

Universidad de Costa Rica
Escuela de Biología

VARIACION ESTACIONAL DE LAS ALGAS PLANCTONICAS
DEL LAGO DE RIO CUARTO, ALAJUELA, COSTA RICA

Práctica dirigida para optar al grado de
LICENCIADA EN BIOLOGIA

LILIANA CAMACHO VARGAS
1985

RECONOCIMIENTO

Expreso mi gratitud a quienes han hecho posible la realización de este trabajo:

A Gladys Caspouffer por su guía y apoyo constante, su especial apreciación.

A Ana Eizka por el tiempo que dedicó a la escritura y por sus acertados consejos.

A cada uno de los miembros del tribunal examinador por la revisión del texto.

A los estudiantes de la Universidad Nacional: Juan Carlos Salas, Juan Carlos Burbado, María Esteban y Marcelo Peramburo por la valiosa asistencia en el trabajo de campo. También a Tino M. Álvarez y a Vanny Lloyd Satchell por

A mi esposo y a mis hijos, quienes han sido mi estímulo permanente.

A la Srta. Anabelle Novas por la profesional y cuidadosa labor mecanográfica.

A la Universidad Nacional por la concesión del permiso y la colaboración prestada por medio del programa de Investigación de la Escuela de Ciencias Biológicas.

VARIACION ESTACIONAL DE LAS ALGAS PLANCTONICAS
DEL LAGO DE RIO CUARTO, ALAJUELA, COSTA RICA

RECONOCIMIENTO

PRÁCTICA DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN BIOTECNOLOGÍA

Expreso mi gratitud a quienes hicieron posible la realización de este trabajo:

A Claudia Charpentier por su guía y apoyo constante, mi especial agradecimiento.

A Ana Dittel por el tiempo que dedicó a la asesoría y por sus acertados consejos.

A cada uno de los miembros del tribunal examinador por la revisión del texto.

A los estudiantes de la Universidad Nacional: Isaías Fallas, Juan Carlos Zumbado, Farid Tabash y Marcelo Betancourt por la valiosa asistencia en el trabajo de campo. También a Tito M. Aldave y a Vanny Lloyd Satchwell por la cooperación en los análisis químicos.

A la Srta. Anabelle Mora por la profesional y cuidadosa labor mecanográfica.

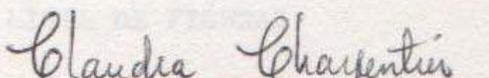
A la Universidad Nacional por la concesión del permiso y la colaboración prestada por medio del programa de investigación de la Escuela de Ciencias Biológicas.

VARIACION ESTACIONAL DE LAS ALGAS PLANCTONICAS DEL LAGO DE RIO CUARTO, ALAJUELA, COSTA RICA

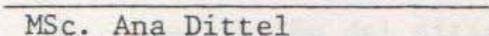
TABLA DE CONTENIDO

PRACTICA DIRIGIDA PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN BIOLOGIA

Aprobada


MSc. Claudia Charpentier

Tutor


MSc. Ana Dittel

Co-tutor


Lic. Marissya Nassar

Miembro Tribunal


MSc. Clemencia León

Miembro Tribunal


Dr. Ramiro Barrantes

Director Escuela Biología


Liliana Camacho Vargas

Sustentante

TABLA DE CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN	iv
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vi
INTRODUCCION	1
MATERIALES Y METODOS	3
A. Descripción del sitio de estudio	3
B. Métodos	3
RESULTADOS	7
Factores ambientales y características físico-químicas	7
Composición específica y ciclo anual del fitoplancton	15
DISCUSION	
Características físico-químicas del lago	22
Ciclo anual del fitoplancton	27
BIBLIOGRAFIA	39

RESUMEN

PAGINA

APENDICES

44

Apéndice #1

Promedio mensual de la comunidad fitoplanctónica del Lago Río Cuarto, Costa Rica, durante 1984-1985

45

Apéndice #2

Promedio mensual de los grupos taxonómicos del fitoplancton representados en el Lago Río Cuarto, Costa Rica durante 1984-1985

46

Apéndice #3

Promedio mensual de las especies más importantes del fitoplancton del Lago Río Cuarto, Costa Rica durante 1984-1985

47

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Lago Río Cuarto, Alajuela, Costa Rica, con el objeto de determinar la variación estacional en la composición florística, abundancia y distribución vertical de los distintos grupos fitoplanctónicos del lago. Asimismo, constituir un registro de la variación anual en los principales parámetros físicos y químicos del agua.

Con tal propósito se estableció una estación de muestreo en la parte central del lago, zona de mayor profundidad (70 m). Los muestreos se llevaron a cabo mensualmente desde febrero de 1984 hasta marzo de 1985. En cada oportunidad se determinó la concentración de oxígeno disuelto, CO₂, nitratos y ortofosfatos del agua y se procedió a medir el pH, la temperatura y la transparencia. La recolección de datos y muestras se hizo a las profundidades de 0, 3, 6, 9, 12, 15, 25, 35, 45 y 55 metros en cada caso. Las muestras de fitoplancton se recogieron utilizando botellas Ruttner y Van Dorn; posteriormente se concentraron por medio de un filtro de anillo de 48 micras, se fijaron y se trasladaron al laboratorio para la determinación y conteo de especies. El conteo se llevó a cabo utilizando una celda de Palmer-Maloney.

Los resultados indicaron que el lago se comporta como meromíctico, presentando períodos de mezcla parcial en la estación seca, en coincidencia con la presencia de vientos fuertes y descensos marcados en la temperatura del agua.

La comunidad fitoplanctónica está representada por un total de diez especies de algas, con un marcado dominio de las algas verdes (*Chlorophyceae*) durante todo el año. Dos especies se presentaron como dominantes durante el período de estudio: *Mougeottia genuflexa* con poblaciones de hasta 2000 células/ml y *Nitzschia sp.* con poblaciones cercanas a 900 células/ml.

Se logró establecer la presencia de una marcada variación estacional en la comunidad fitoplanctónica. De este modo, en la estación seca la comunidad fitoplanctónica se caracteriza por presentar bajas densidades de población y una alta variabilidad. Esto coincide con bajos contenidos de nutrientes en el agua y la presencia de períodos de mezcla.

La estación lluviosa presenta un patrón poblacional diferente, definido por una alta densidad en las especies y una marcada disminución en la variabilidad de la comunidad. Este patrón se relaciona con concentraciones mayores de nutrientes en el agua y períodos de estratificación térmica del lago.

Los resultados obtenidos permiten recomendar la continuación de los estudios en este lago, por períodos mayores de un año, con el fin de comprobar la existencia de ciclos en los patrones de variación estacional observados.

LISTA DE CUADROS

NUMERO	PAGINA
1	Variación anual en la concentración de nitratos y ortofosfatos en el Lago Río Cuarto, Costa Rica 13

LISTA DE FIGURAS

NUMERO	PAGINA
1	Ubicación del Lago Río Cuarto, Costa Rica 6
2	Variación anual de la precipitación, brillo solar y temperatura en el Lago Río Cuarto, Costa Rica 8
3	Variaciones verticales en el O ₂ y CO ₂ durante el período de estudio 10
3 Cont.	Variaciones verticales en la temperatura pH y transparencia durante el período de estudio 11
4	Fluctuación mensual de la densidad de la comunidad fitoplanctónica 14
5	Patrones de variación de las principales especies 18
6	Variaciones de la comunidad fitoplanctónica expresadas como porcentaje de especies 20
7	Distribución vertical de las tres especies fitoplanctónicas más abundantes 21

INTRODUCCION

En todo sistema de agua dulce, el estudio de la comunidad fitoplanctónica, principalmente su distribución y variación estacional, deben enmarcarse dentro de una serie de interacciones entre el ambiente físico y las características biológicas de esa población.

La variación estacional del fitoplancton en relación con los cambios ambientales ha sido un aspecto extensamente estudiado dentro del campo de la limnología, pero la mayoría de esas investigaciones se han efectuado en lagos de zonas templadas (Allen y Koonce 1973 Avila et al 1984 , Burns y Mitchell 1973).

A pesar de que el análisis y comprensión de la dinámica de los ecosistemas lacustres es una necesidad urgente para los países tropicales dado el potencial inexplorado que tienen en sus aguas dulces, los estudios que se han realizado en esta área son realmente escasos.

Los primeros intentos por conocer la limnología de las aguas lénticas tropicales fueron realizados en su mayoría con la concepción de que la dinámica en estos lagos era muy diferente de la de los lagos templados. Sin embargo, Nilseen (1984) estima que tanto en los lagos de zonas templadas como en los tropicales se realizan los mismos procesos y que la diferencia estriba en la mayor rapidez con que suceden en el trópico. A pesar de que los cambios de estación a que se ven expuestos los lagos tropicales difieren en amplitud y periodicidad con respecto a los que afectan a los lagos templados, se ha comprobado que su influencia en la variación estacional de las poblaciones fitoplanctónicas puede llegar a ser muy drástica en algunos casos (Ganf 1974, Gliwicz, 1975).

Lewis (1978 B) al investigar la dinámica de un lago tropical, el Lago Lanao en Filipinas, logró demostrar cuantitativamente la existencia de una dinámica sucesional a nivel de división y clase en el fitoplancton de ese lago. Esta secuencia es esencialmente la misma que ocurre en los lagos templados y parece estar relacionada principalmente con gradientes de nutrientes y de luz (Allen y Koonce 1973, Lewis 1977, Toja 1983).

Dentro de los estudios de variación estacional en los trópicos deben mencionarse además los efectuados por Moraes (1979) en el Embalse Santa Bárbara, Río Grande do Sul, Brasil. En su trabajo se estableció una relación significativa entre las variaciones estacionales y la secuencia en distribución y abundancia de los distintos grupos algales.

En Costa Rica se han hecho relativamente pocos estudios limnológicos y ninguno de ellos contempla la dinámica poblacional. Un ejemplo son los trabajos realizados por Gocke en Laguna de Chirripó (1981), y Lago de Río Cuarto (1980). Las consideraciones iniciales derivadas de la investigación efectuada por Gocke en la Laguna de Río Cuarto, motivaron en gran parte la realización de este trabajo. En efecto, según el investigador, este lago presenta estratificación térmica y probables períodos de mezcla, fenómenos que influyen directamente en los procesos de sucesión fitoplanctónica.

El presente trabajo pretende determinar si existe variación estacional en la composición florística, abundancia y distribución vertical en los distintos grupos que integran la población fitoplanctónica del lago. Asimismo, constituir un registro de la variación anual de los principales parámetros físicos y químicos del agua.

MATERIALES Y METODOS

A. DESCRIPCION DEL SITIO DE ESTUDIO

El lago de Río Cuarto se localiza en Río Cuarto de San Carlos, Alajuela, entre las coordenadas 259.000 y 260.000 Norte y 512.000 y 513.000 Este (latitud $10^{\circ}21'29''$, longitud $84^{\circ}13'09''$).

La temperatura promedio anual es de 25°C y la precipitación es de 4632,6 mm por año (Estación San Miguel, Instituto Meteorológico Nacional).

De acuerdo con Gocke (1980), es un lago de origen volcánico tipo "maar", con una forma casi circular y con riberas muy inclinadas. El diámetro aproximado es de 600 m con una profundidad máxima de 70 m y aguas pluviales de pequeños cauces que nacen en sus paredes y probablemente de fuentes subterráneas. Está rodeado en su mayor parte por un bosque húmedo que aporta gran cantidad de materia orgánica a sus aguas. También lo rodean pequeños parches de cultivos y de pastos. El lago es muy visitado por los habitantes del lugar como sitio de recreación y de pesca.

B. METODOS

Para efectos del presente estudio se estableció una sola estación situada en el centro del lago, en la zona de mayor profundidad (Fig. #1) y se realizaron las siguientes determinaciones: Oxígeno, Dióxido de Carbono, pH, Ortofosfatos y Nitratos. A la vez se determinó la temperatura y profundidad Secchi. Las muestras para los análisis físicos, químicos y biológicos se tomaron a profundidades de 0.1, 3, 6, 9, 12, 15, 25, 35, 45 y 55 metros, de acuerdo a lo recomendado por Moss (1972) y Sze (1980).

La colecta de datos se llevó a cabo mensualmente, desde febrero de 1984 hasta marzo de 1985. Para la colecta del fitoplanc-ton se utilizó una botella Van Dorn para 0.1 m de profundidad y una botella Ruttner para tomar las muestras de las otras profundidades.

Posteriormente las muestras fueron concentradas utilizando filtros de anillo de 48 micras; el concentrado se colocó en viales debidamente rotulados y se agregó lugol como preservante.

Desde octubre de 1984 hasta marzo de 1985, se varió la metodología para concentrar las muestras. Durante estos meses se utilizó el sistema de sedimentación de modo que fuera posible recolectar las algas de menor tamaño (nanoplancton). El conteo de las algas se hizo por duplicado utilizando una celda de Palmer Maloney. De acuerdo con lo recomendado por Margalef (1983), se procedió a contar célula por célula, incluso en las especies coloniales y filamentosas.

