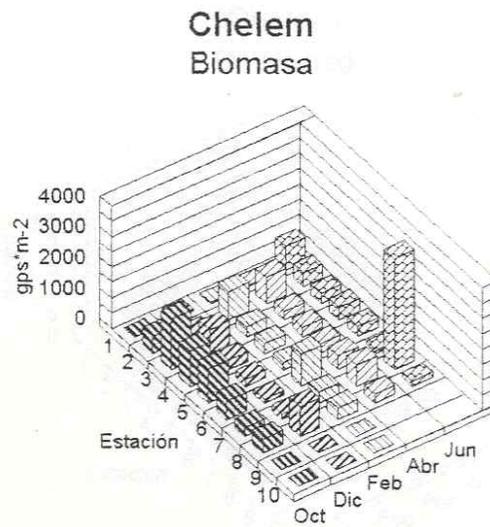
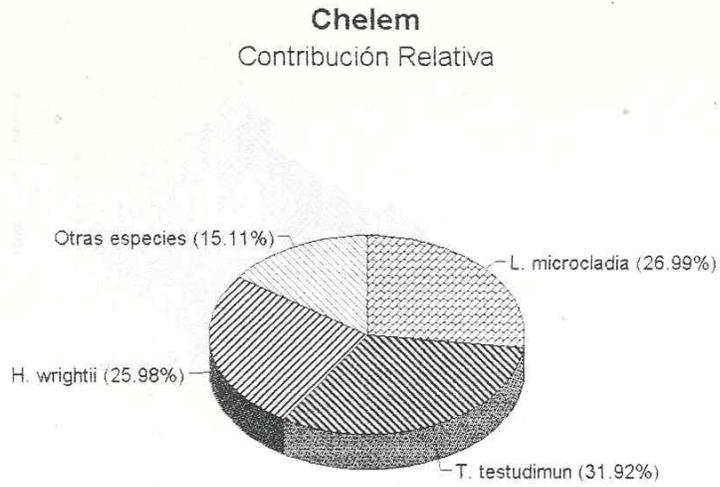


Figura 26. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y biomasa (B) de los macrófitos sumergidos de la laguna de Chelem, durante el período de estudio

(A)



(B)

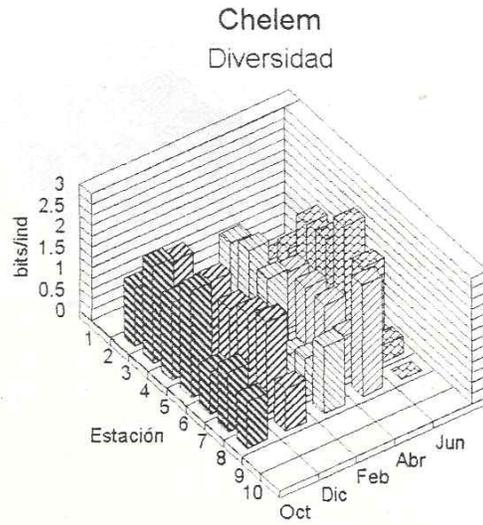
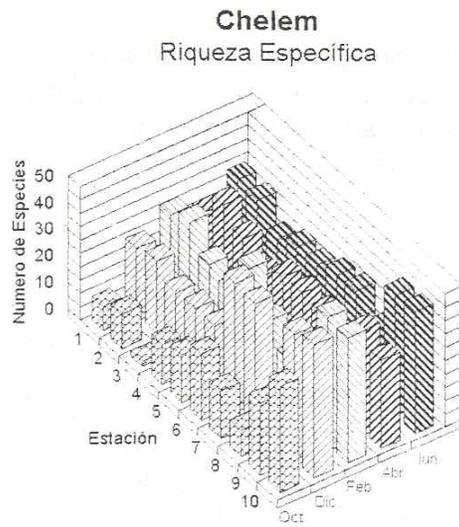


Figura 27. Contribución relativa a la biomasa (A) y diversidad (B) de los macrófitos sumergidos de la laguna de Chelem, durante el periodo de estudio.

(A)



(B)

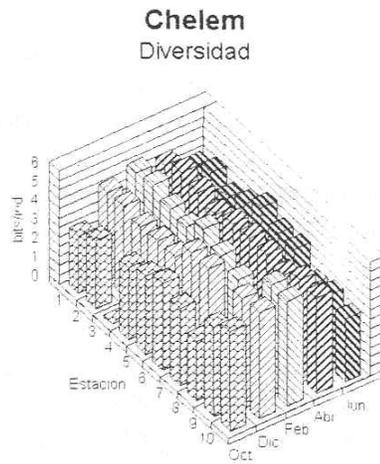


Figura 28. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y diversidad del fitoplancton de la laguna de Chelem, durante el período de estudio.

DZILAM

Se realizaron tres campañas de muestreo (noviembre, febrero y mayo), obteniéndose muestras hidrológicas y biológicas en 7, 9 Y 10 estaciones respectivamente a lo largo de la laguna, el número de estaciones muestreadas ha sido diferente en cada campaña debido a condiciones de marea desfavorables en las primeras dos .

Hidrología:

Las medias de los parámetros ambientales se presentan en las tabla 6, así como las variaciones espaciales en las figuras de la 29 a la x. En ellas se pueden observar los diferentes patrones que existen para cada variable dentro del sistema lagunar.

a) Profundidad (m) y Transparencia (%)

La laguna de Dzilam es un sistema somero en el cual la profundidad media global fué de <0.67m, no tiene canal de marea, el mes que presentó la mayor profundidad fué mayo con 0.88 m y la menor en febrero con 0.54 m. En la figura 29a se observa la variación espaciotemporal de la profundidad que es variable en los tres meses de estudio.

La transparencia tiene una media general de 89%, la mayor se encontró en febrero 95% y la menor en mayo con 80%. La variación de este parámetro es escasa como se puede apreciar en la figura 29b, debido a que es una laguna somera y por el tipo de sedimentos dominantes (arena).

b) Temperatura (°C) y pH.

La temperatura presentó un promedio global de 24.5°C, la temperatura máxima se encontró en mayo (28.4°C) y la mínima en febrero (22.2°C). En la figura 30a se puede observar que la temperatura presentó escasa variación durante el período de muestreo, siendo mayo el mes más cálido.

El pH obtuvo un valor medio de 7.8, registrando su mayor valor de 8.45 en febrero y el menor 6.54 en noviembre. El comportamiento del pH fué homogéneo durante el ciclo de observaciones (Fig 30b).

c) Oxígeno Disuelto (OD, mg/L).

En lo que respecta al oxígeno disuelto, se presentaron valores medios generales de 6.53 mg/L. La concentración más alta se observó en febrero con 7.24 mg/L y la menor de 5.82 mg/L en noviembre. Su variación espacio-temporal se puede observar en la figura 31 a, en la cual el patrón es de altas concentraciones en las estaciones de la zona de fondo de la porción este disminuyendo hacia la boca de la laguna. Este patrón podría estar asociado a la cobertura de macrófitos sumergidos, la cual fué mayor en las zonas internas de la laguna que en la zona de la boca.

d) Salinidad (‰).

Por lo que respecta a la salinidad, su concentración media fué de 33.1 ‰ (Tabla 6). El valor más bajo (30.28‰) se presentó en noviembre y el más alto (34.87‰) en mayo. La variación espacio-temporal de este parámetro se presenta en la figura 31 b, en la cual se

puede observar un gradiente que aumenta de la porción oeste hacia la boca. En las estaciones 3, 5 Y 7 se observa, en los tres meses de muestreo, que hay una disminución en la salinidad. La laguna tiene un comportamiento marino respecto a este parámetro.

e) Nutrientes.

