

Rep. 15

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

1984

ESTUDIO ANUAL DE LA LIMNOLOGIA Y DEL  
FITOBENTOS DEL "LAGO EL SOL", NEVADO DE TOLUCA.

TESIS QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE BIOLOGO PRESENTA  
ALFONSO GUILLERMO BANDERAS TARABAY



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

I)	RESUMEN .....	1
II)	INTRODUCCION .....	5
III)	ANTECEDENTES .....	8
IV)	DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO .....	10
V)	MATERIAL Y METODO .....	16
VI)	RESULTADOS Y DISCUSION .....	19
VII)	CONCLUSIONES .....	54
VIII)	LITERATURA CITADA .....	58

## RESUMEN

El presente estudio, es una contribución al conocimiento de la limnología y la flora bentónica del "Lago El Sol", que está emplazado en una zona de alta montaña, por lo que representa un ecosistema acuático único en México.

Para ello, se realizaron muestreos mensuales durante un año, en los cuales se registraron algunos parámetros meteorológicos, hidrológicos y biológicos.

En lo que se refiere a los factores meteorológicos, el promedio anual de temperatura fue  $4.32^{\circ}\text{C}$ , con un máximo en junio de 1982 de  $6.8^{\circ}\text{C}$ ; y un mínimo en febrero 1983 de  $1^{\circ}\text{C}$ , con un comportamiento semejante al característico de las regiones intertropicales. El viento presentó velocidades superiores a los 60 km/h en invierno y sólo a mediados del verano se encontraron días con calma. La evaporación alcanzó los 1,074 mm, superando por 7 mm a la precipitación, lo que tuvo como consecuencia que disminuyera el nivel superficial del lago.

Respecto a los parámetros hidrológicos evaluados, se observó que la temperatura del agua mostró un comportamiento semejante al de la temperatura media del aire: con un promedio anual de  $8.85^{\circ}\text{C}$ , y valores mensuales cercanos a la temperatura máxima del aire. Debido a la fuerza del viento y a las pronunciadas diferencias de temperatura del aire entre el día y la noche, no se registró estratificación térmica en el lago, mientras que el cálculo del presupuesto de calor anual del cuerpo de agua fue de  $6 \text{ Kcal/cm}^2$ , valor alto característico de lagos templados relativamente

profundos.

La profundidad media de 6.05 m disminuyó ligeramente, pues el nivel superficial del lago mostró un decremento de 0.95 m durante el periodo de estudio.

La transparencia del agua fue alta, con un promedio de 8.86 m de visibilidad del disco de Secchi. El pH se mantuvo cercano a la neutralidad con 6.96; mientras que el carbono inorgánico disuelto estuvo alrededor de 1 mg/l, y según el promedio de pH, se presentó con mayor abundancia en forma de bicarbonatos.

La concentración de oxígeno disuelto fue alta, con un promedio de 7.39 mg/l y un nivel de saturación promedio del 105%, mientras que los valores de conductancia, sulfatos disueltos y dureza total fueron bajos, mostrando promedios de 20 uS, 4.7 mg/l y 4.3 mg/l respectivamente, y los máximos se presentaron durante la época en que la precipitación alcanzó sus niveles más altos.

Los nutrientes guardaron una relación directa con la precipitación. Los nitratos tuvieron un máximo en septiembre de 1.46 ug At N-NO<sub>3</sub>/l; los nitritos en abril de 1982, con 0.15 ug At N-NO<sub>2</sub>/l; y el amonio en diciembre con 1.26 ug At NH<sub>4</sub>/l; si bien estas concentraciones son bajas, aparentemente no constituyeron factores limitantes de la producción; a diferencia de los fosfatos que alcanzaron un máximo en junio de 0.3 ug At P-PO<sub>4</sub>/l, y debido a este valor tan bajo si parecen limitar la producción primaria del fitoplancton.

En general, la limitada superficie de drenado y la altura del lago, que reducen el aporte de sólidos al agua y consecuentemente, producen una alta transparencia y bajas concentraciones de sales minerales y nutrientes en el agua; así como el mezclado continuo, la sobresaturación de oxígeno y la presencia de organismos como Nitella sp., Aphanochaete repens, Dinobryon, Desmidium, Euastrum y Closterium, le impieren al lago el carácter de oligotrófico.

En lo referente al estudio del fitobentos, se identificaron 38 especies, de las que sólo dos habían sido registradas previamente en México, y que incluyen 2 traqueofitas, 5 cianofitas y 31 clorofitas, de las cuales se da su distribución horizontal y vertical en el lago en función de los datos de abundancia relativa, respecto a las especies acompañantes, así como de las frecuencias de aparición de cada especie en las muestras obtenidas en cada una de las 22 estaciones. Se pudo observar una zonación de las especies rizobentónicas en relación al tipo de sustrato, así como una sucesión vertical para las demás especies algales.

Acorde a las características de los organismos observadas al microscopio, se agruparon en subcomunidades; y según su abundancia con la profundidad, se elaboraron Tablas de asociaciones características a diferentes profundidades. De la misma manera, se estudiaron los procesos de reproducción periodicidad y formas biológicas de las especies, mismas que mostraron una mayor frecuencia de reproducción en los meses de abril y noviembre, produciendo varias generaciones al año y quedando tentativamente

clasificadas dentro de las formas Efemeroficea e Hipnoficea de Feldman (1937).

También se investigó la distribución de las especies en conjunto, demostrándose que existe una zona a los 4 m de profundidad, en promedio, donde la vegetación alcanza un máximo en cuanto al número de especies y abundancia, lo cual aparentemente está relacionado con la existencia, a dicha profundidad, de condiciones óptimas para el desarrollo de los organismos fotosintéticos.

Finalmente, se establecieron similitudes entre la flora algal del "Lago El Sol" con floras de ambientes similares de E.U.A. y Europa, así como de zonas circunvecinas.