En cada profundidad, a la vez, se determinó el pH por medio de un pH-metro Beckman, modelo 72009. La medición de la temperatura se hizo por medio del termómetro incorporado a la botella Ruttner. En cada caso se obtuvieron muestras que fueron trasladadas al laboratorio para la determinación de nitratos y ortofosfatos. Estas determinaciones se llevaron a cabo en el Departamento de Química de la Universidad Nacional. Las muestras para nitratos se preservaron con 1 ml de cloroformo y para ortofosfatos con 1 ml de ácido sulfúrico concentrado. Las determinaciones de oxígeno y dióxido de carbono se efectuaron *in situ*. Para el oxígeno se procedió de acuerdo con el método de Winkler (Lind 1979), y se usó como titulante el tiosulfato de sodio.

La determinación de dióxido de carbono se hizo por volumetría utilizando carbonato de sodio 0.045 N. En todos los casos las

determinaciones químicas se realizaron con métodos aprobados por la APHA y descritos por Sánchez et al (1981). En cada muestreo la transparencia se determinó utilizando el Disco de Secchi.

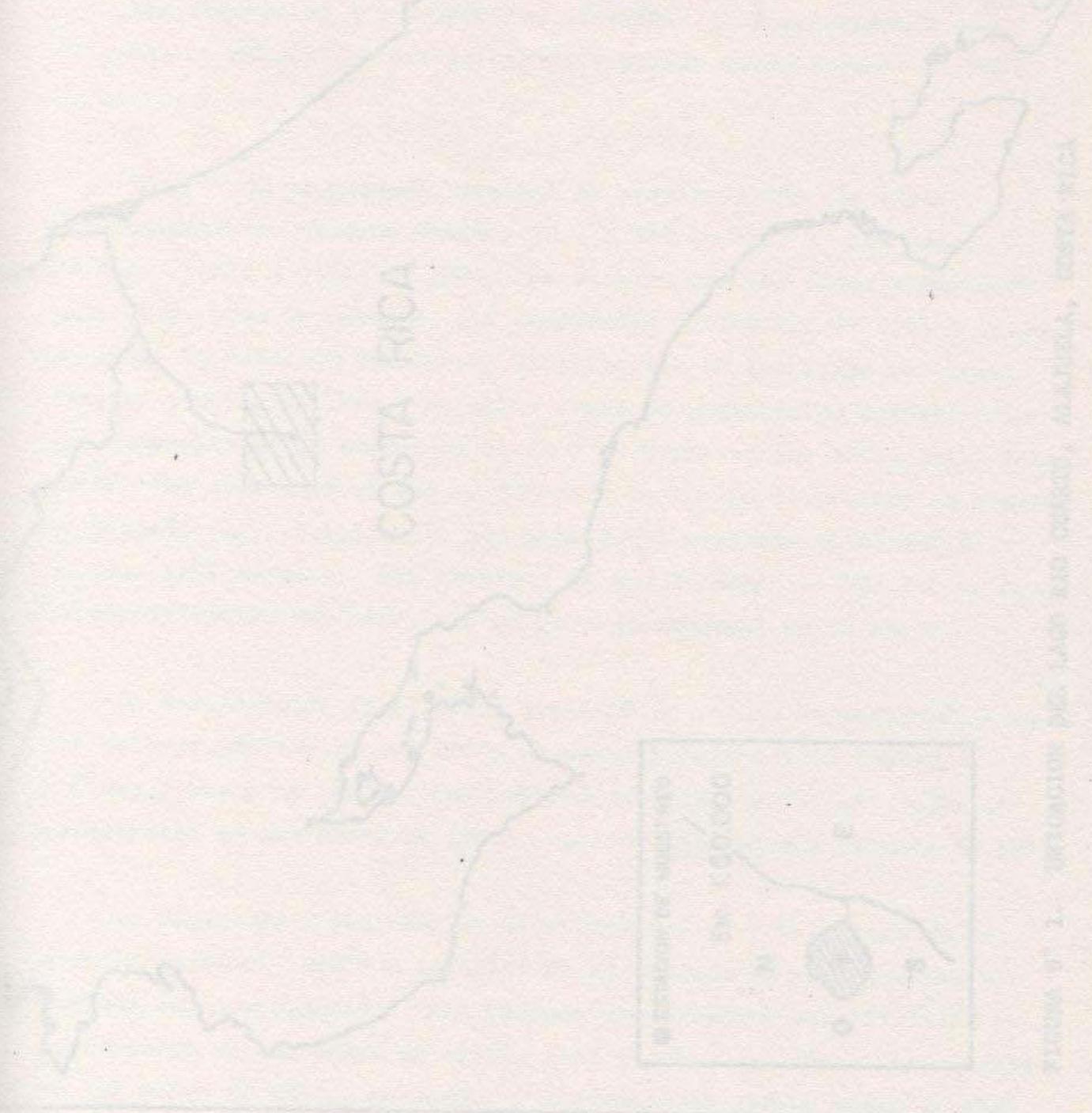


Figura 1. Ubicación del área de estudio, Atlántida, Costa Rica

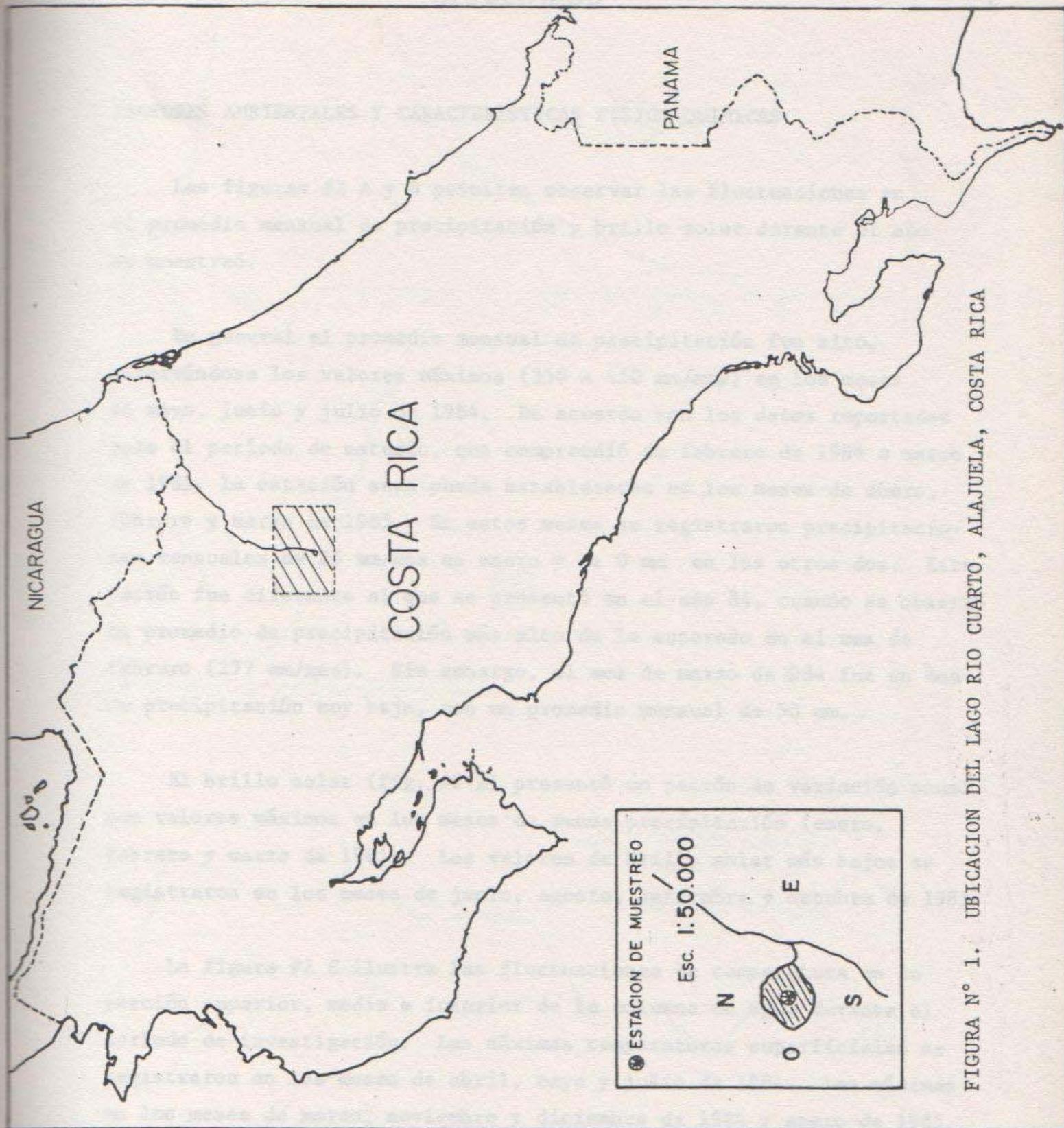


FIGURA N° 1. UBICACION DEL LAGO RIO CUARTO, ALAJUELA, COSTA RICA

RESULTADOS

FACTORES AMBIENTALES Y CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS

Las figuras #2 A y B permiten observar las fluctuaciones en el promedio mensual de precipitación y brillo solar durante el año de muestreo.

En general el promedio mensual de precipitación fue alto, observándose los valores máximos (350 a 450 mm/mes) en los meses de mayo, junio y julio de 1984. De acuerdo con los datos reportados para el período de estudio, que comprendió de febrero de 1984 a marzo de 1985, la estación seca puede establecerse en los meses de enero, febrero y marzo de 1985. En estos meses se registraron precipitaciones mensuales de 25 mm/mes en enero y de 0 mm en los otros dos. Este patrón fue diferente al que se presentó en el año 84, cuando se observó un promedio de precipitación más alto de lo esperado en el mes de febrero (277 mm/mes). Sin embargo, el mes de marzo de 1984 fue un mes de precipitación muy baja, con un promedio mensual de 50 mm.

El brillo solar (fig. #2 B) presentó un patrón de variación anual con valores máximos en los meses de menos precipitación (enero, febrero y marzo de 1985). Los valores de brillo solar más bajos se registraron en los meses de junio, agosto, setiembre y octubre de 1985.

La figura #2 C ilustra las fluctuaciones de temperatura en la porción superior, media e inferior de la columna de agua durante el período de investigación. Las máximas temperaturas superficiales se registraron en los meses de abril, mayo y julio de 1984. Las mínimas en los meses de marzo, noviembre y diciembre de 1984 y enero de 1985.