El amonio presentó un promedio en concentraciones de 4.35 μM , con la máxima en mayo (5.4 μM) Y la mínima en noviembre (2.64 μM). La variación espacio-temporal se observa en al figura 32a, donde en el brazo este se presentan concentraciones altas para ir disminuyendo conforme se hace cercana la zona marina (estaciones 1 a 5), mientras que en el brazo oeste las concentraciones se comportan de forma homogénea.

Los nitratos presentaron su mayor concentración en el mes de noviembre (4.07 μM) Y la menor en mayo (0.58 μM), el promedio general fué de 2.08. En la figura 32b se puede apreciar el comportamiento de este parámetro durante el ciclo de observaciones, en general fué de escasa variación, observándose que en noviembre se presentan las mayores concentraciones, exceptuando un pico de alta concentración en el mes de febrero en la estación 6. Las concentraciones de este nutrimento sugieren que los aportes por los manantiales durante el período de muestreo son poco significativos, y los procesos internos esta n dominando el comportamiento de estos nutrientes.

Para los nitritos, la concentración media global fué de 0.66, el máximo en concentraciones se presentó en febrero con 0.87 μM Y el mínimo en mayo con 0.37 μM . Las concentraciones en general fueron bajas $<1 \mu\text{M}$), exceptuando un pico de $>5 \mu\text{M}$ en el mes de febrero (Fig. 33a).

Las concentraciones de fósforo reactivo soluble (SRP) fueron bajas en el período de estudio, el promedio global fué de 0.51 μM , la mayor se encontró en noviembre (1.46 μM) Y la menor en mayo (0.03 μM). En todos los meses las concentraciones son menores de 1 μM , con la excepción de noviembre en la estación 1 (8 μM) (Fig. 33b).

El sílice reactivo soluble (SRSi), presentó un promedio de 68 μM , la máxima concentración se presentó en noviembre (164 μM) Y la mínima en mayo (16 μM). En la figura 34a se observa el comportamiento de este parámetro en el período de observaciones. En los meses de febrero y mayo las concentraciones son menores de 100 μM Y en noviembre sobrepasan esta concentración.

f) Pigmentos.

La concentración media de Clorofila-a (Cl-a) fué de 3.02 mg m⁻³, la mayor se obsrvó en mayo (5.33 mg m⁻³) y la menor en noviembre (1.27 mg m⁻³). El comportamiento de la Cl-a en el ciclo de observaciones se aprecia en la figura 34b, donde se observa que en mayo en las estaciones 1 y 2 existen picos de alta concentración (20 y 25 mg m⁻³, respectivamente), mientras que en noviembre las concentraciones de Cl-a son menores.

Para los feopigmentos (Fp) la máxima concentración se presentó en mayo con 5.53 mg m⁻³ y la mínima en febrero con 2.83 mg m⁻³, con un promedio de 3.89 mg m⁻³. La variación espacio-temporal de Fp es similar al de la Cl-a, con picos de altas concentraciones en las estaciones 1 y 2 en el mes de mayo (Fig. 35a).

g) Productividad Primaria Fitoplanctónica (PPN).

Las tasas de producción neta de fitoplancton tienen una media general de 154 $mgC/m^3/día$. Las mayores tasas de PPN se presentaron en mayo con 369 $mgC/m^3/día$ y la menor en noviembre con 37 $mgC/m^3/día$. La variación de la productividad se puede apreciar en la figura 35b, donde cabe resaltar las altas tasas de producción del mes de mayo como se mencionó anteriormente.

Sedimentos:

a) Textura.

Los sedimentos de la laguna presentaron pequeñas variaciones espaciales en los porcentajes de Arena, Arcilla y Limo. En promedio los porcentajes de los diferentes tamaños de partículas son: 69 % arena, 8.4% de arcilla y 22.6 % de limo. Con lo cual predominan los sedimentos de tipo areno-limosos. Se observa un aumento de la porción arenosa y arcillosa, y disminución de los porcentajes de limo hacia las áreas cercanas a la boca.

Materia orgánica (MO%).

La concentración media de MO en los sedimentos fué de 5.89 %, con un patrón de variación espacio-temporal irregular de bajas y altas concentraciones (Fig.36). La mayor concentración fué de 7.14% en noviembre, y la menor en 4.66% en mayo.

Macrófitos:

De las tres campañas de muestreo se han identificado 26 especies y la distribución espacial de los principales grupos se presenta en la figura 37. El patrón de distribución que se observa es de principalmente *Ruppia maritima* y *Halodule wrightii* dominando en ambos brazos de la laguna. Esta distribución sugiere que además de la covariación entre salinidad y tipo de sedimento, el factor que puede estar contribuyendo es la competencia interespecífica, y bajo ciertas condiciones domina *H. wrightii*, y en otras *R. maritima*. *Ruppia maritima* tiende a dominar hacia las zonas más someras y con escaso movimiento de masas de agua, mientras que *H. wrightii* domina en zonas de mayor hidrodinámica y donde existen escasas posibilidades de desecación, condición que *R. maritima* parece resistir favorablemente.

Información más detallada se encuentra en la base de datos del disco que se anexa.

Respecto a la riqueza específica (RE) por estaciones, las estaciones con menor RE fueron las estaciones en las zonas internas, mientras que las estaciones de la boca fueron las que presentaron la mayor RE (Fig. 38a). El período de mayor RE de macrófitos en Dzilam fué febrero con 17 especies y la menor en noviembre con 8. En la laguna de Dzilam, a diferencia de las otras lagunas donde se observa una codominancia espacial por macroalgas y pastos marinos, los organismos representantes de los pastos marinos son los dominantes.

A pesar de que las especies de macroalgas en la laguna de Dzilam indican que la influencia del mar es muy importantes, su biomasa y cobertura no lo es tanto dentro de la laguna a excepción de la estación de la boca, la cual está claramente dominada por la influencia marina. Sin embargo, la laguna de Dzilam es el sistema que mayor cobertura de macrófitos tiene (90%).

Por lo que respecta a la biomasa, la media fué de 129 g p.s. m⁻², con las mayor en el mes de mayo (145 g p.s. m⁻²), y la menor en el mes de febrero (112 g p.s. m⁻²) (Fig. 38b). El patrón de variación espacial fué mas homogéneo que en las otras lagunas a pesar de observarse zonas de altas biomasa, lo cual sugiere que una cobertura mas homogénea de los sedimentos.

La contribución por especies a la biomasa total se presenta en la figura 39a. En ella se observa que 2 especies de las 17 contribuyen con el 85% del total de la biomasa referida como g. p. s. m⁻². Estas especies son: *Ruppia maritima* y *Halodule wrightii*.

Los cambios temporales de la diversidad de especies medida con el índice de Shannon-Wiener (H'), son mayores que los estimados para las otras lagunas (Fig. 39b), ya que la mayor diversidad se observó en mayo (3.03 bits/ind) y la menor en febrero con 1.4 bits/ind. Estos cambios sugieren mayores variaciones en la distribución de las biomasa por especies.

Tabla 6. Comparación de las medias de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la laguna de Dzilam, de los muestreos de Noviembre 1994 y Febrero 1995.