## INTRODUCCION

Uno de los botánicos mas prominentes de México, el Dr. J. Rzedowski (1978), afirma que la flora del país es una de las mas bastas del mundo, dado que en su territorio están representados prácticamente todos los gran des biomas que se han descrito de la superficie de nuestro planeta, hacien do notar que la principal razón de la riqueza florística reside en la amplia variedad de condiciones fisiográficas y climáticas de México. Sin embargo, si ésta afirmación es aplicable a la flora terrestre, no se sabe que condiciones guarda la composición algal de las aguas continentales, pues to que, acorde con Ortega (1984), hasta el momento sólo se han citado algo mas de 800 especies, en su mayoría producto de estudios realizados en la región central del país, faltando de investigarse la mayor porción del territorio nacional.

En atención a ésta carencia de estudios, se propone la exploración de lugares con determinadas características climáticas (como son la temperatura media y la precipitación anual), en las que deben realizarse estudios ficológicos (Ortega, comunicación personal). Por ejemplo, no existen informes acerca de la flora algal de zonas localizadas a grandes alturas respecto al nivel del mar donde las condiciones físicas presentan características peculiares.

Por otro lado, Arredondo (1984), realizó una revisión acerca de los estudios limnológicos del país, referentes a los 68 lagos mas grandes de México, en la que informa del nivel de conocimientos en que se encuentran dichos estudios, llegando a la conclusión que el 80% de ellos permanecen casi desconocidos, y tan sólo el 20% cuenta con cierto número de estudios,

siendo el lago de Pátzcuaro el que mejor se conoce.

Es en éste estadio de la investigación acerca de los recursos naturales acuáticos continentales del país, que la realización del presente trabajo encuentra su justificación, contribuyendo al conocimiento de la flora algal continental y de los recursos limnéticos de México, así como de las regiones intertropicales del planeta.

El área de estudio seleccionada, fue el cráter del volcán "Nevado de Toluca", dentro del cual yacen dos pequeños lagos, "El Sol" y "La Luna", de los cuales el primero es el mas grande, permanente y cuya hidrología se desconocía hasta la fecha, constituyéndose su estudio en uno de los temas del presente trabajo.

Debido a su tamaño relativamente pequeño, el lago "El Sol" no se encuentra incluido en el inventario de los lagos mexicanos que realizó Arredondo (1984). Sin embargo, no por ello deja de tener importancia su estudio, puesto que el lugar en que se encuentra ubicado presenta un conjunto de características fisiográficas y climáticas propias, restringidas a una superficie relativamente pequeña de las regiones intertropicales del mundo (las partes mas altas de las cadenas montañosas) que le infieren al lago una serie de rasgos muy particulares, entre los que destacan el hecho de ser uno de los lagos permanentes mas altos del mundo, y encontrarse en una reserva nacional.

De ésta forma, el presente estudio comprende:

a) La descripción general del comportamiento de las variables meteorológicas en el área de estudio, que se ha seleccionado ex-profeso como representativa de las altas montañas del país, y en la que además se encuentra el pequeño lago "El Sol".

b) El estudio de la hidrología del lago, estableciendo sus relaciones con las variables meteorológicas.

c) El estudio de algunos aspectos de la comunidad vegetal bentónica, como la identificación de las especies, su distribución en función de las variables ambientales como son la luz, la temperatura, el sustrato, los nutrimentos, etc., así como las afinidades florísticas que presenta ésta comunidad con otras de ambientes semejantes, estudiadas en diversas regiones del mundo.

## ANTECEDENTES

Específicamente en México, los estudios limnológicos y ficológicos de cuerpos de agua de alta montaña son escasos, debido a que no son ambientes regulares o frecuentes. El "Lago El Sol", constituye un ejemplo casi exclusivo de ellos, y los trabajos realizados que pueden citarse son: en primer término, el de varón de Humboldt (Beck, 1971), quién en 1801 midió la altura del volcán mediante técnicas barométricas; el de Duffus y Montserrat (1884), quienes describieron la excursión que realizaron al "Nevado de Toluca", y mencionaron que el agua de los lagos tuvo reacciones características que la hacían semejante al agua destilada; el de Villalpando (1968), acerca de varios aspectos ecológicos del cráter, y del cual se ha extraído la mayor parte de la descripción utilizada en el capítulo siguiente.

Villalpando (1968), calificó al agua de éste sistema como limpia y clara, "con espuma blanca cerca de la orilla, producto de la actividad biológica", y mencionó los siguientes géneros de Cyanophyta; Anacystis, "que se presenta en forma de masas libres o adheridas a cualquier sustrato", Calothrix sp. y Dichothrix sp. (sinónimos); especies de Euglenophyta libres (encapsuladas) y coloniales; Chlorophyta: Zygnema, como "la Chlorophyta mas frecuente", Sphaerocystis, Desmidium, Closterium y otras; así como diatomeas del orden Pennales que, dice son muy abundantes; otro trabajo es el de Kusel-Fetzmann (1973), que es una publicación sobre la flora del lago, específicamente sobre la comunidad fitoplanctónica y en la cual la autora menciona algunas características del lago, y registra las siguien-

tes especies: Cymbella sp., Melosira sp., Suriella sp., Synedra sp., Peridinium willei, P. lomnickii, Closterium striolatum, C. ulna, Euastrum oblongum, Gonatozygon aculeatum, y, coincidiendo con los géneros observados por Villalpando (1968), Zygnema sp., Sphaerocystis schroeteri y Desmidium swartzii; posteriormente se encontraron los trabajos de Bloomfield y Valastro (1974), respecto a la geología y origen del volcán; y finalmente, el estudio de Alcocer (1980), acerca de la batimetría, morfometría y sedimentología del lago, del cual se ha tomado la información respectiva, desarrollada en el siguiente capítulo, y quien describe los siguientes géneros algales: en el bentos Spirogyra sp., "a", Spirogyra sp. "b", y coincidiendo con Villalpando (1968), y Kusel-Fetzmann (1973), Zygnema sp. y las familias Desmidiaceae y Gonyaulaceae, ésta última en el fitoplancton, en el cual también encontró Micrasterias sp., Amphora sp., Frustularia sp., así como una fitoflagelada no identificada.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

### A) Toponimia y localización.

El "Lago El Sol" o "El Sol", se encuentra en el cráter del volcán "Nevado de Toluca" o Xinantécatl (señor desnudo), palabra que posiblemente sea una deformación de Tzinacantecatl, toponímico prehispánico dado al volcán en honor del dios náhuatl Tzinacan: el murciélago deificado (Romero, 1959).