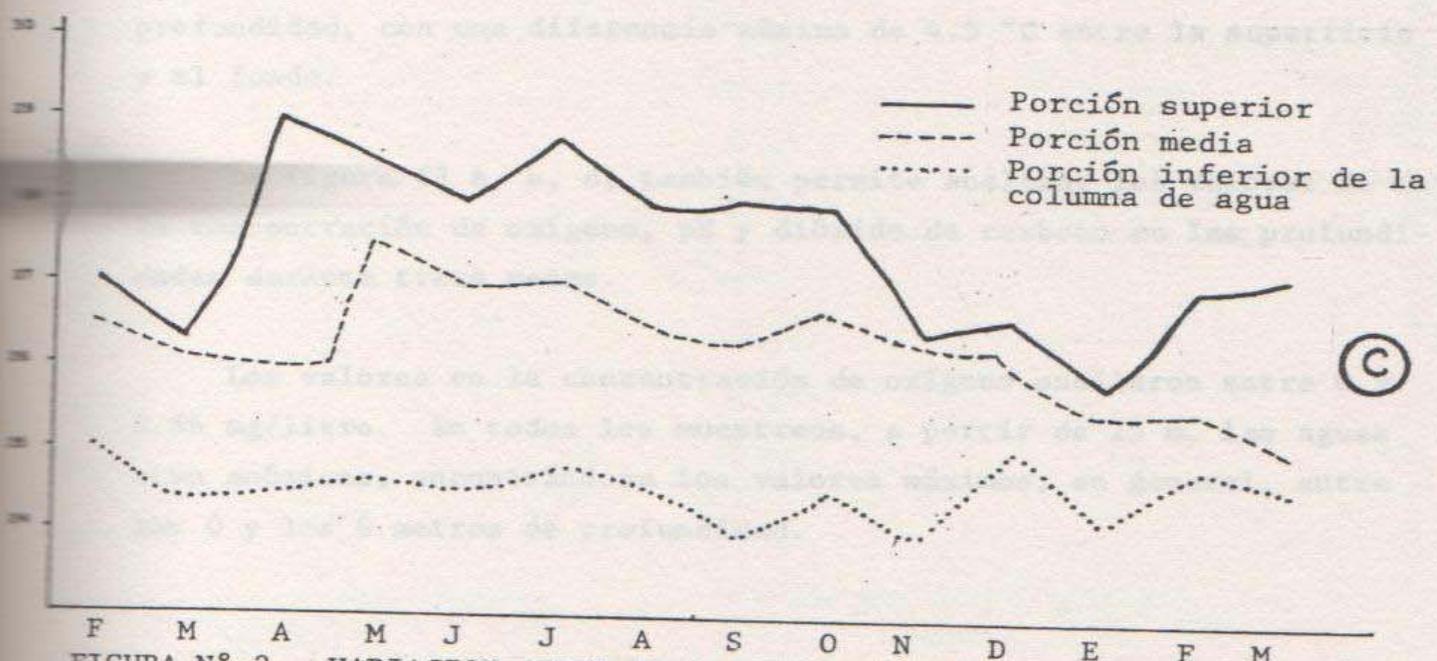
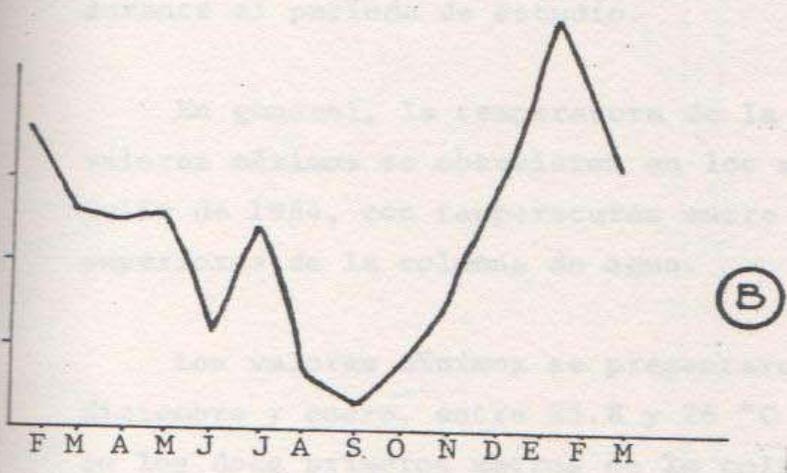
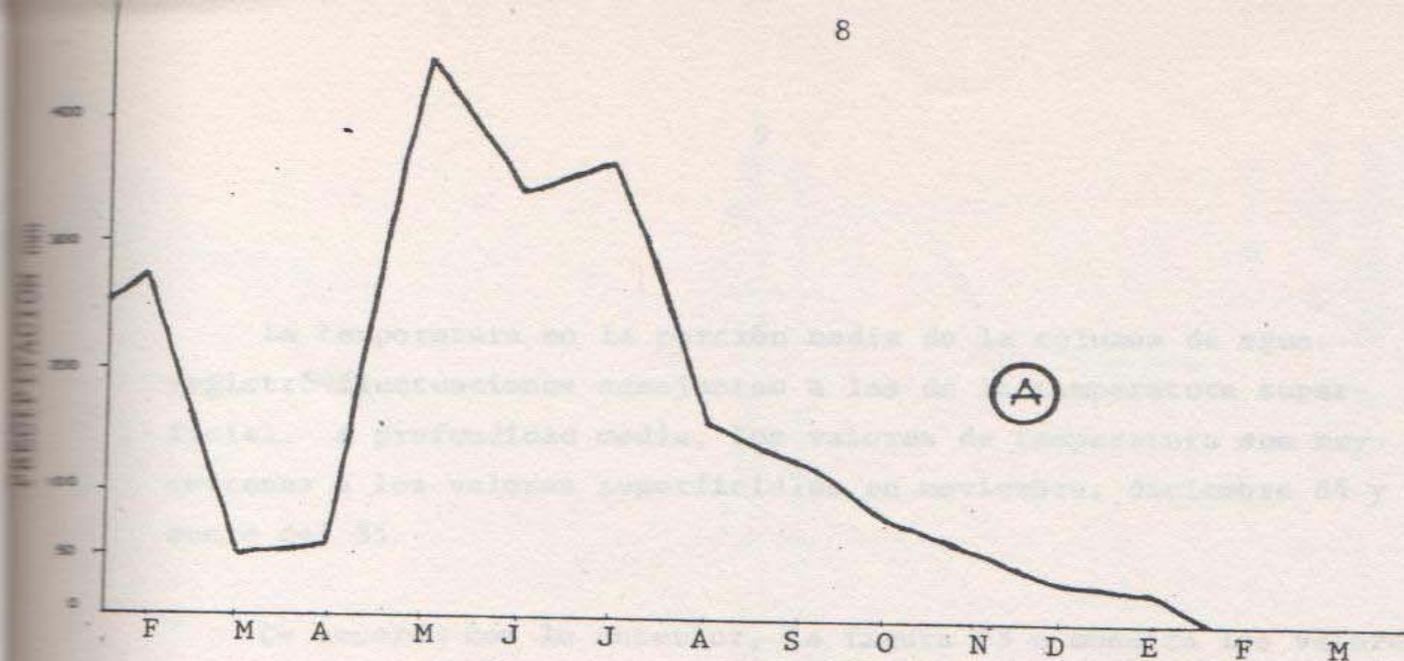


FIGURA N° 2. VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION EN mm/mes (A), BRILLO SOLAR EN HORAS Y DECIMAS DE HORA, (B) Y TEMPERATURA DEL AGUA EN °C (C) EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA, EN EL PERIODO 1984-1985. GRAFICADO CON BASE EN DATOS DEL INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL

La temperatura en la porción media de la columna de agua registró fluctuaciones semejantes a las de la temperatura superficial. A profundidad media, los valores de temperatura son muy cercanos a los valores superficiales en noviembre, diciembre 84 y enero del 85.

De acuerdo con lo anterior, la figura #3 c muestra los valores de temperatura en las distintas profundidades de la columna de agua durante el período de estudio.

En general, la temperatura de la masa de agua fue alta. Los valores máximos se obtuvieron en los meses de abril, mayo, junio y julio de 1984, con temperaturas entre 28.5 y 29°C en los tres metros superiores de la columna de agua.

Los valores mínimos se presentaron en los meses de noviembre, diciembre y enero, entre 25.8 y 26 °C en la superficie e incluso en los doce primeros metros de la columna de agua. En términos generales, se notó una disminución de la temperatura al aumentar la profundidad, con una diferencia máxima de 4.5 °C entre la superficie y el fondo.

La figura #3 a, b, d, también permite analizar los valores de la concentración de oxígeno, pH y dióxido de carbono en las profundidades durante trece meses.

Los valores en la concentración de oxígeno oscilaron entre 0 y 9.86 mg/litro. En todos los muestreos, a partir de 25 m. las aguas eran anóxicas, encontrándose los valores máximos, en general, entre los 0 y los 9 metros de profundidad.

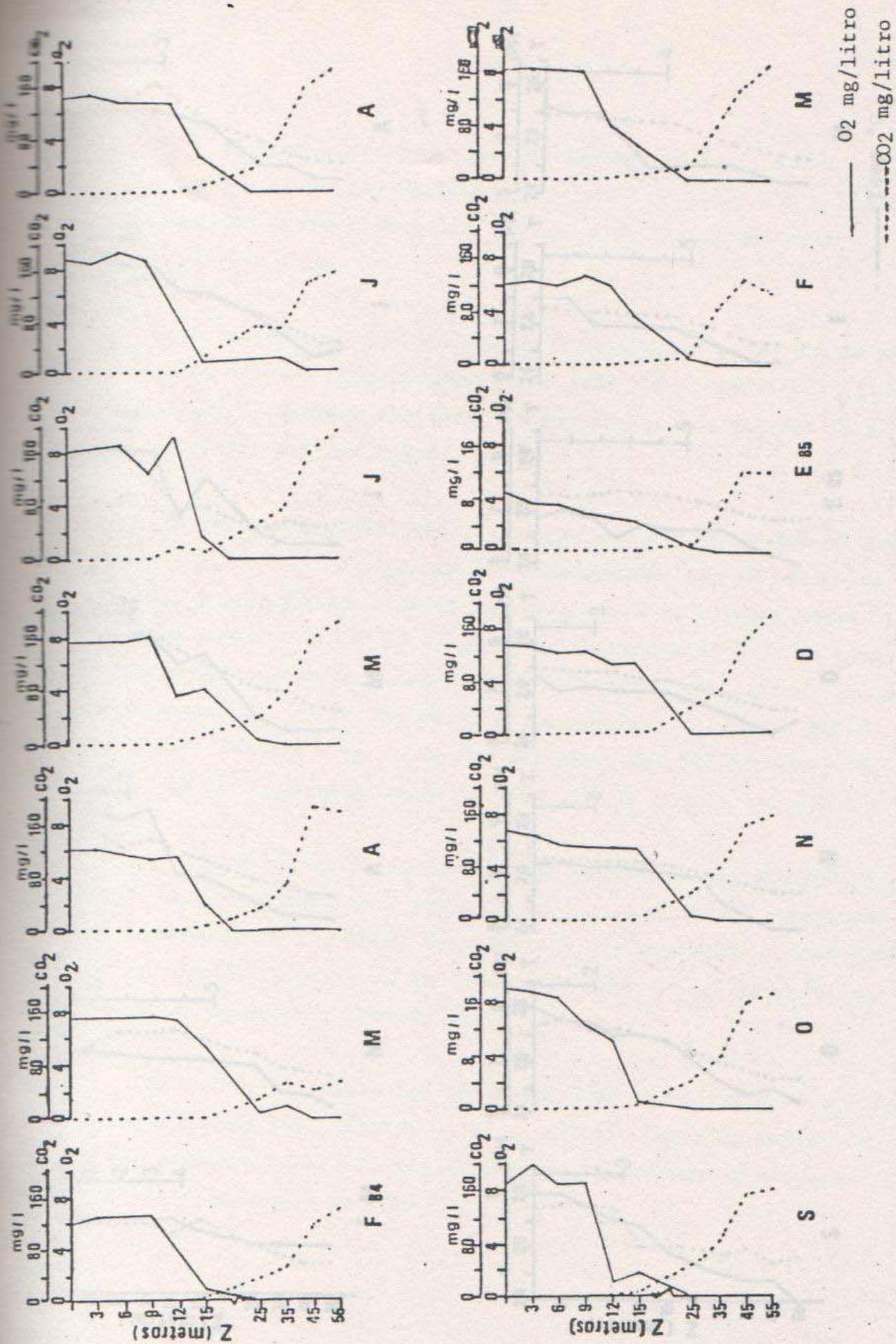


FIGURA N° 3. VARIACIONES VERTICALES EN EL O₂ (A) Y CO₂ (B) DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO, EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA

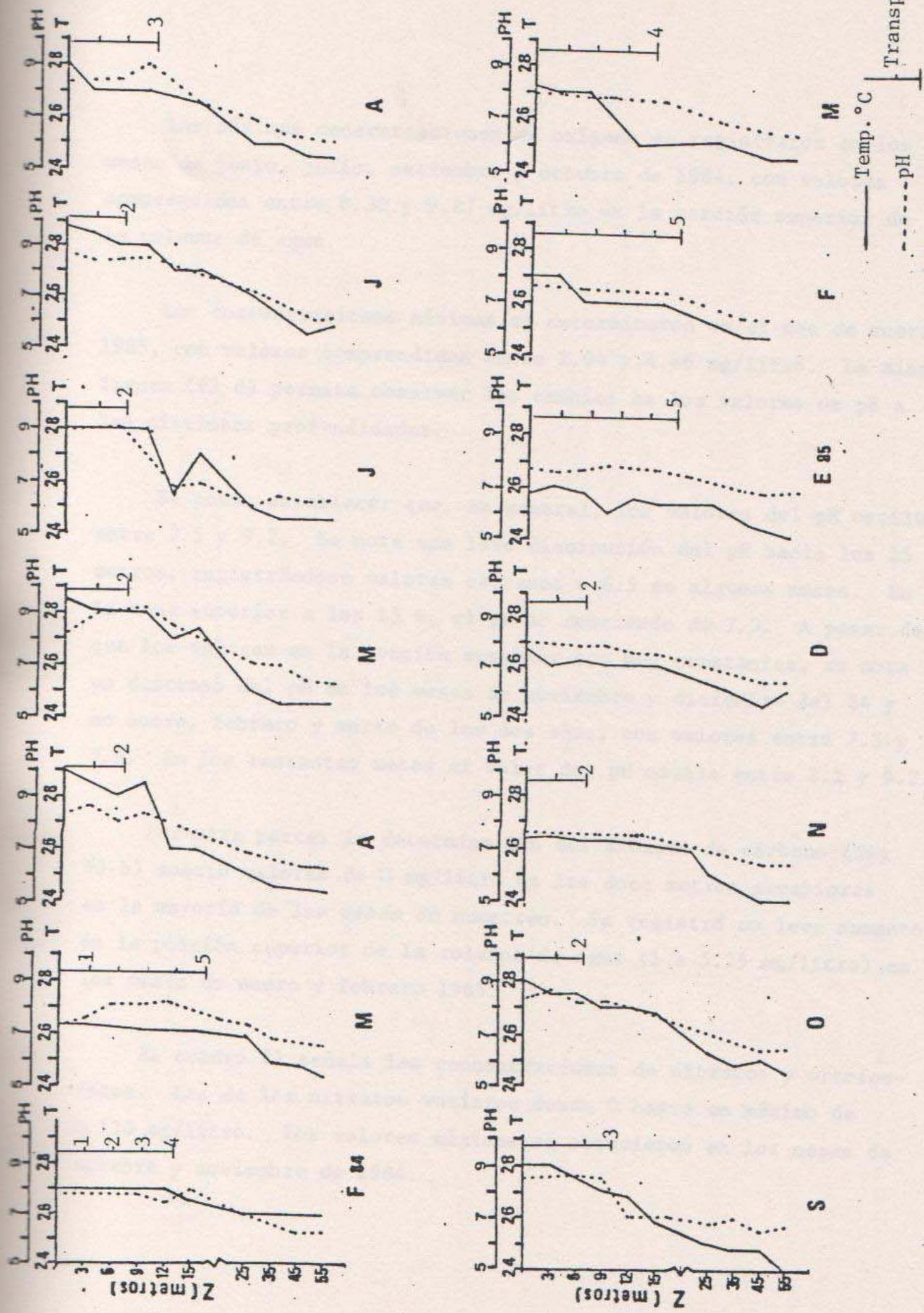


FIGURA N° 3. (CONT.). VARIACIONES VERTICALES EN LA TEMPERATURA (C), PH (D) Y TRANSPARENCIA (E) DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO, EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA

Las máximas concentraciones de oxígeno se registraron en los meses de junio, julio, setiembre y octubre de 1984, con valores comprendidos entre 8.30 y 9.87 mg/litro en la porción superior de la columna de agua.