PARAMETRO	Nov	Feb	May
Transparencia, %	92	94	80
Temperatura, °C	23	22	28
pH	6.54	8.45	8.42
Salinidad, ‰	30.28	34.15	34.87
Oxígeno Disuelto, mg/L	5.82	7.24	6.53
Nitratos NO ₃ ⁻ μM	4.07	1.59	0.58
Nitritos NO ₂ ⁻ μM	0.74	0.87	0.37
Amonio NH ₄ ⁺ μM	2.64	5.03	5.4
Fósforo SRP μM	1.46	0.05	0.03
Sílice SRSi μM	164	24	16
Clorofila-a, mg m ⁻³	1.27	2.46	5.33
Feopigmentos, mg m ⁻³	3.32	2.83	5.53
Producción Neta de Fitoplancton mgC/m ⁻³ /dia	37	56	369

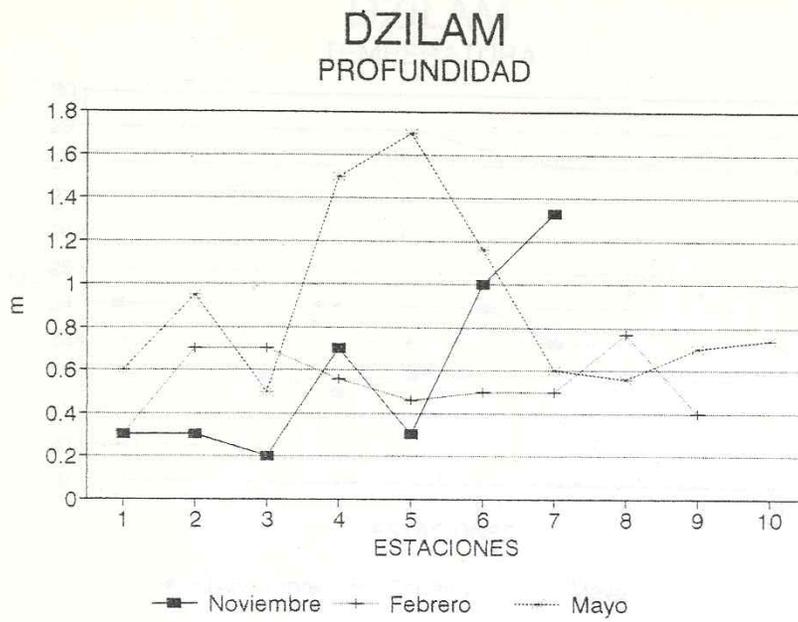
Fitoplancton:

La riqueza de especies en Dzilam varió espacialmente pero a diferencia de las otras lagunas el patrón es de menos especies hacia la boca (Fig. 40a). En esta zona las macroalgas dominan y probablemente la competencia por luz y/o nutrientes podrían estar favoreciendo estas observaciones. El grupo que domina en esta laguna es el de las diatomeas aunque los dinoflagelados podrían ocupar un lugar importante, su presencia sugiere que los compuestos orgánicos producto de la descomposición de los macrófitos podrían ser una fuente importante de nutrientes para la comunidad del fitoplancton en este sistema.

La riqueza de especies se espera que sea mayor a la reportada ya que al basarse en los géneros es altamente probable que se encuentren varias especies del mismo género, sin embargo, hasta ahora se podría afirmar que en los muestreos de la época de secas hay mayor riqueza de especies (58 especies), probablemente por la mayor temperatura media del agua en esta época. Este mismo comportamiento se observó en el caso de los macrófitos.

La diversidad presentó un patrón más homogéneo variando entre 2.3 y 5 bits/ind (Fig. 4Gb). Temporalmente, se observan diversidades altas (>5 bits/ind), la mayor fué durante el muestreo de mayo (5.5).

(A)



(B)

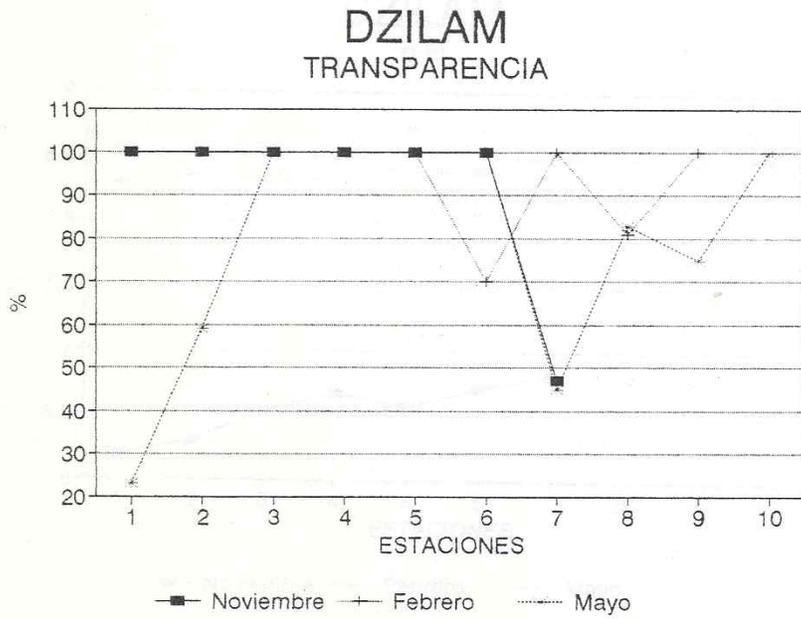
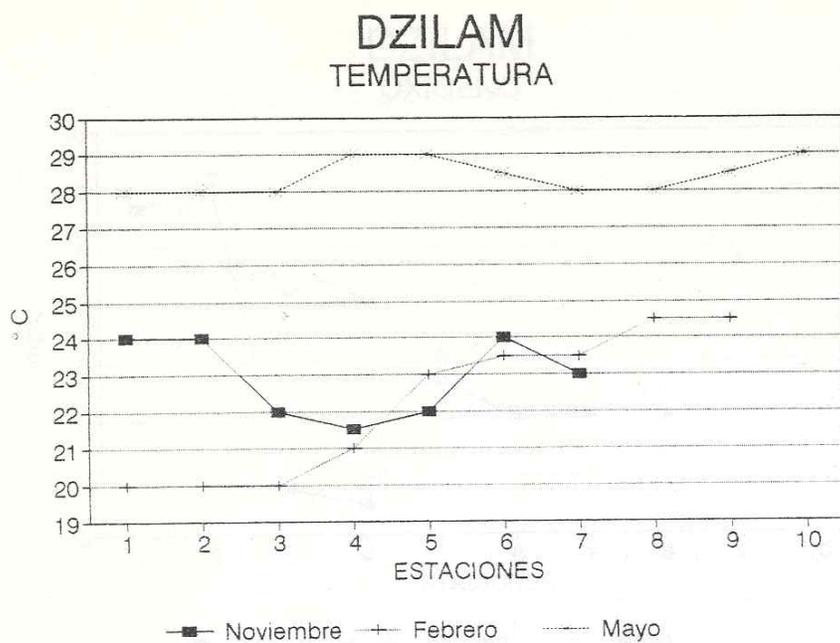


Figura 29. Distribución espacial de la profundidad (A) y transparencia (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

(A)



(B)