El volcán se localiza al SW de la ciudad de Toluca y del valle del mismo nombre (Fig. 1). Sus coordenadas son  $19^{\circ} 06' N$  y  $99^{\circ} 45' W$ , y sus alturas máximas son el "Pico del Aguila" con 4,620 y el "Pico del Fraile" con 4,558 m s.n.m. Está emplazado en la Sierra Volcánica Transversal (S.V.T.) o Eje Volcánico, que corre entre los paralelos  $18^{\circ}$  y  $20^{\circ} N$  en la porción central de la República Mexicana (Villalpando, 1968). La S.V.T. también recibe el nombre de Cinturón Volcánico Mexicano y forma parte del llamado Cinturón Orogénico del Pacífico, que se caracteriza por su alta actividad volcánica (Holmes, 1960).

Según Villalpando (1968), el cráter tiene un trazo elíptico, mientras que el lago presenta un trazo ovoide. El nivel del cráter se encuentra a una altura de 4,150 m s.n.m. en las partes mas bajas, y 4,180 m en las mas altas, mientras que la superficie del lago se encuentra a los 4,170 m.

De acuerdo con Thomasson (1956), y Mani, citado por Villalpando (1968), el término alpino se aplica a las zonas que se encuentran por arri-

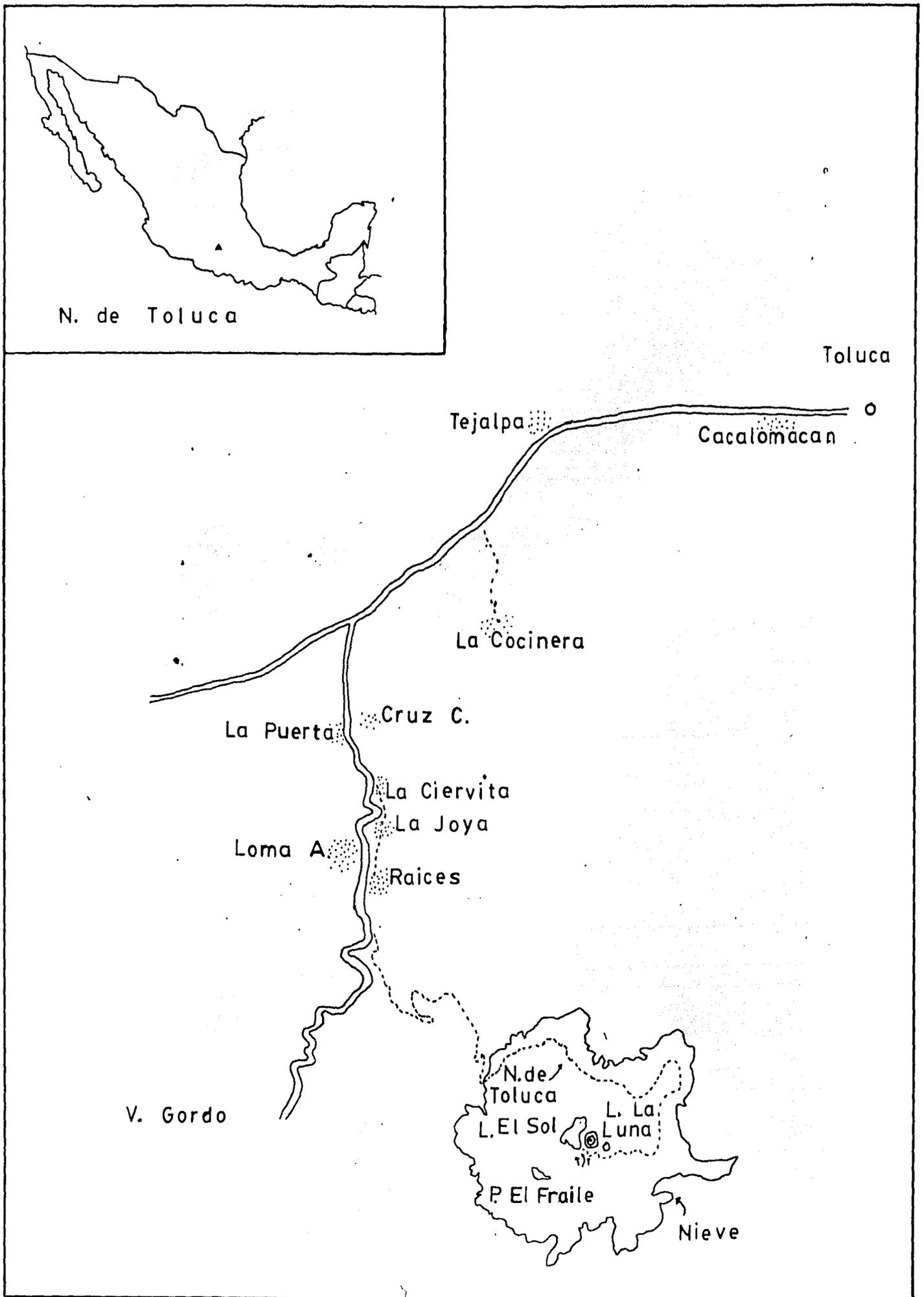


Fig. 1: Ubicación del Lago El Sol

ba del límite boscoso, en las elevaciones montañosas. Según ésta definición, "El Sol" es un lago alpino, pues se encuentra alrededor de 200 m por arriba del límite boscoso, que en el caso de S.V.T. se localiza entre los 3,900 y 4,100 m s.n.m.

8) Origen y clasificación del volcán y del lago.