Las concentraciones mínimas se determinaron en el mes de enero, 1985, con valores comprendidos entre 2.94 y 4.46 mg/litro. La misma figura (#3 d) permite observar los cambios en los valores de pH a las distintas profundidades.

Se puede establecer que, en general, los valores del pH oscilan entre 7.5 y 9.2. Se nota una leve disminución del pH hacia los 15 metros, registrándose valores cercanos a 6.5 en algunos meses. En la zona superior a los 15 m, el pH no desciende de 7.5. A pesar de que los valores en la porción superior son muy constantes, se nota un descenso del pH en los meses de noviembre y diciembre del 84 y en enero, febrero y marzo de los dos años, con valores entre 7.5 y 7.9. En los restantes meses el valor del pH oscila entre 8.1 y 9.2.

Por otra parte, la determinación del dióxido de carbono (fig #3 b) mostró valores de 0 mg/litro en los doce metros superiores en la mayoría de los meses de muestreo. Se registró un leve aumento en la porción superior de la columna de agua (1 a 5.25 mg/litro) en los meses de enero y febrero 1985.

El cuadro #1 señala las concentraciones de nitratos y ortofosfatos. Las de los nitratos variaron desde 0 hasta un máximo de 0.118 mg/litro. Los valores máximos se obtuvieron en los meses de octubre y noviembre de 1984.

CUADRO N° 1. VARIACION ANUAL EN LA CONCENTRACION DE NITRATOS Y ORTOFOSFATOS EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA

Z	FEB. 1984		MARZO 1984		ABRIL 1984		MAYO 1984		JUNIO 1984		JULIO 1984		AGOSTO 1984	
	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4
0	-	-	-	0,0110	0,010	-	0,012	-	-	-	0,018	-	0,003	0,100
3	-	-	-	0,004	0,003	0,004	0,008	0,006	0,013	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	0,003	0,003	0,018	0,007	-	0,007	-	-	-	-
9	-	-	-	0,0130	0,027	0,006	0,008	0,007	0,008	0,023	-	-	-	-
12	-	-	-	0,1221	0,013	0,011	0,013	-	-	-	-	-	0,010	-
15	-	-	-	-	0,007	0,002	0,012	0,004	-	-	0,010	-	-	-

Z	SET. 1984		OCT. 1984		NOV. 1984		DIC. 1984		ENERO 1985		FEB. 1985		MARZO 1985	
	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4	NO3	PO4
0	-	-	-	-	-	-	0,018	-	-	-	-	-	-	-
3	0,007	-	-	-	-	-	0,013	-	-	-	-	-	0,009	-
6	0,0015	-	0,032	-	-	-	-	-	0,009	-	0,007	-	-	-
9	-	-	0,066	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-	0,009	-
12	-	-	0,027	-	0,007	-	-	-	0,009	-	-	-	0,009	-
15	0,015	-	0,013	0,059	0,010	-	0,009	-	-	-	-	-	0,009	-

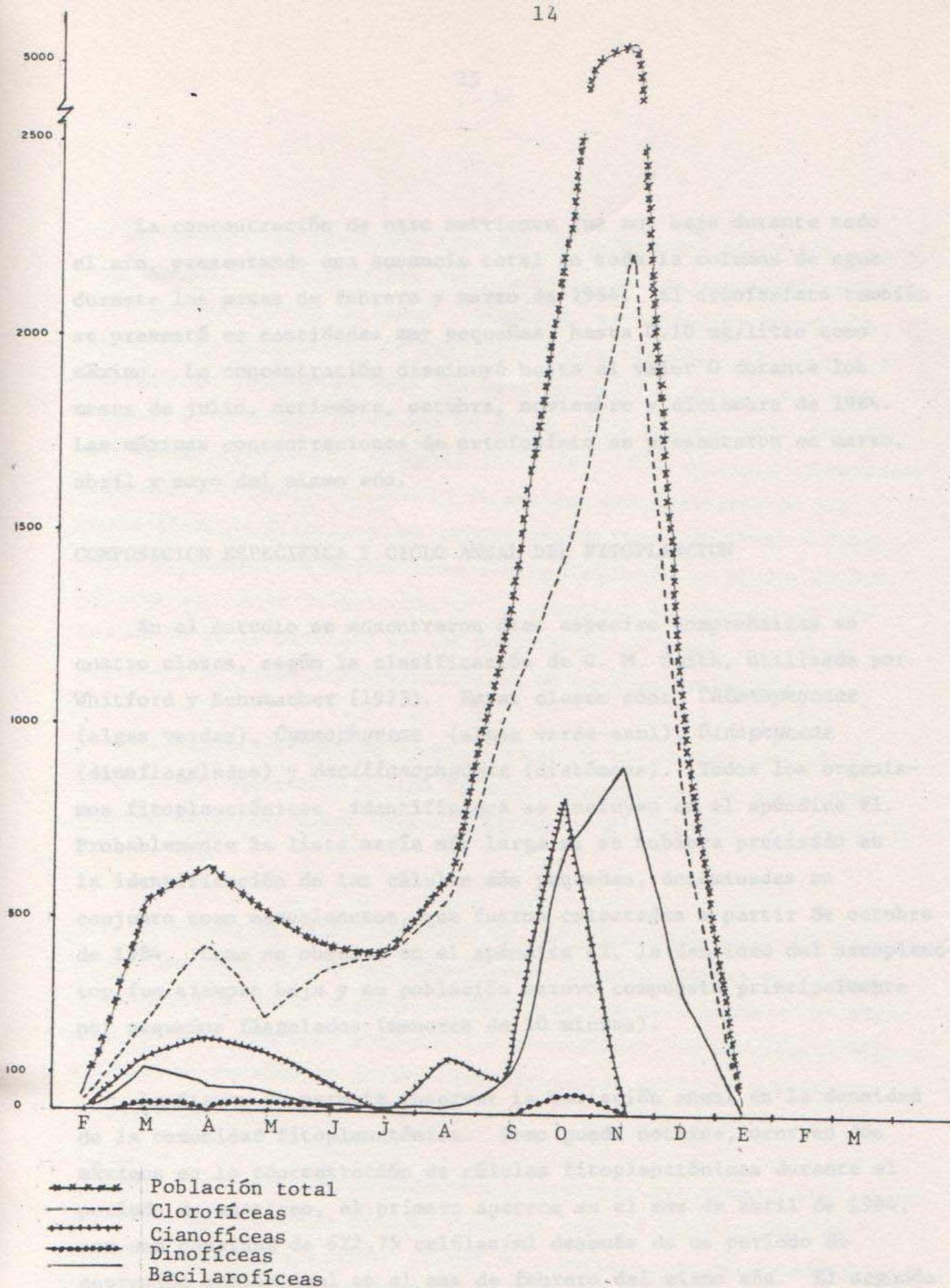


FIGURA N° 4. FLUCTUACION MENSUAL DE LA DENSIDAD (células/ml) DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTONICA Y DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE PRODUCTORES PRIMARIOS ENCONTRADOS EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA DURANTE 1984-1985

La concentración de este nutriente fue muy baja durante todo el año, presentando una ausencia total en toda la columna de agua durante los meses de febrero y marzo de 1984. El ortofosfato también se presentó en cantidades muy pequeñas, hasta 0.10 mg/litro como máximo. La concentración disminuyó hasta el valor 0 durante los meses de julio, setiembre, octubre, noviembre y diciembre de 1984. Las máximas concentraciones de ortofosfato se presentaron en marzo, abril y mayo del mismo año.

COMPOSICION ESPECIFICA Y CICLO ANUAL DEL FITOPLANCTON

En el estudio se encontraron diez especies comprendidas en cuatro clases, según la clasificación de G. M. Smith, utilizada por Whitford y Schumacher (1973). Estas clases son: *Chlorophyceae* (algas verdes), *Cyanophyceae* (algas verde-azul), *Dinophyceae* (dinoflagelados) y *Bacilliarophyceae* (diatomeas). Todos los organismos fitoplanctónicos identificados se incluyen en el apéndice #1. Probablemente la lista sería más larga si se hubiera precisado en la identificación de las células más pequeñas, denominadas en conjunto como nanoplancton, que fueron colectadas a partir de octubre de 1984. Como se observa en el apéndice #2, la densidad del nanoplancton fue siempre baja y su población estuvo compuesta principalmente por pequeños flagelados (menores de 10 micras).

La figura #4 permite observar la variación anual en la densidad de la comunidad fitoplanctónica. Como puede notarse, ocurren dos máximos en la concentración de células fitoplanctónicas durante el período de muestreo, el primero aparece en el mes de abril de 1984, con una densidad de 622,75 células/ml después de un período de depresión poblacional en el mes de febrero del mismo año. El segundo máximo, cinco veces mayor que el anterior (3123 células/ml) se produce en el mes de noviembre de 1984 y es el resultado de un aumento gradual

en la densidad de población a partir de agosto del mismo año. Este segundo pico de crecimiento representa la máxima abundancia anual en todos los grupos de algas. Asimismo, se pueden detectar tres períodos de declinación de las poblaciones algales. El primero se presenta en febrero de 1984 con valores de 35,4 células/ml; el segundo se presenta en el mes de julio (43,8 células/ml), después del máximo crecimiento de abril (fig. #4). Sin embargo, la declinación más drástica en el número de células por mililitro de las poblaciones de fitoplancton, ocurre en los meses de enero y febrero de 1985, cuando las poblaciones descienden hasta un mínimo de 0.07 células/ml. Esta disminución en la comunidad es producto de una reducción en la densidad de las poblaciones de todos los grupos algales y en todas las profundidades de la zona trofógena.

La figura #4 también permite observar las variaciones en la densidad de las cuatro clases de algas reportadas. Es notoria la dominancia de las algas verdes (*Chlorophyceae*) durante todo el período de muestreo.

El patrón de variación anual de las algas azul-verde (*Cyanophyceae*) es muy semejante al de las clorofíceas, constituyéndose en el grupo codominante de marzo a junio de 1984 y de agosto a octubre del mismo año. A partir de este momento, las cianofíceas van disminuyendo para desaparecer totalmente durante los siguientes meses de noviembre, diciembre y enero.

Las diatomeas (*Bacillorophyceae*) muestran dos máximos muy cortos, uno en el mes de marzo de 1984 donde se reportó una densidad de 123,96 células/ml y otro en el mes de noviembre con 901,37 células/ml. En este último mes se observa un gran desarrollo de este grupo, que alcanza aquí su máxima abundancia anual y se convierte en codominante con el grupo de las algas verdes.

Los dinoflagelados (*Dinophyceae*) están representados por una población uniespecífica que nunca alcanza densidades elevadas. Es el grupo menos abundante pero persistente en el tiempo. Presenta un único máximo poblacional en el mes de octubre de 1984, con una abundancia de 54,5 células/ml.

La figura #5 presenta los patrones de variación de las principales especies de fitoplancton. Es posible establecer que la especie *Mougeottia genuflexa* presenta la máxima densidad de población. Su crecimiento máximo se observó en el mes de noviembre con un promedio de 1983 células/ml.

Por otra parte, *Nitzschia* y *Anabaena* también presentaron concentraciones altas durante gran parte del período de muestreo. Sus máximos de crecimiento se registraron en el mes de noviembre para *Nitzschia* sp. con un promedio de 901 células/ml y en el mes de octubre para *Anabaena* sp. con un promedio de 824 células/ml.

Las especies de menor densidad están representadas por *Staurastrum* sp. 1, *Staurastrum* sp. 2, *Staurastrum* sp. 3, *Eudorina elegans*, *Aphanocapsa elachista*, *Cylindrospermum minutum* y *Peridinium* sp. Ninguna de estas especies alcanza densidades mayores a 55 cel/ml., presentando valores de 0 cel/ml. en gran parte del año (figura #5).

La figura #6 representa la variación en el porcentaje de las principales especies durante el período de estudio. Se puede observar nuevamente el marcado dominio de *Mougeottia genuflexa* durante la mayor parte del muestreo, pues representa más del 50% de la población entre abril y diciembre de 1984.