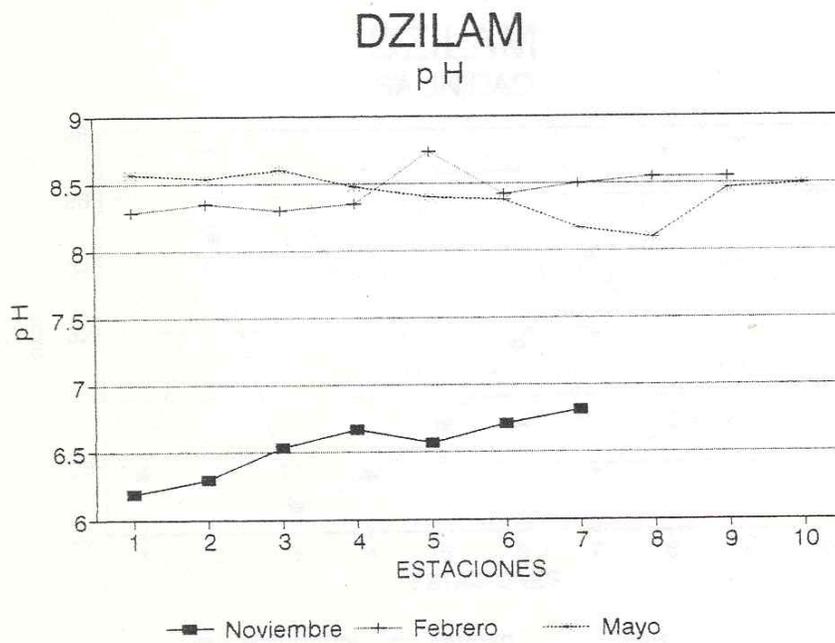
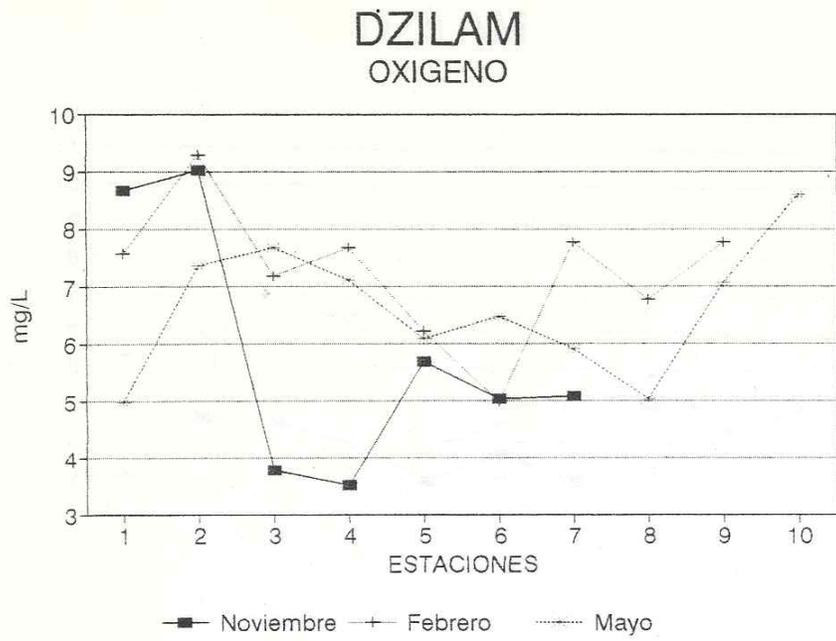


Figura 30. Distribución espacial de la temperatura (A) y pH (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

(A)



(B)

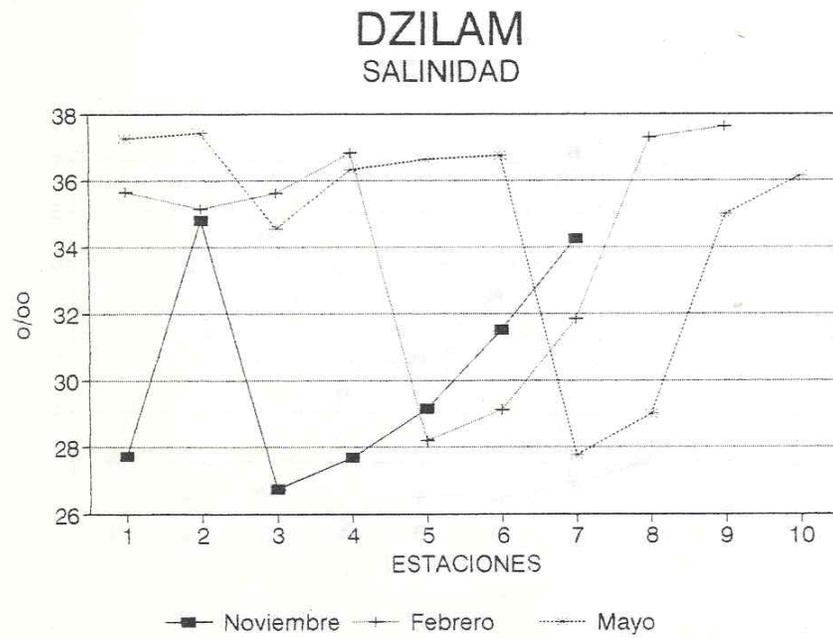
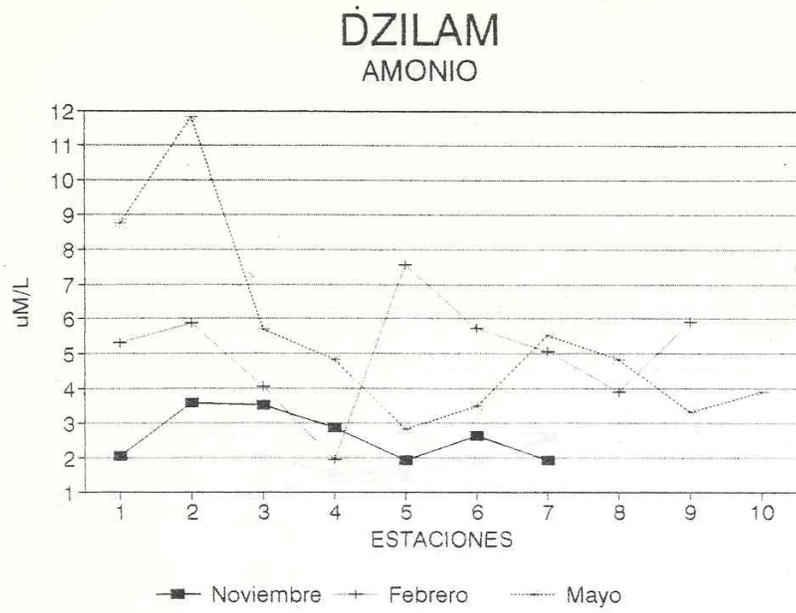


Figura 31. Distribución espacial del oxígeno (A) y salinidad (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

(A)



(B)

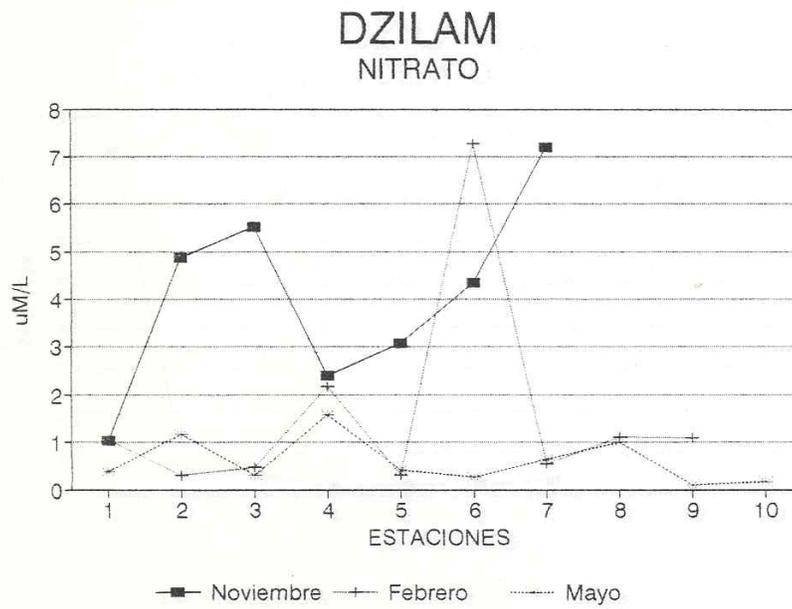


Figura 32. Distribución espacial del amonio (A) y nitrato (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