El "Nevado de Toluca" está clasificado como estratò-volcán, poligenético y desgastado, con forma de cono truncado constituido por flujos de lavas andesíticas y dasítica, resultado de varias erupciones ocurridas de principios del Plioceno al Pleistoceno, que fueron acumulando material sobre una base constituida por rocas calizas del Cretásico (Bloomfield y Valastro, 1974).

Según Alcocer (1980), el origen del lago probablemente resultó de un efecto combinado volcánico-erosivo. Al término de la última actividad eruptiva el piso del cráter presentaba pequeñas depresiones que retuvieron el agua proveniente del deshielo de los glaciares que ocupaban las partes altas del volcán. La ceniza proveniente del mismo volcán ayudó a compactar el suelo de tal manera que impidió la fuga total del agua.

Este mismo autor, con base en los resultados físicos, químicos y biológicos obtenidos de una visita al cráter, clasificó al lago como pequeño lago cráter, de origen volcánico-erosivo combinado, de cuenca relativamente profunda con características oligotróficas y de aguas frías. Según ésta descripción, el lago cae dentro de la categoría 12a. según la clasifica-

ción de Hutchinson (1975).

C) Clima y vegetación del cráter.

La descripción del clima efectuada por Villalpando (1968), corresponde al lugar donde se encuentra la estación meteorológica, esto es, afuera del cráter y en su lado NNE a 4,146 m s.n.m. Sin embargo, concluyó que dentro del cráter el clima debería diferir ligeramente, debido al efecto de sombra orográfica que ofrecen las elevaciones circunvecinas y a la presencia de los lagos, "El Sol" y "La Luna", y que se traduce en el desarrollo de un tipo de vegetación diferente a la pradera alpina que se encuentra en el exterior, desde el límite boscoso hasta los 4,300 m s.n.m.

Este autor clasificó al clima como E(T)C Hwi, o sea frío de tundra alta, con lluvias en verano e isoterma, con una temperatura media anual entre  $-2^{\circ}\text{C}$  y  $5^{\circ}\text{C}$ , y con un 5% a 10% de lluvia en invierno. La temperatura media anual está muy cercana a los  $4^{\circ}\text{C}$  y no presenta variaciones mayores de  $5^{\circ}\text{C}$  entre el mes más frío y el más cálido. Los meses más cálidos son mayo y junio en la primera mitad del año, y septiembre en la segunda; el mes más frío es enero. La precipitación promedio es de aproximadamente 1,100 mm al año, y presenta un sólo máximo en julio y agosto.

En la mayor parte del año, la zona del cráter se encuentra medio nublada. El viento sopla con fuerza, y la insolación es alta debido al menor espesor de la atmósfera. Estos dos últimos factores, junto con las pérdidas de radiación de onda larga durante la noche dada la menor densidad del aire, producen grandes diferencias de temperatura en el lapso

de 24 horas. Dentro del cráter, la vegetación está dominada por líquenes, musgos, gramíneas y compuestas.

D) Batimetría y morfometría de la cuenca.

En la figura 2 se muestra el mapa batimétrico del lago (Alcocer, 1980), así como sus principales parámetros morfométricos. El nivel superficial del agua fluctúa dependiendo de la época del año. El nivel medio anual varía año tras año dependiendo de la diferencia entre los promedios anuales de precipitación y evaporación.

Algunos rasgos sobresalientes del lago son los siguientes: En el margen E presenta una gran pendiente determinada por la presencia de un domo central que taponó la chimenea del volcán. En el margen SW, se presenta una isleta que puede transformarse en península dependiendo del nivel del agua. La máxima profundidad se localiza hacia la porción central, ligeramente excéntrica hacia el SW; y en el margen W, el lago forma un gancho en una zona con pendiente suave.

Si bien en términos absolutos el lago puede considerarse somero, su profundidad relativa representa, según Alcocer (1980, basado en Wetzel, 1975), a un lago profundo, con pequeña área superficial.

E) Sedimentología del cráter y del lago.

A partir de los resultados obtenidos por Villalpando (1968), y Alcocer (1980), se deduce que la presencia del lago no representa una fron-



Area.	233,819 m <sup>2</sup>
Volúmen	1,589,721 m <sup>3</sup>
Longitud Máxima	795.1 m SSE-NNE
Ancho Máximo	482.4 m
Ancho Medio	298.5 m
Perímetro o Margen Lagunar	3.68 Km
Profundidad Máxima	14.0 m
Profundidad Media	6.05 m
Profundidad Relativa	2.73 %

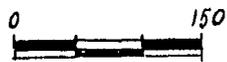


Fig. 2. Características Morfométricas del Lago El Sol.

tera diferencial entre la continuidad de los sedimentos de las áreas más bajas y planas del cráter (Fig. 3); en donde se acumulan los materiales producidos por la acción mecánica del "crioclastismo", o degradación por congelamiento de los materiales, cuyos productos son desplazados pasivamente mediante movimientos provocados por el congelamiento, proceso que se conoce como "crioturbación", y cuyo resultado es el "crioaplanamiento", el conjunto de estos procesos recibe el nombre de "criodogénesis montana", o "criopedogénesis alpina" cuando se realiza con presencia de glaciares (Johnson y Billings, 1962; Tricart, 1963).

Según Villalpando (1968), en las inmediaciones del lago se presentan suelos en los que abundan las gravas y arenas con muy poca cohesión y con manchones de vegetación muy esparcidos. La materia orgánica, cuanto más, llega a ser de 2.5%; la arcilla y el limo en los horizontes superiores apenas llega al 12%. Acorde con Alcocer (1980), este tipo de sedimentos se extiende hasta los 5 a 10 m de profundidad en el lecho del lago, dependiendo de la zona (Fig. 3), mientras que en el sector central se presentan los sedimentos más finos, caracterizados por contener más de un 50% de lodo (arcilla y limo), con mezclas variables de arenas.

#### F) Localización de las estaciones.

La ubicación de las estaciones de muestreo, está dispuesta de manera que se encuentra representado todo el lago, y se realizó con base en los planos batimétricos y sedimentológicos de las figuras 2 y 3.