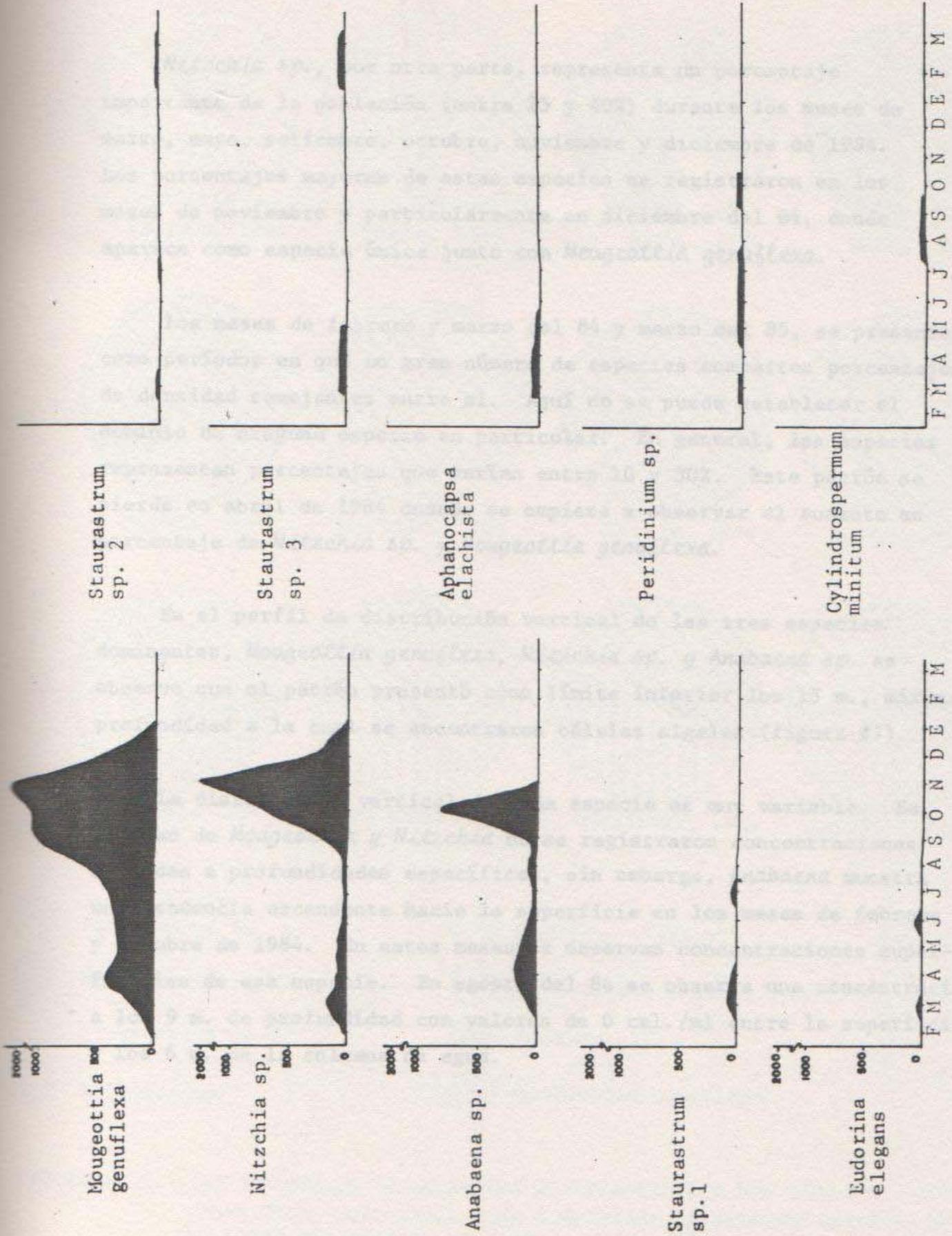


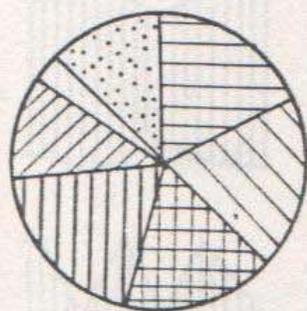
FIGURA N° 5. PATRONES DE VARIACION DE LAS PRINCIPALES ESPECIES (células/ml) ENCONTRADAS EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA (1984-1985).

Nitzchia sp., por otra parte, representa un porcentaje importante de la población (entre 25 y 40%) durante los meses de marzo, mayo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre de 1984. Los porcentajes mayores de estas especies se registraron en los meses de noviembre y particularmente en diciembre del 84, donde aparece como especie única junto con *Mougeottia genuflexa*.

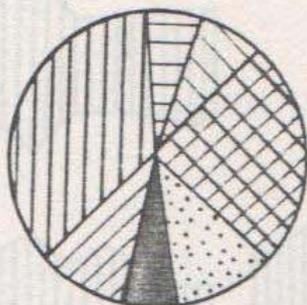
Los meses de febrero y marzo del 84 y marzo del 85, se presentan como períodos en que un gran número de especies comparten porcentajes de densidad semejantes entre si. Aquí no se puede establecer el dominio de ninguna especie en particular. En general, las especies representan porcentajes que varían entre 10 y 30%. Este patrón se pierde en abril de 1984 cuando se empieza a observar el aumento en porcentaje de *Nitzchia sp.* y *Mougeottia genuflexa*.

En el perfil de distribución vertical de las tres especies dominantes, *Mougeottia genuflexa*, *Nitzchia sp.* y *Anabaena sp.* se observa que el patrón presentó como límite inferior los 15 m., máxima profundidad a la cual se encontraron células algales (figura #7).

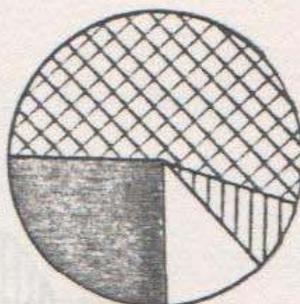
La distribución vertical de cada especie es muy variable. En el caso de *Mougeottia* y *Nitzchia* no se registraron concentraciones marcadas a profundidades específicas, sin embargo, *Anabaena* muestra una tendencia ascendente hacia la superficie en los meses de febrero y octubre de 1984. En estos meses se observan concentraciones superficiales de esa especie. En agosto del 84 se observa una concentración a los 9 m. de profundidad con valores de 0 cel./ml entre la superficie y los 6 m. de la columna de agua.



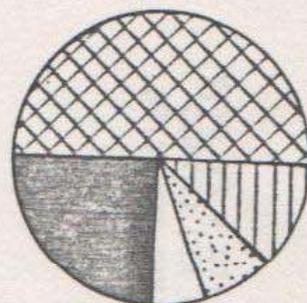
FEBRERO, 1984



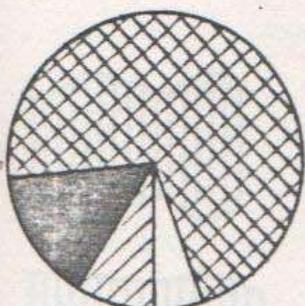
MARZO, 1984



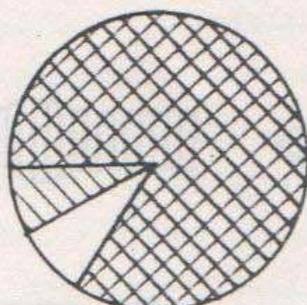
ABRIL, 1984



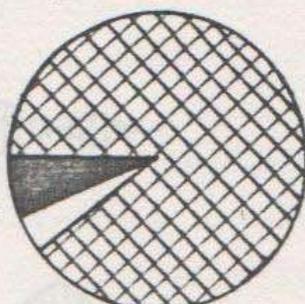
MAYO, 1984



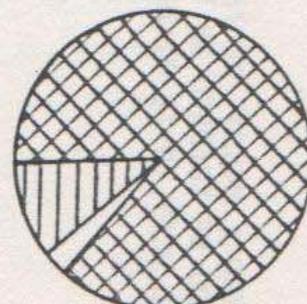
JUNIO, 1984



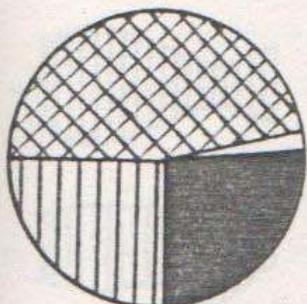
JULIO, 1984



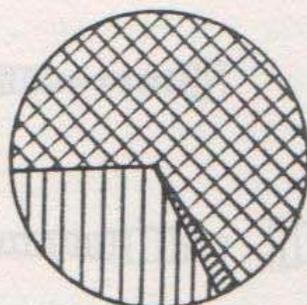
AGOSTO, 1984



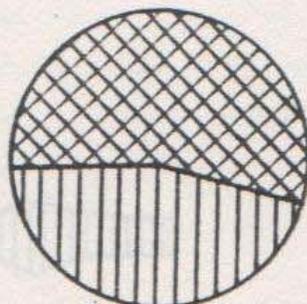
SETIEMBRE, 1984



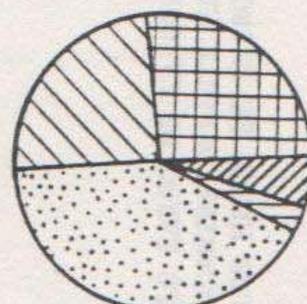
OCTUBRE, 1984



NOVIEMBRE, 1984



DICIEMBRE, 1984



MARZO, 1985



Staurastrum sp. 1



Staurastrum sp. 2



Staurastrum sp. 3



Nitzschia sp.



Eudorina elegans



Aphanocapsa elachista



Anabaena sp.



Mougeottia genuflexa

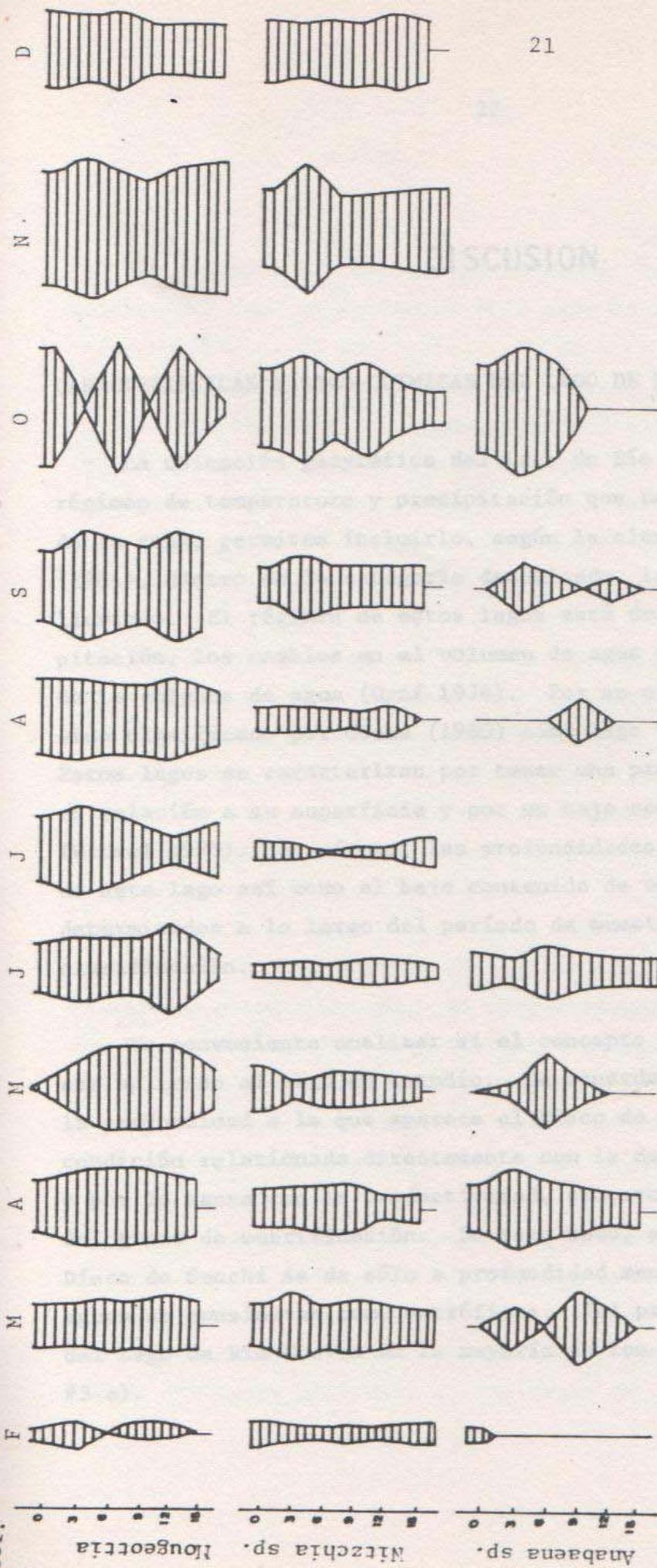


Peridinium sp.