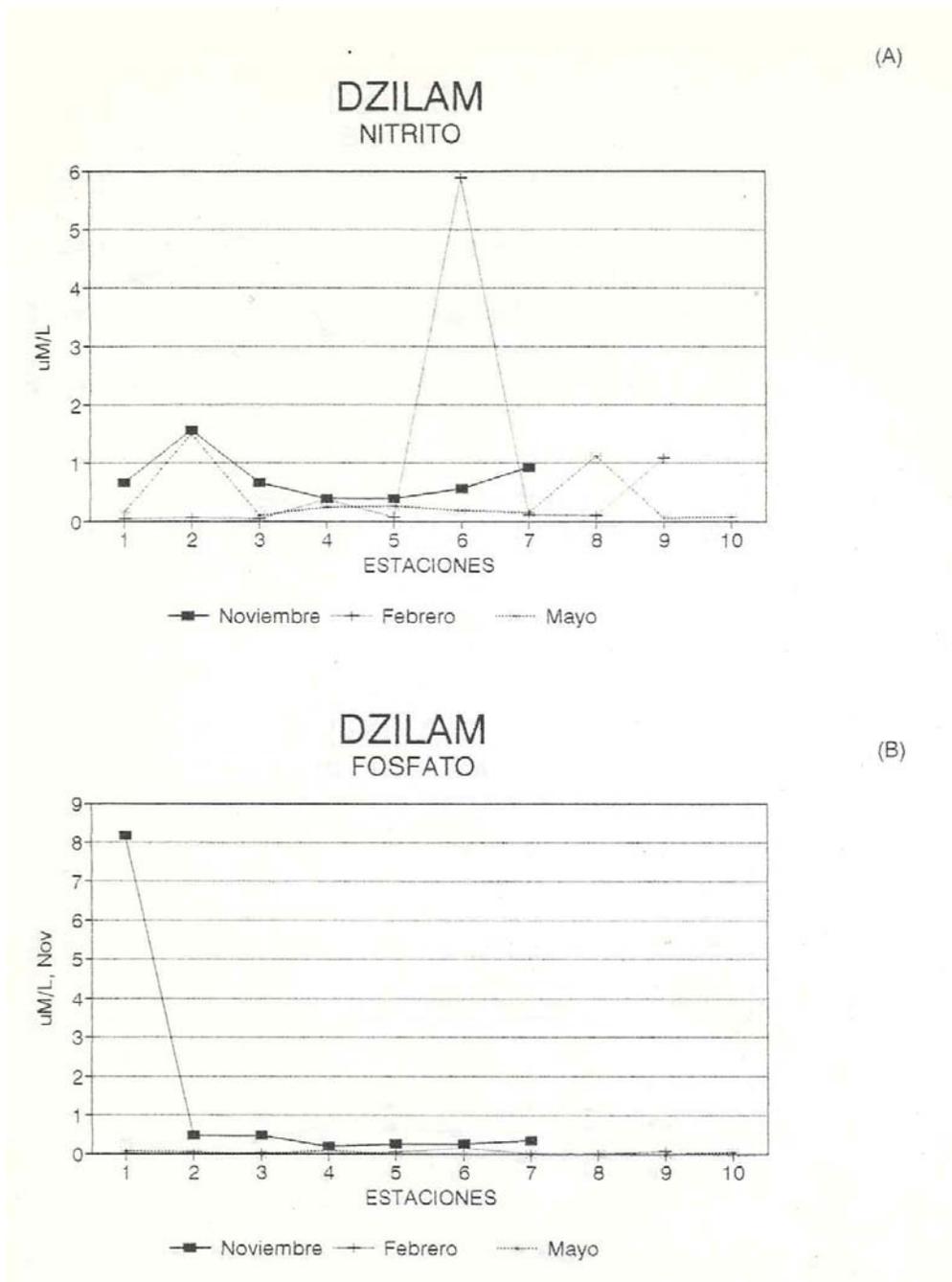


Figura 33. Distribución espacial del nitrito (A) y tostoro reactivo soluble (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

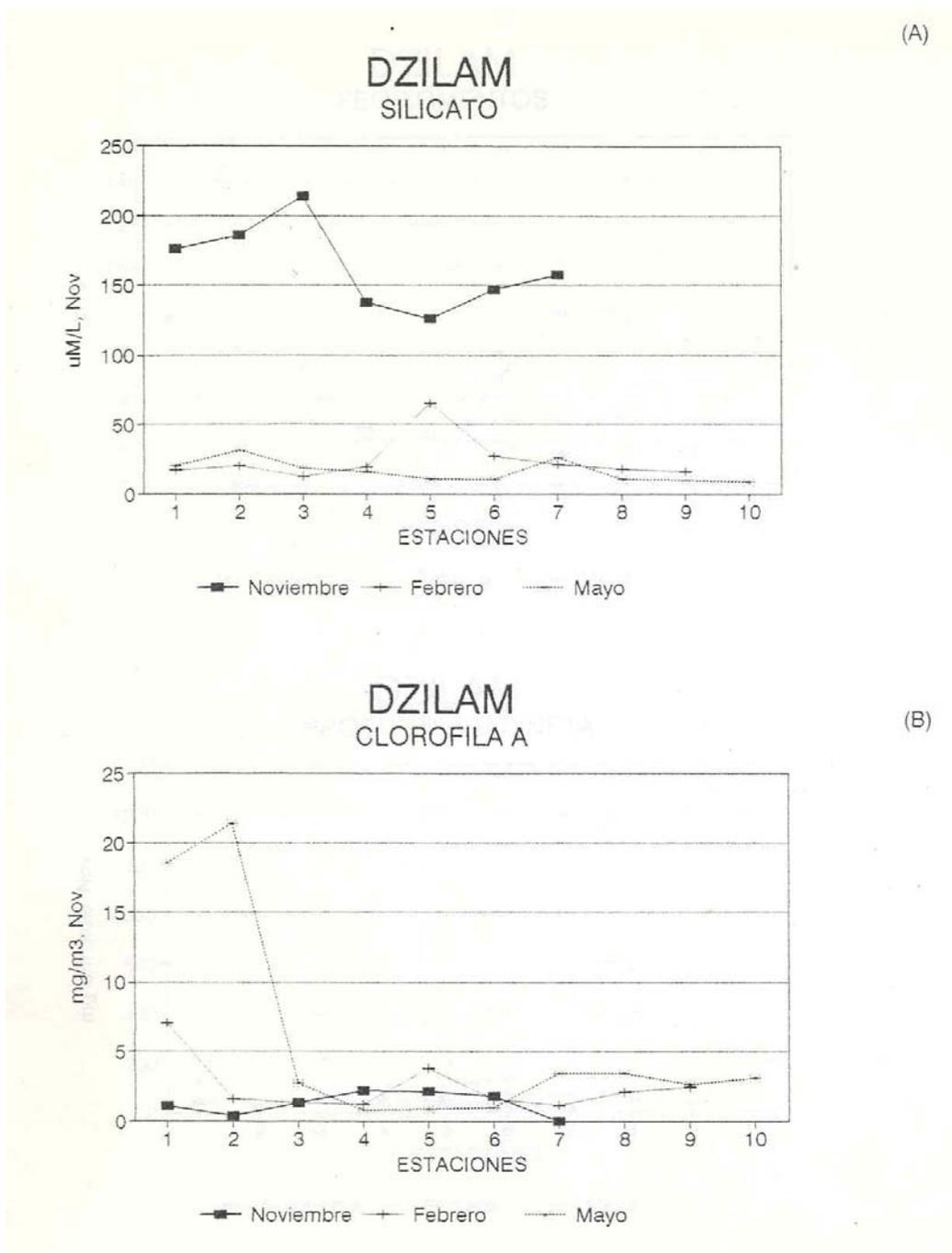


Figura 34. Distribución espacial del sílice reactivo soluble (A) y clorofila-a (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