El lago se dividió en siete sectores de muestreo, numerados I a VII

-  Mayor de 50% de grava
-  Mayor de 50% de arena
-  Mezcla de grava, arena y lodo
-  Mayor de 50% de lodo
-  Contacto

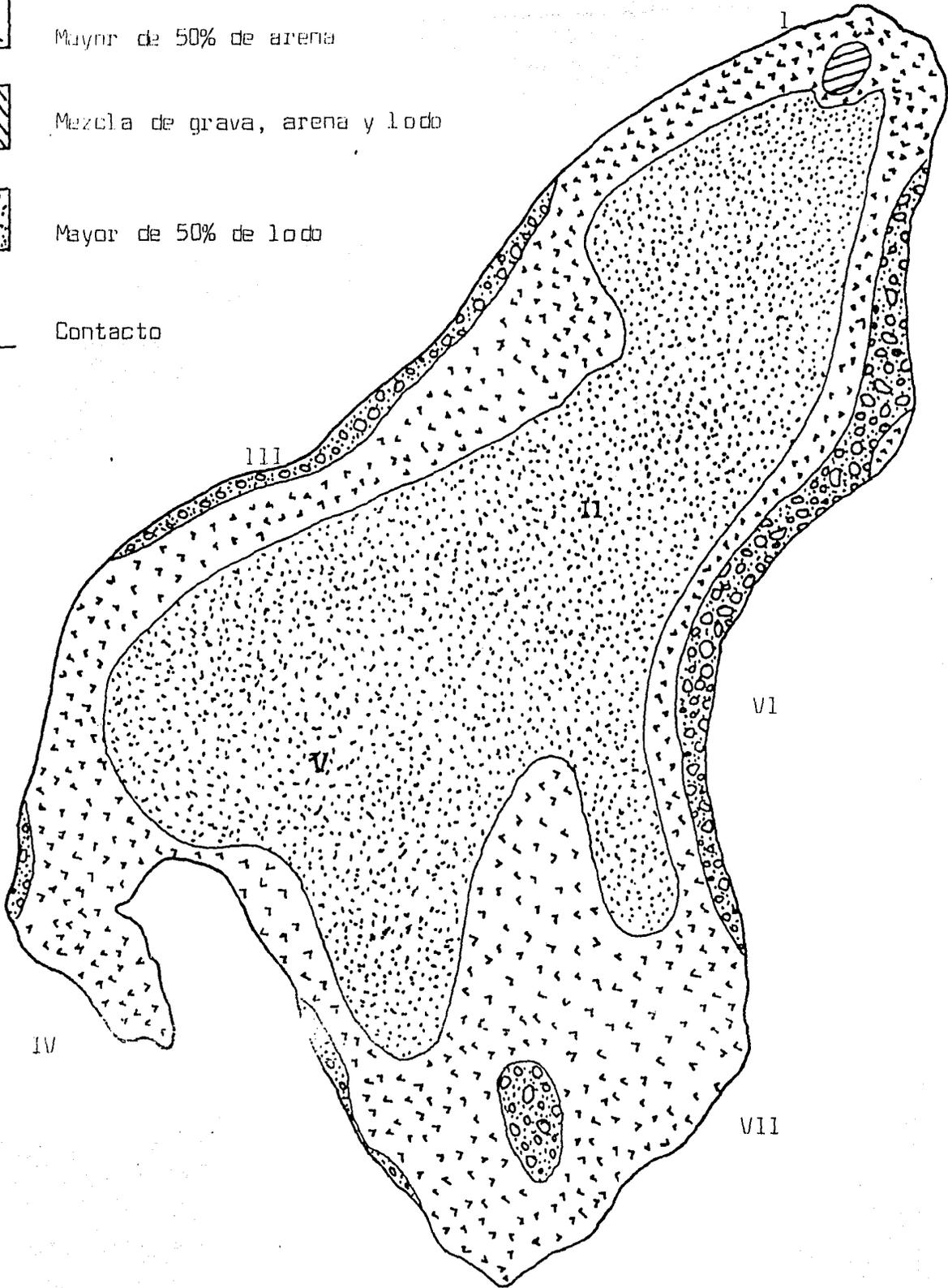


Figura 3. Distribución de los sedimentos en el "Lago El Sol".

en la figura 3, en los cuales se asignaron veintidos estaciones sobre cinco transectos a partir de la orilla. En cada transecto se tomaron muestras de bentos y agua del fondo a partir de la orilla y adicionando un nivel mas a cada metro de incremento en la profundidad. Los niveles muestrados sobre cada transecto corresponden a las estaciones con números arábigos de la figura 2 y Tabla 1. En las estaciones 6 (5m), 21 (10 m) y 22 (máxima profundidad), se tomaron además muestras de agua de media profundidad y superficie (Fig. 4).

Tabla 1. Descripción de las Estaciones.

Sector	Estaciones	Sustrato
(No.)	(Prof. en metros )	(Tipo )
I	1(0.15), 2(1), 3(2), 4(3), 5(4) y 6(5)	Arená - Lodo 1,2,3,4, 5, 6
III	7(0.15), 8(1), 9(2) y 10 (3)	Grava - Arena 7 8,9,10.
IV	11(0.1) y 12(1)	Arena 11, 12.
VII	13(0.1), 14(1) y 15(2)	Arena 13, 14, 15.
VI	16(0.1), 17(1), 18(2), 19(3) y 20(4)	Grava - Arena - Lodo 16,17, 18,19, 20
II	21(10)	Lodo 21
V	22 ( 14)	Lodo 22