Otras

FIGURA N° 6. VARIACIONES DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTONICA DEL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA, EXPRESADAS COMO PORCENTAJE DE ESPECIES ENCONTRADAS A LO LARGO DEL PERIODO DE ESTUDIO. (1984-1985).



ESCALA
3.367 cel/mi.

FIGURA n° 7. DISTRIBUCION VERTICAL A LO LARGO DE LA COLUMNA DE AGUA (0-15 m) DE LAS TRES ESPECIES FITOPLAFTONICAS MAS ABUNDANTES DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA. (NO INCLUYE LOS MESES DE ENERO, FEBRERO Y MARZO DE 1985 DEBIDO A LA BAJA DENSIDAD DE POBLACION).

DISCUSION

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DEL LAGO DE RIO CUARTO

La ubicación geográfica del Lago de Río Cuarto, así como el régimen de temperatura y precipitación que caracterizan el clima de la zona, permiten incluirlo, según la clasificación de Nilsen (1984), dentro de la categoría denominada, lagos de bosque tropical lluvioso. El régimen de estos lagos está determinado por la precipitación, los cambios en el volumen de agua y los cambios térmicos de la columna de agua (Ganf 1974). Por su origen, el lago ya había sido clasificado por Gocke (1980) como lago volcánico tipo "maar". Estos lagos se caracterizan por tener una profundidad considerable en relación a su superficie y por un bajo contenido de nutrientes (Wetzel 1975). En efecto, las profundidades medidas en el estudio de este lago así como el bajo contenido de ortofosfatos y nitratos determinados a lo largo del período de muestreo, confirman esta clasificación.

Es conveniente analizar si el concepto de lago eutrófico puede ser aplicado al lago en estudio. De acuerdo con Margaleff (1983) la profundidad a la que aparece el Disco de Secchi (transparencia), condición relacionada directamente con la densidad fitoplanctónica y por lo tanto con la productividad, proporciona una idea aproximada del grado de eutrificación. De este modo, si la visibilidad del Disco de Secchi se da sólo a profundidades menores de tres metros, las aguas se consideran como eutróficas. Tal parece ser la condición del Lago de Río Cuarto en la mayoría de los meses de muestreo (Fig. #3 e).

Al analizar el concepto de eutrofia, Wetzel (1975) señala la alcalinidad como un parámetro útil para su determinación. Así, valores altos de pH son indicativos de alta producción y por tanto precisan el grado de eutrofia. De acuerdo con este punto de vista, el lago también puede ser considerado eutrófico puesto que el pH osciló en valores cercanos o superiores a 8 (figura #3 d). Estos resultados están en concordancia con el estudio de Gocke (1980), quien clasificó el lago como eutrófico al analizar los altos valores de productividad que determinó durante su estudio.

Sin embargo, en el análisis de los datos del cuadro #1, que corresponden a todos los muestreos efectuados, se encontró que las concentraciones de nitratos y ortofosfatos fueron muy bajas a lo largo del año. Así, los bajos contenidos de estos nutrientes dan al agua del lago características de oligotrofia. Esta baja concentración de nutrientes esenciales no coincide con el alto grado de desarrollo de fitoplancton registrado. La explicación de este fenómeno está dada en gran parte por la dinámica de circulación de nutrientes y por el régimen térmico del lago, procesos que son examinados a continuación. El patrón térmico de la columna de agua mostró, a lo largo del año, variaciones importantes (figura #3). Las temperaturas superficiales presentaron fluctuaciones marcadas, las más elevadas se presentaron entre los meses de abril y julio de 1984, coincidiendo con el inicio de la época de mayor precipitación y con la disminución de los vientos. Las temperaturas superficiales más bajas, encontradas en noviembre, diciembre y enero, coinciden con el inicio de la época seca, la cual se caracteriza por una disminución marcada en la precipitación y por la presencia de vientos fuertes. Las temperaturas del fondo permanecieron homogéneas (figura #2 c), siendo levemente afectadas en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Las temperaturas obtenidas a lo largo del año de muestreo permitieron observar la aparición de una discontinuidad térmica entre los 3 m y los 15 m de profundidad. De este modo se presenta una capa superior o mixolimnio con temperaturas superiores en varios grados a las del fondo. Esta discontinuidad térmica fue muy marcada desde mayo hasta octubre de 1984, época en que se presentaron diferencias de 5 a 6°C entre la superficie y el fondo del lago. Se puede concluir que en este lapso el lago permaneció estratificado. Esto coincide con lo encontrado por Lewis (1978 a) y Candonedo y D'Croz (1983) para lagos tropicales. La estratificación disminuyó en el mes de noviembre de 1984, para desaparecer en los meses de diciembre, enero y febrero siguientes. La ocurrencia de mezcla en el mixolimnio durante estos meses coincide con la disminución en la precipitación, la presencia de vientos fuertes y el descenso de la temperatura promedio en la columna de agua. Un proceso semejante se observó también en febrero y marzo de 1984. El mecanismo que se sugiere como causante del régimen de distribución térmica en el Lago de Río Cuarto, coincide con el descrito para muchos lagos africanos (Beadle 1966, Talling 1966 y Lewis 1984). En efecto, estos autores relacionaron el período de estratificación térmica con meses de poca intensidad de vientos y la ocurrencia de mezcla con el aumento de vientos y disminución de temperatura.

Reafirmando lo anterior, Nilssen (1984) considera que el factor más importante que interviene en la circulación de los lagos tropicales es el viento, en vez de las fluctuaciones estacionales de la radiación y temperatura atmosférica, como ocurre en las zonas templadas.

La aplicación a este lago de los términos estratificación y meromixis, se basa en los conceptos establecidos por Lewis (1983, 1984), Candonedo y D'Croz (1983) y Kracht (1983) para la ocurrencia de estos procesos en los lagos tropicales.

Según Lewis (1984), Ganf (1974) y Candonedo y D'Croz (1983), un lago tropical puede comportarse como meromíctico varias veces al año y el tamaño del mixolimnio puede variar.

Lewis (1983) señaló que el Lago Lanao en Filipinas, puede presentar ciclos diarios en que se comporta como meromíctico. Este es un lago tropical de características similares al de Río Cuarto. En el lago Lanao, la ocurrencia de mezclas parciales en períodos cortos explica la alta productividad en aguas oligotróficas. Probablemente, si la frecuencia de muestreos hubiera sido mucho mayor, habría sido posible establecer la duración de los períodos de estratificación y la ocurrencia de mezcla superficial en el Lago de Río Cuarto. En efecto, en los lagos profundos tropicales, la mezcla superficial ocurre con mayor facilidad que la mezcla a mayores profundidades (Ganf 1974). Se puede determinar así, períodos de mezcla del mixolimnio producida por cambios marcados en los factores ambientales (cambios estacionales) y períodos de mezcla superficial provocados por cambios diurnos en la temperatura y por presencia de vientos leves (Kracht 1983). En el caso del Lago de Río Cuarto fue posible determinar, debido al lapso entre muestreos, únicamente los procesos de mezcla del mixolimnio producidos por cambios estacionales. El hecho de que este cuerpo de agua se comporte como meromíctico, podría explicar la alta productividad a pesar del bajo contenido de nitratos y ortofosfatos en el lago. En efecto, la presencia de mezcla en el piso superior implica la constante renovación de nutrientes.

En un lago tropical la materia orgánica se traslada por sedimentación y migración hacia la capa más profunda del epilimnio, donde la descomposición ocurre rápidamente debido a la alta temperatura (Lewis 1984, McCullough 1978). Si no hay mezcla, los nutrientes

se agotan dentro del piso de mezcla por concentración en la capa estable inferior. Así, la mezcla del mixolimnio permite renovar el suplemento de nutrientes dentro de la zona fótica, ya que, al estimularse el reciclaje se suple la deficiencia que produce la baja concentración de nitratos y fosfatos en el agua del lago. Un fenómeno igual al descrito fue encontrado por Lewis (1984) en el Lago Lanao, mientras que Kratch (1983) estableció una estrecha relación entre el aumento de la eutrificación de varios lagos y la ocurrencia de procesos meromícticos.

Si bien la ocurrencia de mezcla podría explicar en parte la alta productividad a pesar del bajo contenido de nitratos y ortofosfatos en el Lago de Río Cuarto, deben considerarse las limitaciones que existen en la determinación química de esos compuestos. Por ejemplo, Lewis (1978 B) y Kalff y Knoeche (1978) consideran que las muestras para determinar nutrientes no deben obtenerse en lapsos mayores de una semana. Intervalos mayores entre un muestreo y otro no proporcionan valores exactos en vista de los rápidos cambios que ocurren en el nivel de nutrientes durante una semana dada. Así, los nutrientes aportados a la zona fótica por la profundidad de mezcla, unos pocos días antes del muestreo, pueden ser removidos por el fitoplancton al momento en que las muestras fueron tomadas. Por otra parte, Kalff y Knoeche (1978) consideran que las bajas concentraciones de nitrato no necesariamente implican ausencia de nitrógeno. En el caso del fitoplancton, las algas pueden usar iones amonio o fijar nitrógeno gaseoso. En lagos con largos períodos de retención, como el del estudio, el amonio de la lluvia o del hipolimnio pueden ser una fuente importante de nitrógeno, según el mismo autor.

Recientemente se ha comprobado que las algas pueden extraer y retener fósforo y nitrógeno orgánico a partir de la materia orgánica

disuelta, en forma tan eficiente como las bacterias (Currie y Kalff 1984, Hama y Nobukiko 1983). De este modo, en ambientes acuáticos con niveles bajos de nitrógeno y ortofosfato, ésta podría ser una fuente importante que suple las deficiencias ambientales de esos elementos.

Al considerar otros parámetros físicos y químicos se determinó una relación de ellos con la densidad del fitoplancton. Así, los valores del Disco de Secchi indican que el período de máxima penetración de la luz fue durante enero y febrero de 1985, coincidiendo con las densidades mínimas del fitoplancton. En el resto del muestreo, las mediciones de transparencia proporcionaron valores mucho menores, con una disminución muy marcada en los meses de octubre y noviembre de 1984, meses en que se registró la máxima densidad fitoplanctónica. Asimismo, los máximos valores de dióxido de carbono coinciden con la época en que se registraron valores mínimos de fitoplancton (enero y febrero de 1985). En este período la distribución de dióxido de carbono incluye la totalidad de la columna de agua (55 m.). Al aumentar la población fitoplanctónica el dióxido de carbono disminuye en la zona fótica, determinándose concentraciones de 0 mg/litro en los meses de máxima densidad fitoplanctónica.

CICLO ANUAL DEL FITOPLANCTON

Al analizar los cambios en la densidad de las poblaciones fitoplanctónicas es posible relacionar estas variaciones con ciertos factores físicos en particular. De este modo, los máximos de crecimiento de la población se presentan en relación con promedios de lluvia moderados (entre 50 y 80 mm/mes) y porcentajes mayores de

brillo solar (figura #2 b) debido a la menor nubosidad. Así, el máximo poblacional de abril coincidió con una disminución en la precipitación, a 55 mm/mes, y los máximos de octubre y noviembre ocurrieron con precipitaciones de 78 mm/mes y 55 mm/mes respectivamente. En la figura #2 a se observa que los valores de estas precipitaciones representan una cantidad de lluvia moderada dentro del régimen de lluvias de la región.

Es notorio que si bien los máximos poblacionales ocurren al disminuir la precipitación, los meses anteriores al aumento de la comunidad presentaron en todos los casos, alta precipitación. Estos períodos de alta pluviosidad implican entrada de nutrientes al lago, principalmente por arrastre y precipitación de partículas presentes en el aire. De este modo, pareciera que la acumulación paulatina de nutrientes pudo haber producido ascensos súbitos en el nivel de todas las poblaciones. Debe anotarse que lo anterior coincidió con aumentos en las concentraciones de nitratos y ortofosfatos.

De acuerdo con los datos obtenidos en el Lago de Río Cuarto por Ramírez (comunicación personal, 1985), el máximo poblacional de fitoplancton observado en el mes de noviembre coincide con un descenso notorio en la población zooplanctónica, particularmente en los rotíferos. Sin embargo, a pesar de estos patrones inversos en densidad, las principales especies de algas que dominan la población fitoplanctónica en este mes, están reportadas como especies no depredadas por rotíferos, de acuerdo con Charpentier (comunicación personal, 1985).

Entre las densidades poblacionales mínimas registradas durante el año de muestreo sobresale la declinación drástica ocurrida en los meses de enero y febrero de 1985 (figura #4). En este período

la población fitoplanctónica casi desapareció, presentándose densidades menores de 1 célula/ml. Este mínimo poblacional coincidió con la estación seca y precipitaciones de 0 mm/mes. Además, la ausencia de lluvias determinó un descenso en las concentraciones de nitratos y ortofosfatos en este mismo período.

Es necesario hacer énfasis en que el descenso en la población se presentó durante el período de mezcla ocurrido en los meses de diciembre, enero y febrero.