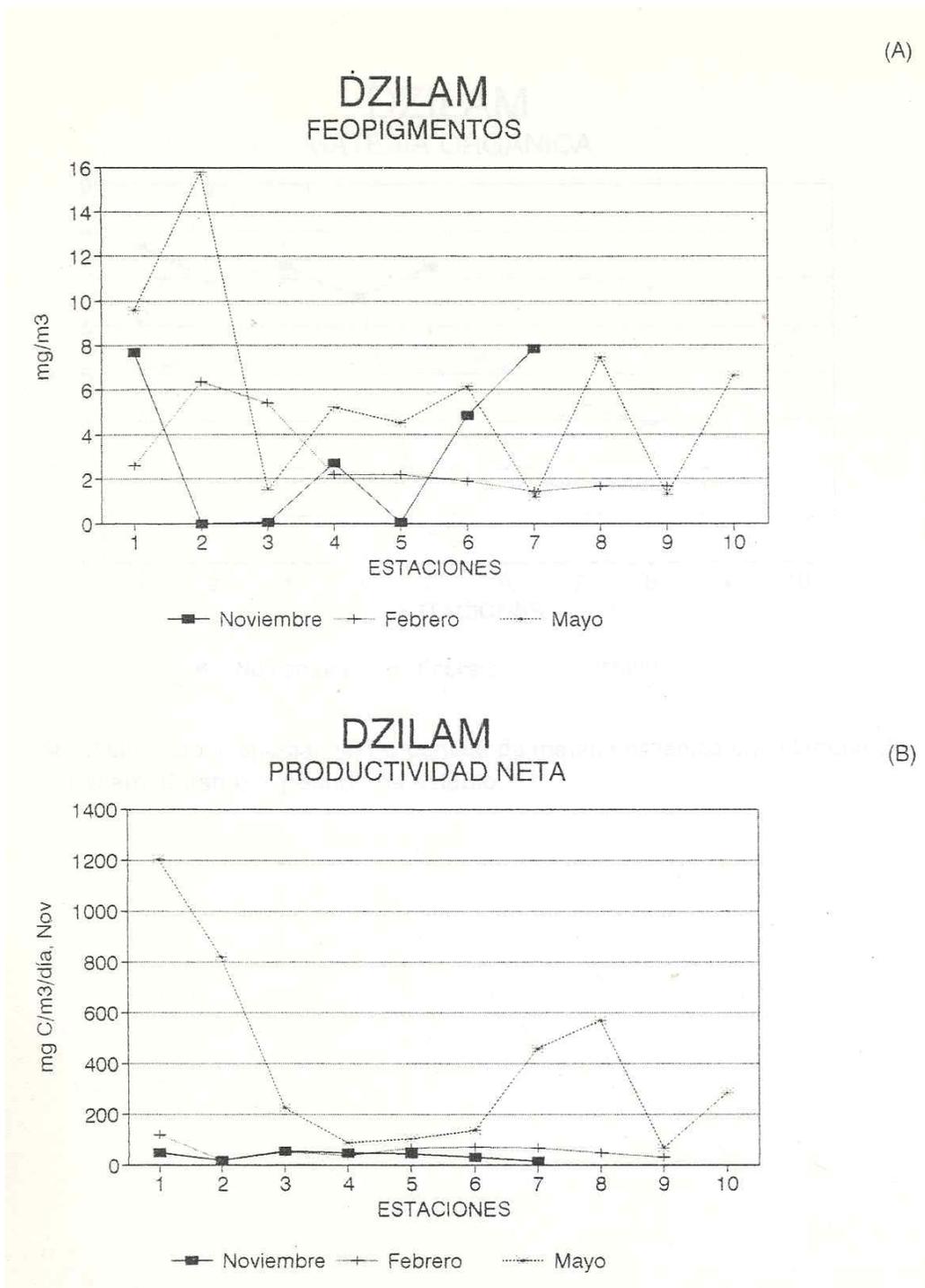


Figura 35. Distribución espacial de feopigmentos (A) y productividad neta (B) en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

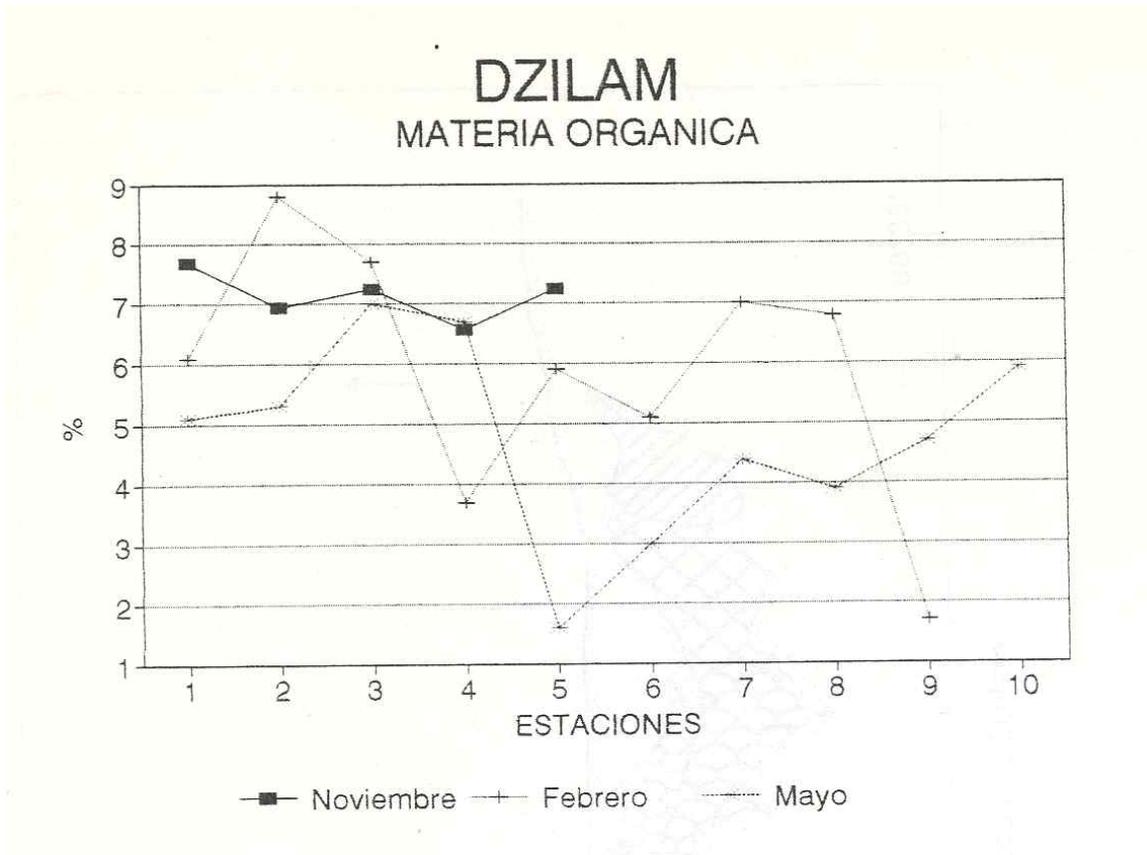
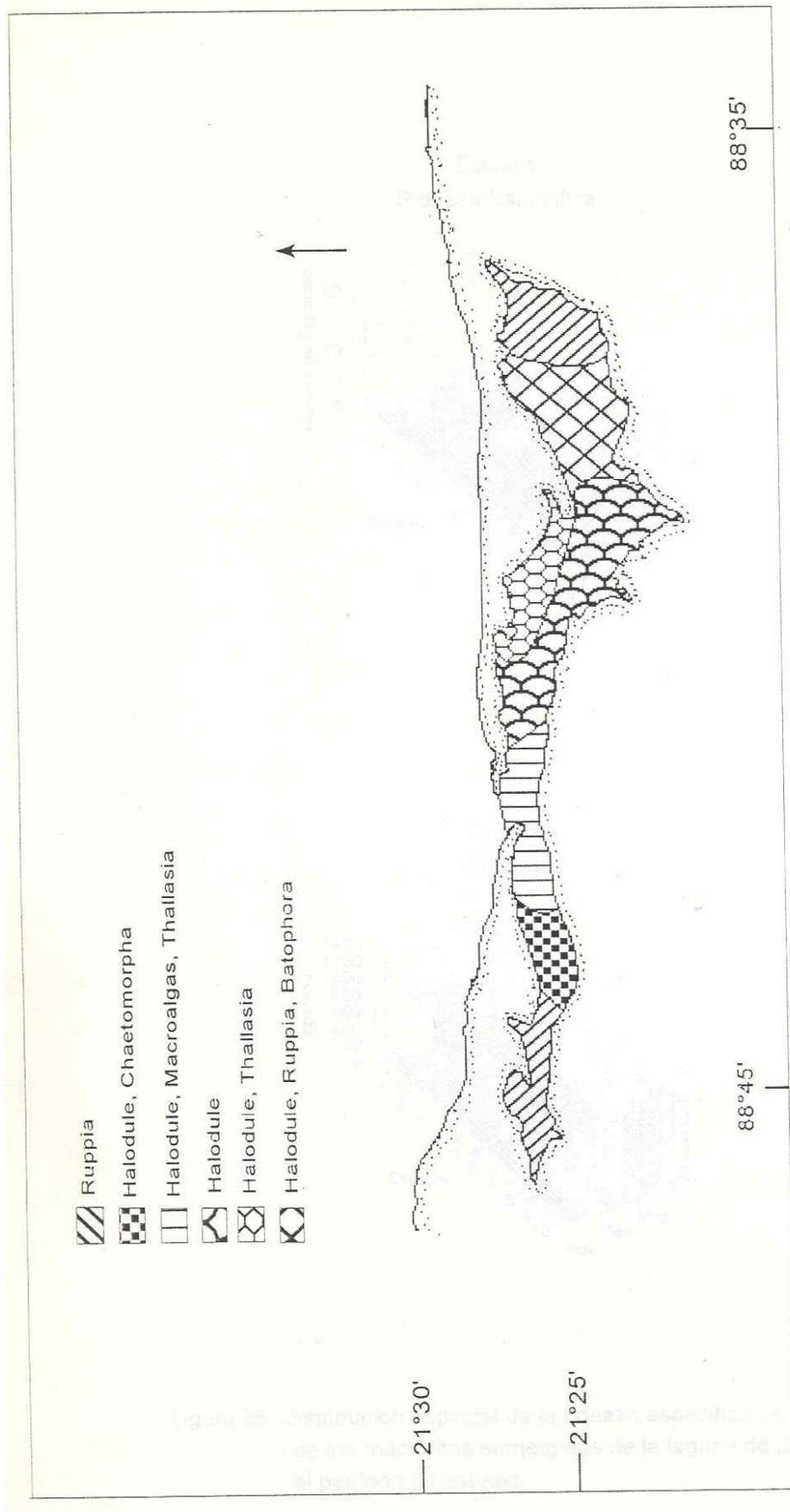
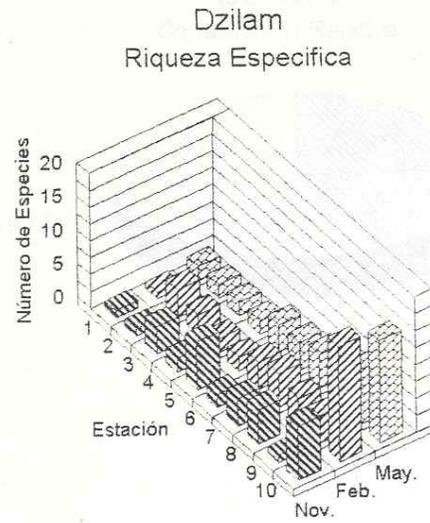