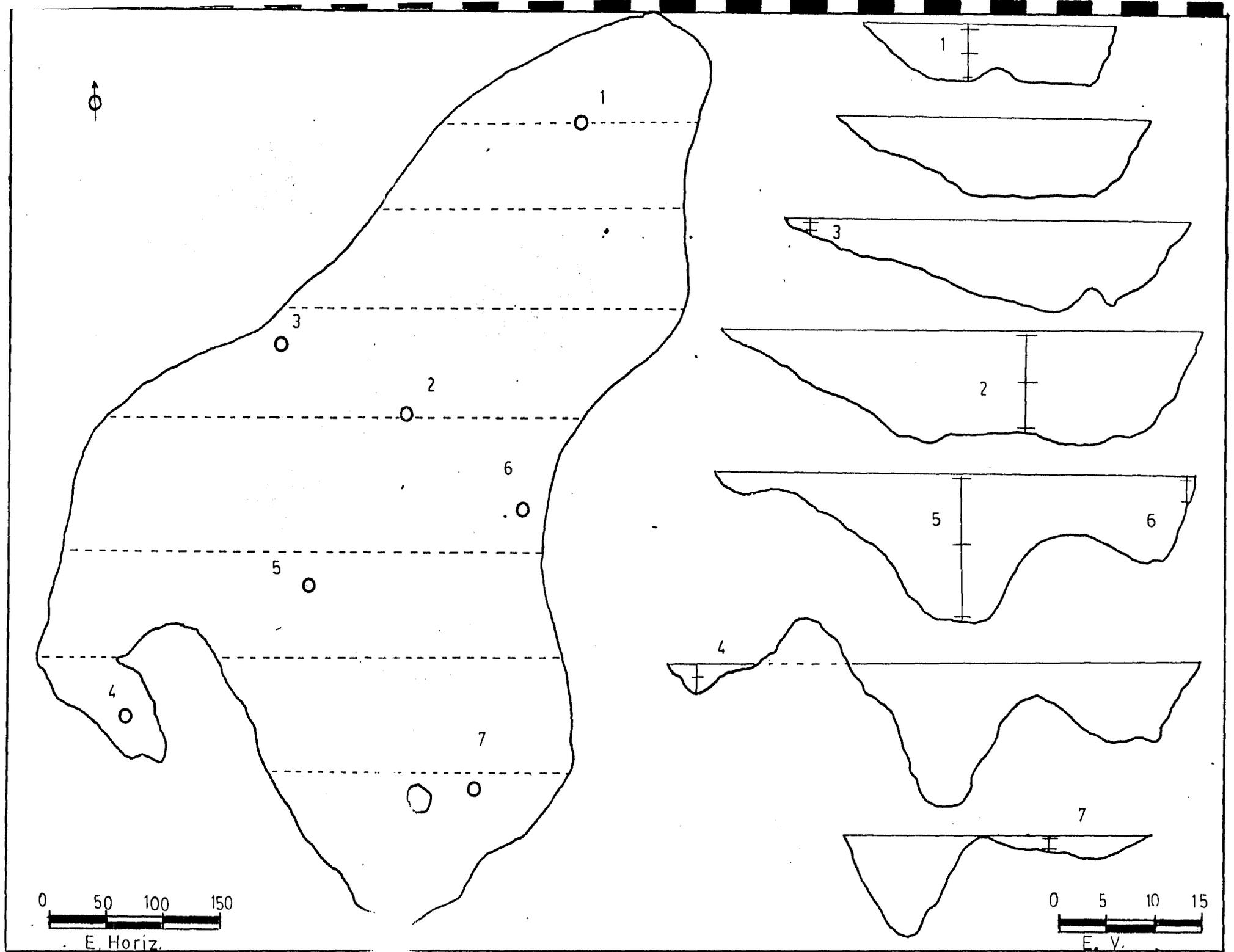


Fig. Simetría y Localización de Estaciones

## MATERIAL Y METODOS

El periodo de estudio comprendió los meses de abril de 1982 a abril de 1983, con visitas mensuales que sumaron un total de once, puesto que no se pudieron realizar los muestreos correspondientes a enero y febrero de 1983, debido a que se formó una gruesa capa de nieve y hielo que impidió el acceso al lago. En diciembre sólo se pudieron tomar las muestras de la orilla.

### A) Trabajo de campo.

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por las oficinas regionales de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, ubicada en la Ex-hacienda de Guadalupe, Toluca, Edo. de México.

Durante cada visita al lago se procedió con la siguiente rutina:

Una vez ubicados en cada estación, tomando como punto de referencia señales localizadas en las orillas, se recolectaron muestras de agua con una botella Van Dorn de 3 l, que se dividieron en dos fracciones: una para determinar oxígeno disuelto, y otra para evaluar los parámetros físico-químicos. En el lugar de muestreo, se midieron la temperatura del agua mediante un termómetro convencional con aproximaciones de 0.5 °C, y la visibilidad del disco de Secchi.

Las muestras de agua se colocaron en hielo y se transportaron al laboratorio de Química y Productividad Acuática del Instituto de Biología donde fueron procesadas. Las muestras de algas bentónicas se colectaron

en solución fijadora de formol. neutro al 4%, y se trasladaron al laboratorio de Ficología del mismo Instituto para ser estudiadas.

B) Trabajo de laboratorio.

Una vez en el laboratorio, se procedió a determinar los siguientes parámetros en las muestras recolectadas:

El pH se midió con un potenciómetro marca Corning Mod. 610 A, y la conductancia con un conductímetro marca YSI Mod. 33 (S.C.T. meter). El oxígeno se determinó mediante la técnica de Winkler con modificación azida. Los nutrientes mediante técnicas espectrocolorimétricas: nitritos por copulación y diazoación con n-naftil-etilendiamina, reduciendo previamente los nitratos a nitritos pasando la muestra por una columna de reducción; el amonio con fenol-nitroprusiato; y los fosfatos con molibdato de amonio (Strickland y Parsons, 1968).

El bióxido de carbono disuelto, se estimó mediante titulometría (Wetzel y Likens, 1979). Los sulfatos por la técnica turbidimétrica, y la dureza total por titulometría con E.D.T.A. (American Public Health Association, A.P.H.A., 1976).

En las técnicas espectrocolorimétricas se utilizó un espectrofotómetro marca Coleman Junior II, Mod. G/35 con celda de 2 cm de diámetro.