Si bien la ocurrencia de mezcla en muchos casos permite el reciclaje de nutrientes y estimula la productividad del lago, los efectos inmediatos pueden ser perjudiciales para el fitoplancton en algunos casos (Heyman y Blomvist, 19840). De este modo, si la profundidad de mezcla (Z_m) aumenta considerablemente durante el proceso, la provisión de oxígeno puede disminuir en forma muy marcada debido a la presencia de una proporción de aguas anóxicas más profundas a consecuencia de la mezcla. Así, las bajas concentraciones de oxígeno que se registraron en este período (figura #3 a), pueden ser explicadas en parte por ese proceso, además de la disminución que implica una tasa muy baja de fotosíntesis.

Kalff y Knoeche (1978) han demostrado que en algunos lagos puede no darse un crecimiento neto de fitoplancton durante el período de circulación. Así, si la mezcla se efectúa con mucha fuerza y profundidad, las algas pueden ser apartadas de la zona fótica, impidiéndose su funcionamiento fisiológico (Smayda 1980).

Aunque los hechos anteriores pueden usarse como argumentos para explicar el descenso en el fitoplancton, es conveniente examinar el concepto que explica la mortalidad que puede producirse después de un crecimiento exponencial del mismo. En el Lago de

Río Cuarto, la disminución en el número de células ocurrió después de un aumento significativo registrado en los meses anteriores, por lo que este argumento puede ser importante para explicar el caso. Jassby y Goldmann (1974) y Heyman y Blomvist (1984) entre otros autores han planteado el concepto anterior para explicar las declinaciones severas y repentinas de las poblaciones fitoplanctónicas. De acuerdo con estos autores, el fenómeno puede ser explicado como una consecuencia de la fragilidad del equilibrio ambiental que se produce después de una gran proliferación celular. Cualquier cambio ambiental, por ligero que sea, puede romper este equilibrio y provocar un colapso en la población. En nuestro caso, estos cambios se producen en forma pronunciada al ocurrir el proceso de mezcla, entre ellos, ya se mencionó la declinación en la concentración de oxígeno. En cuanto a los patrones de distribución de los distintos grupos de algas registrados, la dominancia de las algas verdes durante todo el período de muestreo puede ser explicado por la dominancia de la especie *Mougeottia genuflexa*. Esta especie presenta características que favorecen su desarrollo y persistencia en el lago. En efecto, su forma filamentosa le impide ser depredada (Mullin y Brooks 1976) y su ritmo rápido de reproducción asexual le permite mantener su población constante, favoreciendo a la vez el reciclaje de nutrientes. Esta especie es bastante persistente y sobrepasó siempre en densidad a las poblaciones restantes. *Mougeottia* desaparece únicamente durante los meses de declinación severa de la comunidad fitoplanctónica (enero, febrero y marzo de 1985), por las razones expuestas anteriormente. En julio de 1984 se notó una declinación marcada de las poblaciones en todos los grupos, excepto en las algas verdes. En este mes, *Mougeottia* representó el 75% de la población total (figura #6) y es la única especie cuya población no disminuye.

La depresión poblacional de julio coincide con la desaparición total de las especies de clorófitas que no son filamentosas, o sea aquellas especies de menor tamaño como las representantes del género *Staurastrum* y la especie colonial *Eudorina elegans*. Asimismo, en este mes disminuyen a niveles muy bajos las poblaciones de algas verde-azules, las diatómeas y los dinoflagelados. A pesar de que estas últimas poblaciones aumentan su densidad en el mes de agosto, en el caso de las algas verdes, las de menor tamaño son sustituidas totalmente por la especie *Mougeottia genuflexa*. Esta depresión poblacional de julio coincide con una densidad máxima del zooplancton, entre ellos los copépodos y los rotíferos y cladóceros (Ramírez, E. comunicación personal, 1985).

El hecho de que las especies pequeñas desaparezcan en todos los grupos y permanezca la forma filamentosa (*M. genuflexa*) difícilmente depredada por el zooplancton, permite relacionar el fenómeno con una probable depredación. Esta circunstancia se hace más evidente si consideramos que en el mes de julio no se observa ninguna variación marcada de los parámetros físico-químicos del lago, ni de los factores ambientales considerados como responsables de otras variaciones en la densidad de la comunidad fitoplanctónica.

En general los patrones de distribución de los distintos grupos son muy semejantes entre sí. Se puede establecer que durante la mayor parte del muestreo tres especies se presentaron como dominantes: *Nitzschia* sp., *Mougeottia genuflexa* y *Anabaena* sp.

Si bien *M. genuflexa* es la especie que alcanza mayor densidad en su población, su patrón de distribución a lo largo del tiempo es muy similar al de *Nitzschia* sp. Ambas especies alcanzaron picos de

crecimiento en noviembre, mes en que se observó su máxima abundancia anual. El comportamiento de *Anabaena* es diferente puesto que su densidad máxima se presentó en octubre y a partir de este momento disminuye para desaparecer después de noviembre de 1984.

Las especies de mayor abundancia son bastante persistentes en el tiempo. En efecto, *Nitzchia* estuvo presente durante todo el año y *Mougeottia* no se reportó sólo en los meses de enero, febrero y marzo de 1985.

Por otra parte, las especies menos abundantes son especies meroplanctónicas (intermitentes). Es posible afirmar que sus patrones de distribución son muy semejantes. Estas especies se presentaron principalmente en los meses de febrero, marzo y abril de ambos años.

En general, se observó que las especies menos abundantes surgen en momentos en que las especies dominantes ven reducidas sus poblaciones. Muchas de ellas siguen patrones de distribución con estacionalidad muy marcada, siendo especies que aparecen sólo en la estación seca. En esta época la precipitación disminuye marcadamente, el brillo solar aumenta (figura #2) y la competencia de las especies dominantes durante la estación lluviosa desaparece. Son especies de estación seca: *Staurastrum* sp. 1, *Staurastrum* sp. 2, *Staurastrum* sp. 3 y *Aphanocapsa elachista*. Esto coincide con lo reportado por Lewis (1978 A) al relacionar la aparición de *Staurastrum* con períodos de baja concentración de fósforo y nitrógeno en las aguas.

Algunas especies presentan patrones de distribución más irregulares, entre ellas *Peridinium* sp. Esta es una de las especies menos abundantes pero su persistencia en el tiempo se demostró al ser colectada diez meses durante el año de muestreo (figura #6).

Por otra parte, *Cylindrospermum minutum* es una cianofícea que surge en aquellos meses del año en que las otras cianofíceas están ausentes o con su población reducida al mínimo.

Es posible establecer una relación inversa entre la densidad y la variabilidad de la comunidad fitoplanctónica. En efecto, de la figura #6, es posible deducir que a mayor densidad fitoplanctónica la variabilidad es menor. Al relacionar este concepto con la estación seca y lluviosa se puede considerar que la diversidad tiende a aumentar en verano y a disminuir en invierno.

Kalff y Knoeche (1978) comprobaron que la diversidad de una comunidad fitoplanctónica tiende a disminuir con el aumento en la fertilidad del agua. Este concepto concuerda con la disminución de diversidad ocurrida en invierno en el lago del estudio.

La variación estacional de especies en el Lago de Río Cuarto puede observarse mejor si se establecen patrones de especies presentes sólo en estación seca y patrones de especies de estación lluviosa.

De este modo, a partir de la figura #6 derivamos el siguiente esquema.

ESTACION SECA (ENERO-FEBRERO)

Precipitación escasa o nula
Brillo solar 4 a 5.3 horas/día

ESPECIES PRESENTES

Staurastrum sp. 1
Staurastrum sp. 2
Staurastrum sp. 3
Aphanocapsa elachista
Eudorina elegans

ESTACION LLUVIOSA (ABRIL-NOVIEMBRE)

Precipitación alta
Brillo solar 0.3 a 2.6 horas/día

ESPECIES PRESENTES

Mougeottia genuflexa
Anabaena sp.
Nitzschia sp.

Para completar el patrón de distribución de las especies más abundantes, se determinó también la distribución vertical de las mismas durante todo el año de muestreo. La distribución vertical de las especies más escasas no se consideró por su permanencia temporal en el período de estudio.

Se ha comprobado que la distribución vertical del fitoplancton fluctúa diariamente con los cambios de luz y temperatura del agua (Ganff 1974). Por esta razón se considera que los muestreos mensuales son poco representativos de este proceso. Sin embargo, la toma de muestras en esta investigación siempre se llevó a cabo entre las 10 a.m. y la 1 p.m., lo que permitió obtener regularidad en los patrones verticales que representan, en todos los casos, el mismo período del día.

Es posible establecer que las dos especies más abundantes (*Mougeottia genuflexa* y *Nitzschia* sp.) exhiben una distribución muy homogénea en la columna de agua durante todo el año. Sin embargo,

en el caso de *Nitzschia sp.* se observa una tendencia a concentrarse a 3 m. de profundidad en los meses de mayor densidad poblacional. Esto es particularmente visible en el mes de noviembre de 1984 (figura #7). La agrupación en zonas más superficiales coincide con valores bajos de transparencia (1.75 m), lo cual indica atenuación de la luz disponible a profundidades mayores.

Se puede notar que la distribución vertical homogénea se acentúa en los meses en que ocurre mezcla, principalmente en marzo y diciembre de 1984.

Kalff y Knoeche (1978) comprobaron que la circulación del agua durante la mezcla es una fuerza que tiende a distribuir el fitoplancton desplazando algunas especies a mayores profundidades, lejos de la zona fótica.

Anabaena sp., abundante particularmente en ciertas épocas del año, presenta patrones de distribución más irregulares (figura #7). En términos generales, es posible observar una tendencia a agruparse en ciertas profundidades específicas de la columna de agua. Esta profundidad preferencial varía en el transcurso del año. Así, en octubre de 1984 aparece una agrupación marcada entre los 0 m y los 6 m de profundidad que coincide con una densidad máxima en la población de la especie. Por otra parte, en agosto del 84 la concentración máxima de la población se presenta a mayor profundidad (9 m).

No fue posible establecer, en este caso, relaciones certeras entre los cambios de posición de *Anabaena sp.* y los factores ambientales o los parámetros físico-químicos del lago determinados en el estudio. Este hecho puede ser consecuencia de la rapidez con que las algas azul-verde realizan los cambios de posición en la columna de agua (Ganff 1974).

En efecto, Fogg (1975) determinó que estas algas contienen vacuolas de gas que actúan como mecanismos de regulación en la flotación, lo que les permite cambiar de posición verticalmente en lapsos muy cortos.

Esto destaca la conveniencia de disminuir el tiempo entre muestreos al realizar estudios de poblaciones fitoplanctónicas y su relación con el ambiente. Asimismo, afirma el concepto de que la dinámica poblacional en un lago tropical, está relacionada estrechamente con los cambios a corto plazo propios de estas aguas.

Estas variaciones pueden ser, inclusive, más importantes para el desarrollo de la comunidad que aquellas que ocurren en forma más lenta con el cambio de estaciones. Sin embargo, el paso de la estación seca a la lluviosa y viceversa, conlleva cambios ambientales que se traducen, a su vez, en alteraciones del ambiente acuático. Por ejemplo, se observó que los períodos de mezcla en el mixolimnio, se producen a consecuencia de la disminución en la temperatura del agua y de la presencia de vientos de principios del verano.

Estas alteraciones se traducen siempre en variaciones marcadas en la composición y distribución de las poblaciones fitoplanctónicas.

Es posible establecer, al concluir el análisis de datos del presente estudio, un patrón bien definido de variación estacional en la comunidad fitoplanctónica, relacionado estrechamente con los cambios físicos y químicos del lago a consecuencia del paso de una estación a otra.

Así, la estación lluviosa implica la presencia de períodos de estratificación térmica en el agua, con diferencias marcadas de temperatura en la porción superior, media e inferior de la columna de agua. En la mayor parte de esta época, el lago presenta temperaturas superficiales superiores a los 28 °C. Estos factores se traducen en el establecimiento de estación lluviosa para las poblaciones fitoplanctónicas, caracterizado por altas densidades y baja diversidad en especies.

Por otra parte, la estación seca favorece la ocurrencia de períodos de mezcla en el mixolimnio. Esto implica no sólo descensos marcados en la temperatura del agua, sino también reducción de la discontinuidad térmica entre las capas superficiales y medias de la columna de agua.

La estación seca produce un patrón definido en la comunidad fitoplanctónica, caracterizado por una severa reducción en la densidad poblacional y un aumento marcado en la diversidad de especies.

Las diferencias entre la época seca y lluviosa son responsables no sólo de las variaciones en densidad de las poblaciones, sino también del reemplazo de unas especies por otras. Podemos por tanto concluir que en este estudio fue posible establecer la ocurrencia de variaciones estacionales bien definidas en la comunidad fitoplanctónica del Lago de Río Cuarto. Por las consideraciones expuestas, se recomienda continuar los estudios en este lago por períodos mayores de un año, con el fin de comprobar la existencia de ciclos en los patrones de variación estacional observados.

Asimismo, conviene experimentar reduciendo el lapso entre muestreos con el objeto de registrar aquellas variaciones físico-químicas y poblacionales del lago que suceden a corto plazo. Estas variaciones han demostrado ocupar un lugar importante en la dinámica de los lagos tropicales.