Figura 36. Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica en la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

Figura 37 Distribución espacial de los macrófitos sumergidos en las Bocas de Dzilam.



(A)



(B)

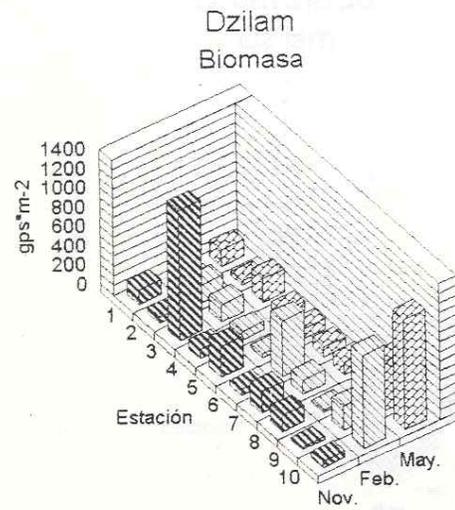


Figura 38. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y biomasa (B) de los macrófitos sumergidos de la laguna de Dzilam, durante el periodo de estudio.

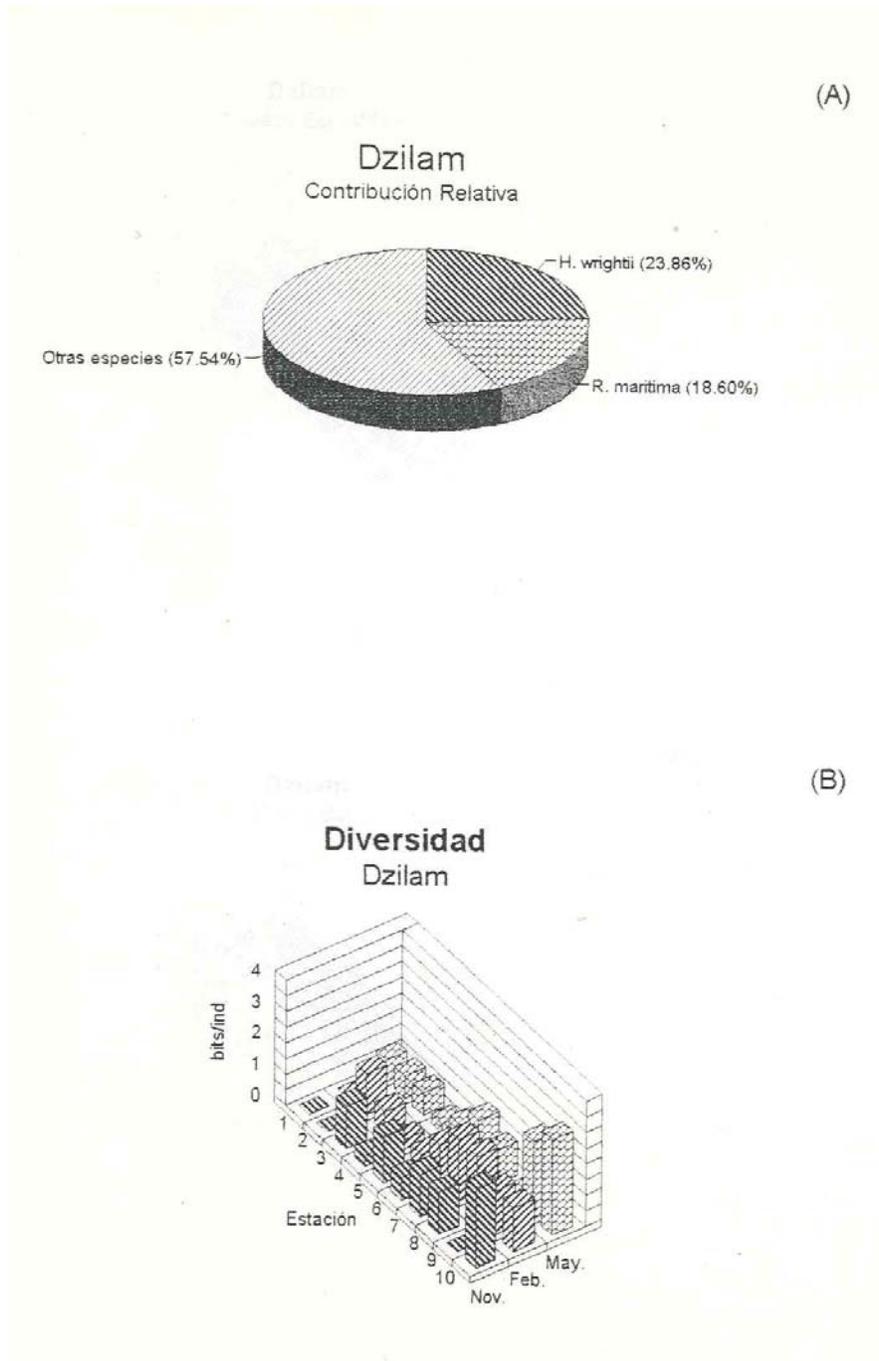


Figura 39. Contribución relativa a la biomasa (A) y diversidad (B) de los macrófitos sumergidos de la laguna de Dzilam, durante el periodo de estudio.