La identificación de las muestras del bentos, se hizo bajo un microscopio marca Wild Mod. 11-66788, utilizando lugol y safranina (Kumar y Singh, 1979), para identificar y contrastar estructuras. Las especies algales estudiadas se clasificaron de acuerdo al sistema taxonómico de Bourrelly (1970 y 1972), y se cuantificaron mediante Tablas de abundancia

relativa, con una escala ordinal de 1 a 5 que corresponde a las siguientes características (Kershaw, 1980; Mueller y Dombois, 1974).

- 5 Dominante
- 4 Abundante
- 3 Frecuente
- 2 Ocasional
- 1 Rara

Las muestras colectadas se depositaron en el Herbario del Instituto de Biología (IMEXU).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para los fines del presente trabajo, se analizarán primeramente los factores climáticos enunciados para bosquejar las características ambientales de la zona, en virtud de que marcan una influencia determinante en el comportamiento físico-químico del agua y consecuentemente, en el biológico. A continuación se analizarán los factores hidrológicos y finalmente se integrarán con los biológicos.

A) Temperatura del aire.- El régimen de radiación determina la cantidad de calor que ingresa a la atmósfera (Budiko, 1978), y en consecuencia, el comportamiento de la temperatura tanto del aire como del agua (McCombie, 1959; Gorham, 1969; Stewart, 1973; Hutchinson, 1975). Esta relación se puede observar en la figura 5, donde se muestra esquemáticamente la posición del sol al mediodía en el cráter durante el periodo de estudio, así como el comportamiento de la temperatura mensual del aire. La temperatura media anual fue de  $4.32^{\circ}\text{C}$ ; aunque en febrero de 1983 se registraron las temperaturas mas bajas de los últimos cuatro años ( $-8^{\circ}\text{C}$ ).

Las heladas se presentaron casi diariamente durante todo el año; las nevadas y granizadas se presentaron con una frecuencia paralela al nivel de precipitación mensual, siendo mas frecuentes durante la primera mitad del ciclo anual (Fig. 6), y la nieve depositada durante éste invierno, terminó de fundirse hasta finales de abril de 1983.

La nubosidad afectó inversamente a la temperatura del aire (Fig. 5),

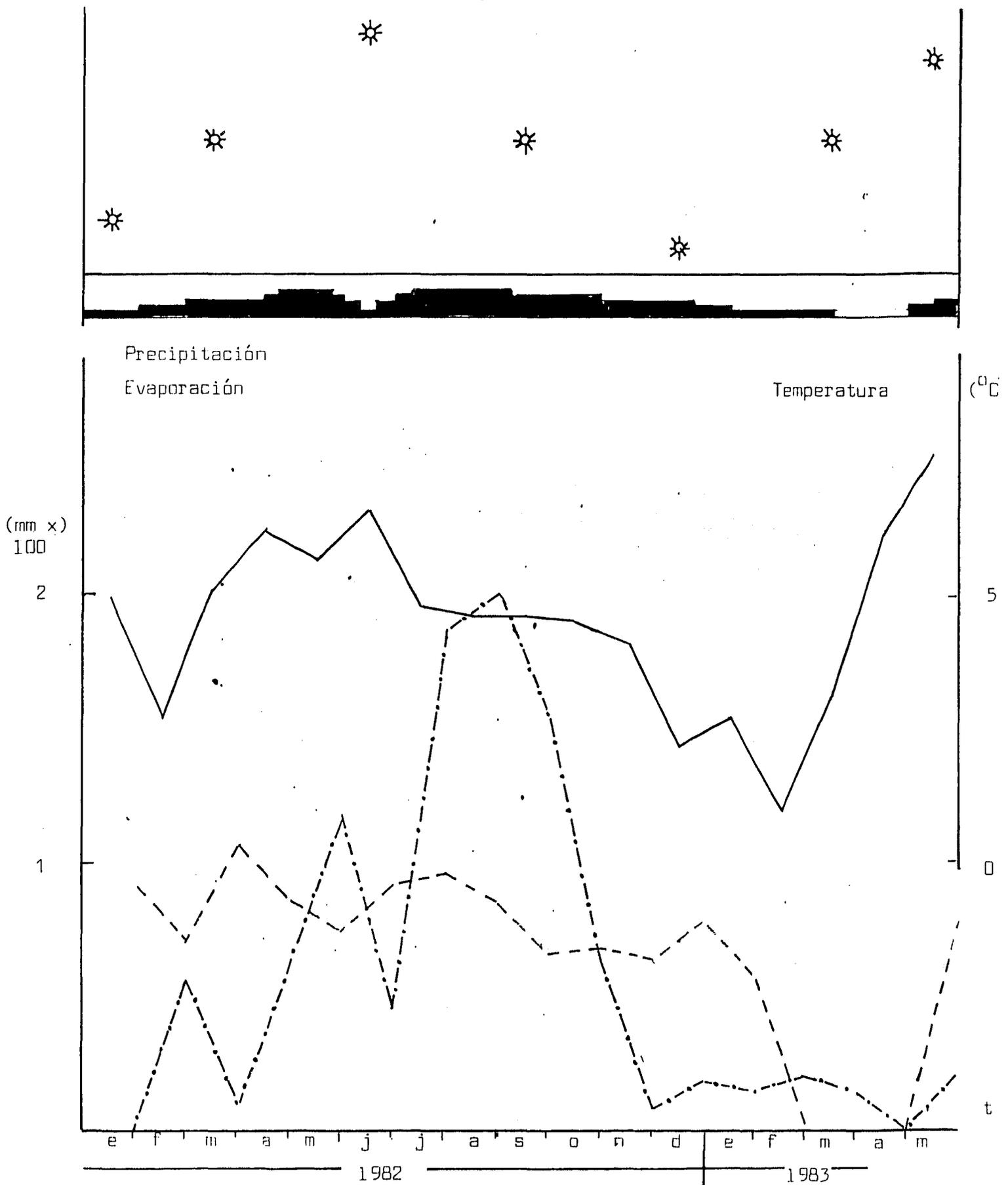


Figura 5. Comportamiento de las variables meteorológicas en el cráter del volcán "Nevado de Toluca". De arriba hacia abajo: ángulo de insolación al mediodía (anual =  $42.5^{\circ}$ ); grado de nubosidad; temperatura media del aire (—); precipitación (-.-.-); evaporación (----).