1. HINDS, G. 1979. Multivariate approaches to algal strategies and tactics in systems analysis of phytoplankton. *Ecology* 54(6): 1234-1246.
2. ALLAN, T. F. and S. BAUTER. 1977. Multivariate stable configurations in ordination of phytoplankton community changes rates. *Ecology* 58: 1076-1084.
3. AVILA, A., S. L. DURAN, A. DOMINGO, E. FERNANDEZ, J. GONZALEZ y J. M. LOZANET. 1984. Limnología del Lago Grande de Estora (Huesca). *Oecologia Aquatica* 7: 3-24.
4. BARNER, S. 1981. A guide to the morphology of the diatom frustule. Freshwater Biological Association. Scientific publications N° 44. 112 p.
5. SPADLE, L. C. 1966. Prolonged stratification and deoxygenation in tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.* 11: 151-153.
6. HINDS, G. and S. W. MITCHELL. 1974. Seasonal succession and vertical distributions of phytoplankton in Lake Hayes and Lake Johnson, South Island, New Zealand. *Journal of Marine and Freshwater research*. 8(11): 185-200.
7. CARDENAS, C. y L. D'ARNAUD. 1983. Ecosistema Acuatico del Lago Bayona: un embalse tropical. Publicaciones Técnicas. Dirección de Investigaciones. Dept. de Hidrometeorología. Panamá. 39 p.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLEN, T. F. and J. F. KOONCE. 1973. Multivariate approaches to algal strategems and tactics in systems analysis of phytoplankton. *Ecology* 54(6). 1234-1246.
2. ALLEN, T. F. and S. BARTELL. 1977. Multivariate stable configurations in ordination of phytoplankton community change rates. *Ecology* 58. 1076-1084.
3. AVILA, A., J. L. BURREL, A. DOMINGO, E. FERNANDEZ, J. GODALL y J. M. LLOPART. 1984. Limnología del Lago Grande de Estanya (Huesca). *Oecología Acuática* 7. 3-24.
4. BARBER, H. 1981. A guide of the morphology of the diatom frustule. Freshwater Biological Association. Scientific publication N° 44. 112 p.
5. BEADLE, L. C. 1966. Prolongued stratification and deoxygenation in tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.* 152-153.
6. BURNS, C. and S. F. MITCHELL. 1974. Seasonal sucesion and vertical distributions of phytoplankton in Lake Hayes and Lake Johnson, South Island. New Zealand. *Journal of Marine and freshwater reserch.* 8(11). 166-208.
7. CANDONEDO, C. y L. D'CROZ. 1983. Ecosistema Acuático del Lago Bayano: un embalse tropical. Publicaciones Técnicas. Dirección de Ingeniería. Dep. de Hidrometeorología, Panamá. 37 p.

8. CURRIE, D. and J. KALFF. 1984. A comparison of the abilities of freshwater algae and bacteria to acquire and retain phosphorus. *Limn. Oceanogr.* 29(2). 298-310.
9. FOGG, G. E. 1975. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*. University of Wisconsin Press. II ed. 175 p.
10. GANF, G. G. 1974. Diurnal mixing and the vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial Lake. (Lake George, Uganda). *Journal of Ecology*. 62. 611-629.
11. GLIWICZ, Z. M. 1975. Efecto del apacentamiento del zooplancton sobre la actividad fotosintética y composición del fitoplancton. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* 19. 1490-1497.
12. GOCKE, L. 1980. Estudios Limnológicos en la Laguna de Río Cuarto. *Prociencia, C. R.* 4(22). 3-4.
13. GOCKE, K, E. LAHMANN, G. ROJAS and J. ROMERO. 1981. Morphometric and basic limnological data of Laguna Grande de Chirripó, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 29(1). 165-174.
14. HAMA, T. and H. NOBUKIKO. 1983. The seasonal variations of organic constituents in a eutrophic lake. Lake Suwa, Japan. Part II. Dissolved organic matter. *Arch Hydrobiol.* 98(4). 443-462.
15. HEYMAN, V. and BLOMVIK, P. 1984. Diurnal variation in phytoplankton cell numbers and primary productivity in Siggeforasjön. *Arch. Hydrobiol.* 100(2). 219-233.
16. JASSBY, A. and CH., GOLDMAN. 1974. Loss rates from a lake phytoplankton community. *Limnol. and Oceanogr.* 19. 618-627.

17. KALFF, J. and R, KNOECHE. 1978. Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 9. 475-495.
18. KRACHT, V. 1983. Transient meromixis and related changes of eutrophication parameters in a small polytrophic lake in Southwest Germany. 98(1). 93-114.
19. LEWIS, W. M. Jr. 1977. Ecological significance of the shapes of abundance-frequency distributions of coexisting phytoplankton species. *Ecology* 58. 850-59.
20. _____ . 1978 A. Dynamics and successions of the phytoplankton in a tropical lake. Lake Lanao. Philippines. *Journal of Ecology* 66. 849-880.
21. _____ . 1978 B. A compositional phtogeographical and elementrary atructural analysis of the phytoplanton in a tropical lake. Lake Lanao, Philippines. *Journal of Ecology* 66. 213-226.
22. _____ . 1983. Temperature, heat and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnol. and Ocean.* 28(2). 273-286.
23. _____ . 1984. A five year record of temperature, maxing and stability for a tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Arch. Hydrobiol.* 99(3). 340-346.
24. LIND, O. T. 1979. Handbook of common methods in Limnology. II ed. The C. V. Mosly Company. 199 p.
25. LUND, J. W. G. 1964. The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biological Reviews* 40. 231-290.
26. MARGALEFF, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, S. A. 1010 p.

27. MC CULLOUGH, J. D. 1978. A study of phytoplankton primary productivity and nutrient concentrations in livingston reservoir, Texas. *The Texas Journal of Science*. 30(6). 377-386.
28. MORAES, V. L. 1979. Ocorrencia e distribuicao sazonal de algas planctonicas do lago da Barragen, Santa Barbara, Rio Grande Do Sul, Brasil. *Revta. Braz. Bot.* 2. 149-154 p.
29. MOSS, B. 1972. Studies on Gull Lake, Michigan Seasonal and depth distribution of phytoplankton. *Fresh. Biol.* 2. 289-307.
30. MULLIN, M. and E., BROOKS. 1976. Some consequences of distributional heterogeineity of phtoplankton and zooplankton. *Limnology and Oceangr.* 21. 784-796.
31. NILSSEN, J. P. 1984. Tropical lakes funcional ecology and future development. The need for a process oriented approach. *Hidrobiología* 113. 231-238.
32. PRESCOTT, G. W. 1966. Algae of the Panamá Canal and its tributaries. *Phykos* 5 (1-2). 1-49.
33. _____ . 1979. How to know the freshwater algae. III ed. University of Montana. 293 p.
34. SANCHEZ, V. 1981. Química analítica experimental. Departamento de Publicaciones. UNA. Costa Rica. 272 p.
35. SMAYDA, T. 1980. Phytopkankton species succession. The physiological ecology of phtoplankton. University of California Press. p. 493-569.
36. SZE, P. 1980. Seasonal succession of phytoplankton in Onondaga Lake, New York (U.S.A.). *Phycologia* 19 (1). 54-59.

37. TALLING, J. F. 1966. Origin of stratification in a African silt lake. *Limnol. Oceanogr.* 8. 68-78.
38. TOJA, J. 1980. Limnología del embalse La Minilla durante 1976. I Ciclo del fitoplancton en relación con los factores del medio. *Oecología Aquatica* 4. 71-78.
39. TOJA, J., J. GONZALEZ and D. RAMOS. 1983. Phytoplankton succession in Aracena. La minilla and El Gergal Reservoirs. (Huelva-Sevilla, Spain). *Wat. Supply.* 1(1). 103-113.
40. WETZEL, R. 1975. *Limnology*. W. B. Soudesers, Comp. Philadel. II ed. 743 p.
41. WHITFORD, L. A. and G. J. SCHUNNACHER. 1973. A manual of freshwater algae. Sparks Press. Raleigh. U.S.A. 323 p.
42. YACUBSON, S. 1974. El fitoplancton de la Laguna de San Javier del Valle, Mérida, Venezuela. *Review. Alg.* XI(1). 91-131.

APENDICE # 1

CANTIDAD MEDIA (COLECCIONES) DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTONICA DEL LAGO
MIO CHIVAS, COSTA RICA DURANTE 1984-1985. ESTE PEDRADO INCLuye LOS
INDICADORES RELATIVOS DE D-11 Y D-12 DE PROMEDIOS

MESES	PLANKTON	NAUPLANKTON
1984 Febrero	53.71	
Marzo	578.79	
Abril	622.75	
Mayo		
Junio	455.17	
Julio	435.81	
Agosto	612.75	
Septiembre	1719.54	
Octubre	1808.51	22.25
Noviembre	2122.26	90.43
Diciembre	346.82	15.25
1985 Enero	0.87	
Febrero	0.28	
Marzo	3.23	

APENDICES

NOTA: El nauoplankton fue colectado a partir de octubre de 1984.

APENDICE # 1

PROMEDIO MENSUAL (CELULAS/ml) DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTONICA DEL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA DURANTE 1984-1985. ESTE PROMEDIO INCLUYE LOS ORGANISMOS COLECTADOS DE 0-15 METROS DE PROFUNDIDAD

MES	NETPLANCTON	NANOPLANCTON
1984 Febrero	35.41	
Marzo	538.79	
Abril	622.75	
Mayo	509.67	
Junio	453.17	
Julio	435.82	
Agosto	612.22	
Setiembre	1259.54	
Octubre	2859.54	22.25
Noviembre	3123.20	90.63
Diciembre	946.87	15.25
1985 Enero	0.07	-
Febrero	0.78	-
Marzo	2.23	-

NOTA: El nanoplancton fue colectado a partir de octubre de 1984.

APENDICE # 2

PROMEDIO MENSUAL (CELULAS/ml) DE LOS GRUPOS TAXONOMICOS DEL FITOPLANCTON REPRESENTADOS EN EL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA, DURANTE 1984-1985. ESTE PROMEDIO INCLUYE LOS ORGANISMOS COLECTADOS DE 0-15 METROS DE PROFUNDIDAD

MES	CLORIFICEAS	CIANOFICEAS	DINOFICEAS	BACILOROFICEAS
1984				
Febrero	23.44	5.21	0	6.78
Marzo	233.31	132.25	12.97	123.96
Abril	437.55	184.140	4.52	62.54
Mayo	274.95	158.76	13.62	63.18
Junio	361.04	68.93	12.87	10.38
Julio	404.89	4.08	0	10.16
Agosto	561.73	145.54	0	16.17
Setiembre	1042.77	85.94	0	129.53
Octubre	1287.94	828.88	54.44	687.13
Noviembre	224.08	0	3.25	901.37
Diciembre	702.09	0	0	324.16
1985				
Enero	0.07	0	0	0.14
Febrero	0.09	0.01	0.08	0
Marzo	0.98	1.20	1.49	0

APENDICE # 3

PROMEDIO MENSUAL EN CELULAS POR MILILITRO DE LAS ESPECIES MAS IMPORTANTES DEL FITOPLANCTON DEL LAGO RIO CUARTO, COSTA RICA (1984-1985)

ESPECIE	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Staurastrum sp. 1	6,03	26,48	12,41	3,65	0	0	0
Staurastrum sp. 2	6,17	37,06	18,95	2,75	0,50	40,89	0
Staurastrum sp. 3	6,10	13,16	0	0	0	0	0
Nitzschia sp	6,78	144,86	61,52	63,12	10,28	9,83	18,15
Eudorina elegans	3,61	32,23	13,19	0	42,90	0	0
Aphanocapsa elachista	3,63	51,15	13,47	29,56	0	0	0
Mougeottia genuflexa	1,51	133,82	392,70	267,73	318,59	357,29	482,95
Peridinium sp.	0,32	12,97	4,52	13,62	9,54	7,53	0
Anabaena sp.	0	29,27	171,16	129,20	68,93	0	46,75
Cylindrospermum minutum	0	0	0	0	0	0	0

ESPECIE	SEI.	OCT.	NOV.	DIC.	ENERO 85	FEBRERO	MARZO
Staurastrum sp. 1	0	0	0	0	0	0,07	0,26
Staurastrum sp. 2	0	0	0	0	0,07	0,04	0,16
Staurastrum sp. 3	0	0	0	0	0	0,04	0,80
Nitzschia sp.	128,53	694,35	901,37	324,01	0,01	0,01	0,01
Eudorina elegans	0	0	0	0	0	0	0
Aphanocapsa elachista	0	0	0	0	0	0,03	1,20
Mougeottia genuflexa	1042,77	1292,83	1893,33	399,81	0	0	0
Peridinium sp.	0	54,44	3,25	0	0	0,08	0,25
Anabaena sp.	40,14	821,11	0	0	0	0	0
Cylindrospermum minutum	24,05	7,77	0	0	0	0	0

NOTA: Identificación de especies con base en: Barber, H. (1981); Lund, J. W. (1964); Prescott, G. W. (1966-1979); Yacubson, S. (1974)