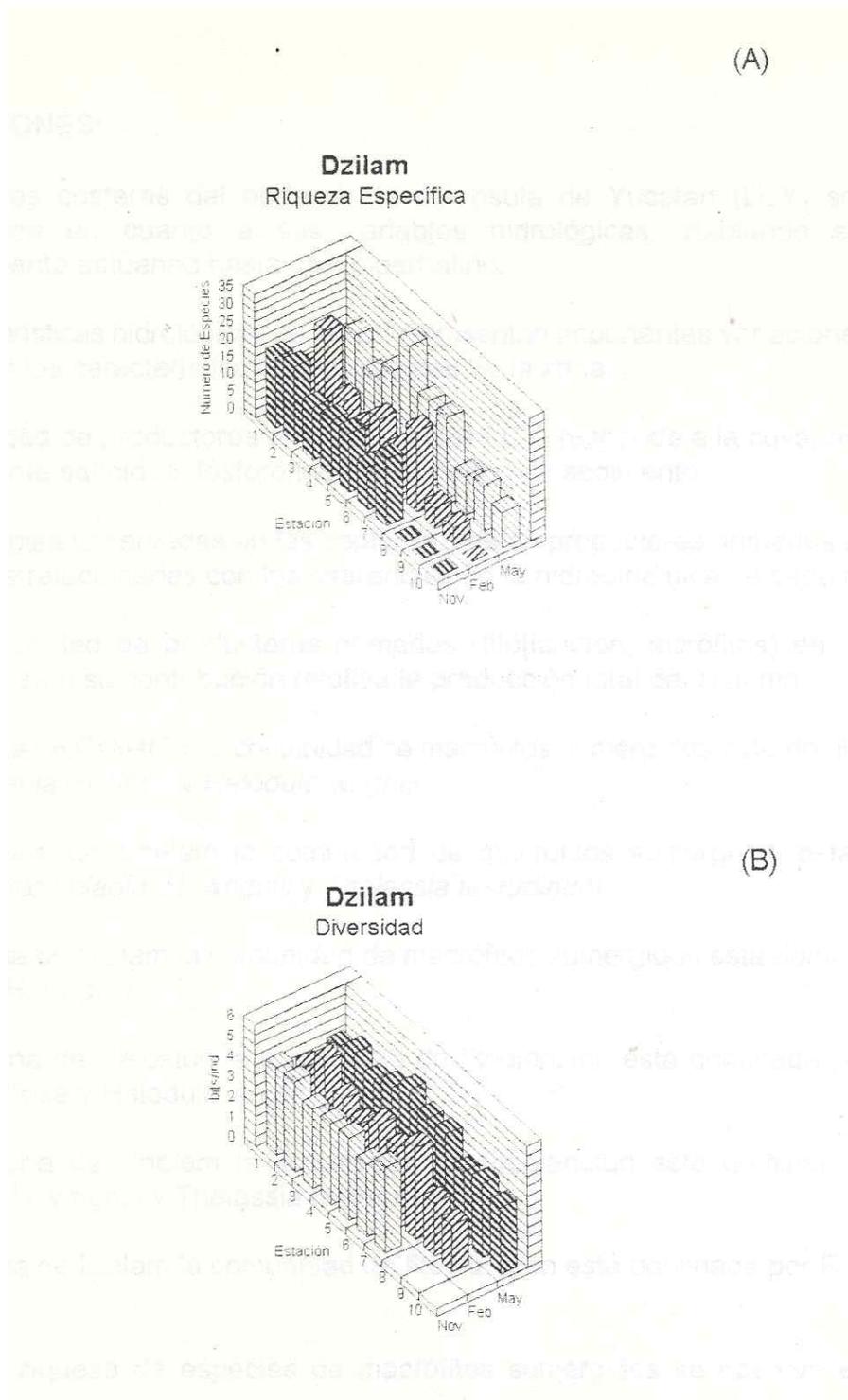


Figura 40. Distribución espacial de la riqueza específica (A) y diversidad del fitoplancton de la laguna de Dzilam, durante el período de estudio.

CONCLUSIONES:

- Las lagunas costeras del norte de la península de Yucatán (LCY) son ecosistemas heterogéneos en cuanto a sus variables hidrológicas. Habiendo sistemas desde comportamiento estuarino hasta casi hiperhalino.
- Las características hidrológicas de las LCY presentan importantes variaciones estacionales, asociadas a las características climatológicas de la zona.
- La comunidad de productores primarios en las LCY, responde a la covariación de factores principalmente salinidad, fósforo inorgánico y tipo de sedimento.
- Las diferencias observadas en las comunidades de productores primarios de la LCY están íntimamente relacionadas con las diferencias en la hidrodinámica de cada laguna.
- Cada comunidad de productores primarios (fitoplancton, macrófitos) en las LCY alterna estacionalmente su contribución relativa la producción total del sistema.
- En la laguna de Celestún, la comunidad de macrófitos sumergidos esta dominada por *Chara fibrosa*, *Ruppia cirrhosa* y *Halodule wrightii*.
- En la laguna de Chelem la comunidad de macrófitos sumergidos esta dominada por *Laurencia micracladia*, *H. wrightii* y *Thalassia testudinum*.
- En la laguna de Dzilam la comunidad de macrófitos sumergidos esta dominada por *Ruppia maritima* y *H. wrightii*.
- En la laguna de Celestún la comunidad de fitoplancton esta dominada por *Chra fibrosa*, *Ruppia cirrhosa* y *Halodule wrightii*.
- En la laguna de Chelem la comunidad de fitoplancton esta dominada por *Laurencia micracladia*, *H. wrightii* y *Thalassia testudinum*.
- En la laguna de Dzilam la comunidad de fitoplancton esta dominada por *Ruppia maritima* y *H. wrightii*.
- La mayor riqueza de especies de macrófitos sumergidos se observó en la laguna de Celestún.
- La mayor riqueza de especies de fitoplancton se observó en la laguna de Chelem.

RECOMENDACIONES:

De acuerdo a los resultados observados en este proyecto, se recomienda estudios específicos para cada laguna por la heterogeneidad espacial y variabilidad estacional observada.

Estos estudios deberán de ser sobre los mismos aspectos que el presente, pero con frecuencia de muestreo mensual y evaluando adicionalmente el papel de cada laguna en relación con la zona marina adyacente, por la gran influencia en la aportación de especies de esta zona.

La hipótesis de trabajo sería evaluar el papel importador/exportador de cada laguna en una escala temporal y de cada elemento nutritivo así como de elementos orgánicos incluyendo organismos.

La mayor frecuencia de muestreo permitiría caracterizar la calidad ambiental de cada sistema en base la covariación de variables fisico-químicas y biológicas. Con esta estrategia se obtendrán especies indicadores de tipos de agua y se caracterizarán habitats críticos en cada ecosistema.

Por otra parte, se recomienda evaluar las características estructurales y funcionales de la comunidad de manglar que bordea cada laguna, ya que se observaron arreglos y dominancia de especies distintas para cada laguna.

La estrategia de muestreo mensual permitirá hacer mejores evaluaciones de la producción de la comunidad de productores primarios y su potencial para estrategias de manejo específico para cada zona.