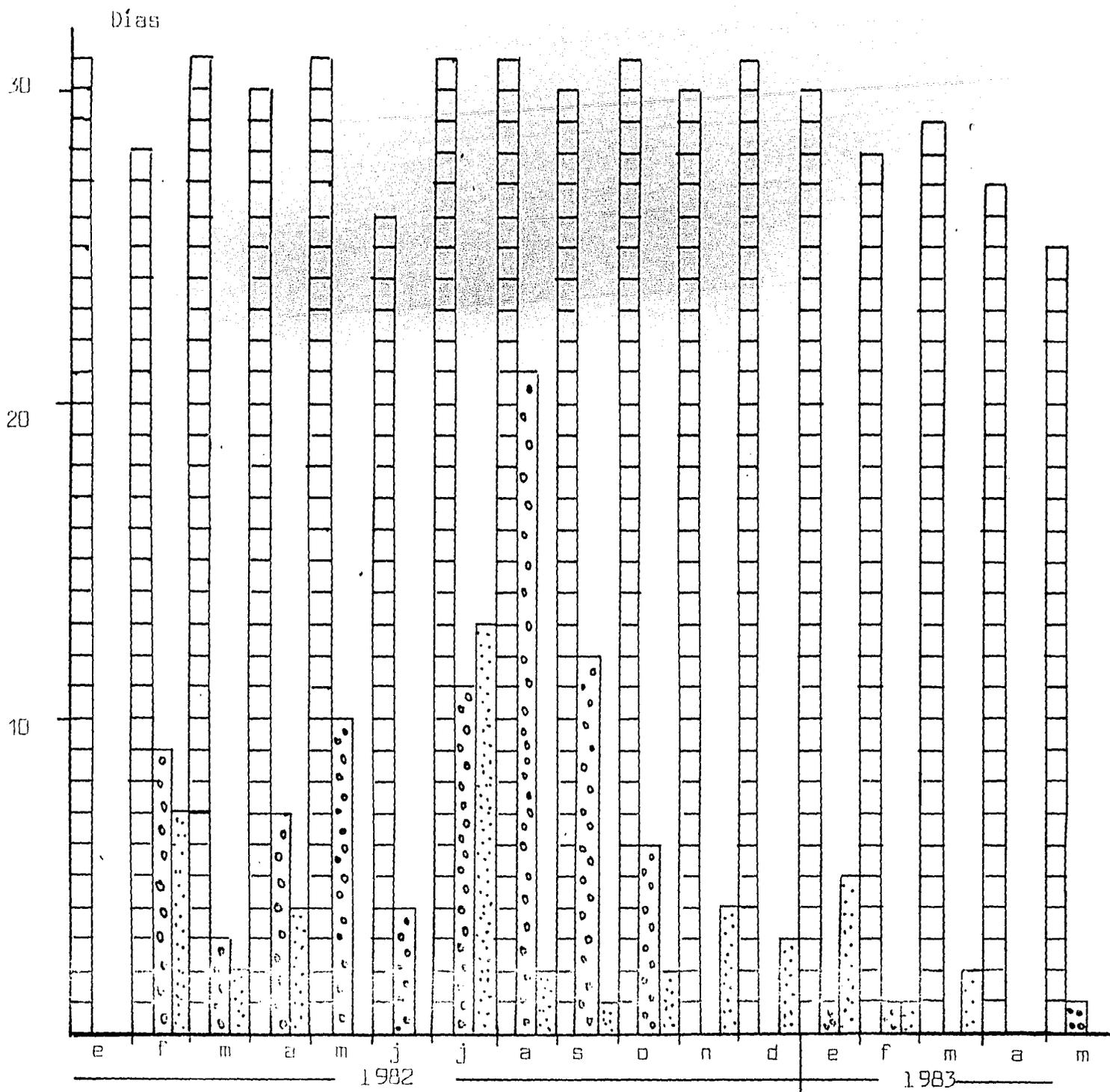


Figura 6. Frecuencia mensual de heladas , granizadas , y nevadas , en el cráter del volcán "Nevado de Toluca". Total de días = 515, con helada = 500, con granizada = 86, con nevada = 47.

y junto con la evaporación, evitó que el clima en el cráter fuera mas extremo, impidiendo que la temperatura se elevara demasiado durante el verano, y manteniéndola relativamente constante hasta la primera mitad del otoño. Este régimen es mas parecido al de regiones tropicales, aunque el promedio de temperatura se aproxima mas al de las regiones templadas de mayores latitudes, o sea, aproximadamente  $45^{\circ}$  N (c.f. Court, 1974).

La temperatura mensual presentó un máximo en junio de  $6.6^{\circ}\text{C}$ , y un mínimo en febrero de  $1^{\circ}\text{C}$ . Si bién ésta variación anual de la temperatura es pequeña, lo que le infiere al clima del cráter el carácter de isoterma (Mosiño y García, 1974), no lo es así la variación diaria, que llegó a presentar diferencias entre las temperaturas máxima y mínima mayores a los  $20^{\circ}\text{C}$  en abril de 1983, y no menores de  $10^{\circ}\text{C}$  durante los meses de verano (Fig. 7).

B) Temperatura del agua.- La temperatura media anual del agua durante el periodo de estudio fue de  $9.6^{\circ}\text{C}$ , aunque pudo haber sido menor puesto que no se midió en los meses mas fríos.

A éste respecto, en la figura 7 se muestran con línea punteada las temperaturas hipotéticas correspondientes a esos dos meses: enero y febrero. Suponiendo que fueron correctas, la temperatura media bajaría a  $8.85^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura promedio del agua se aproximó mas a la temperatura

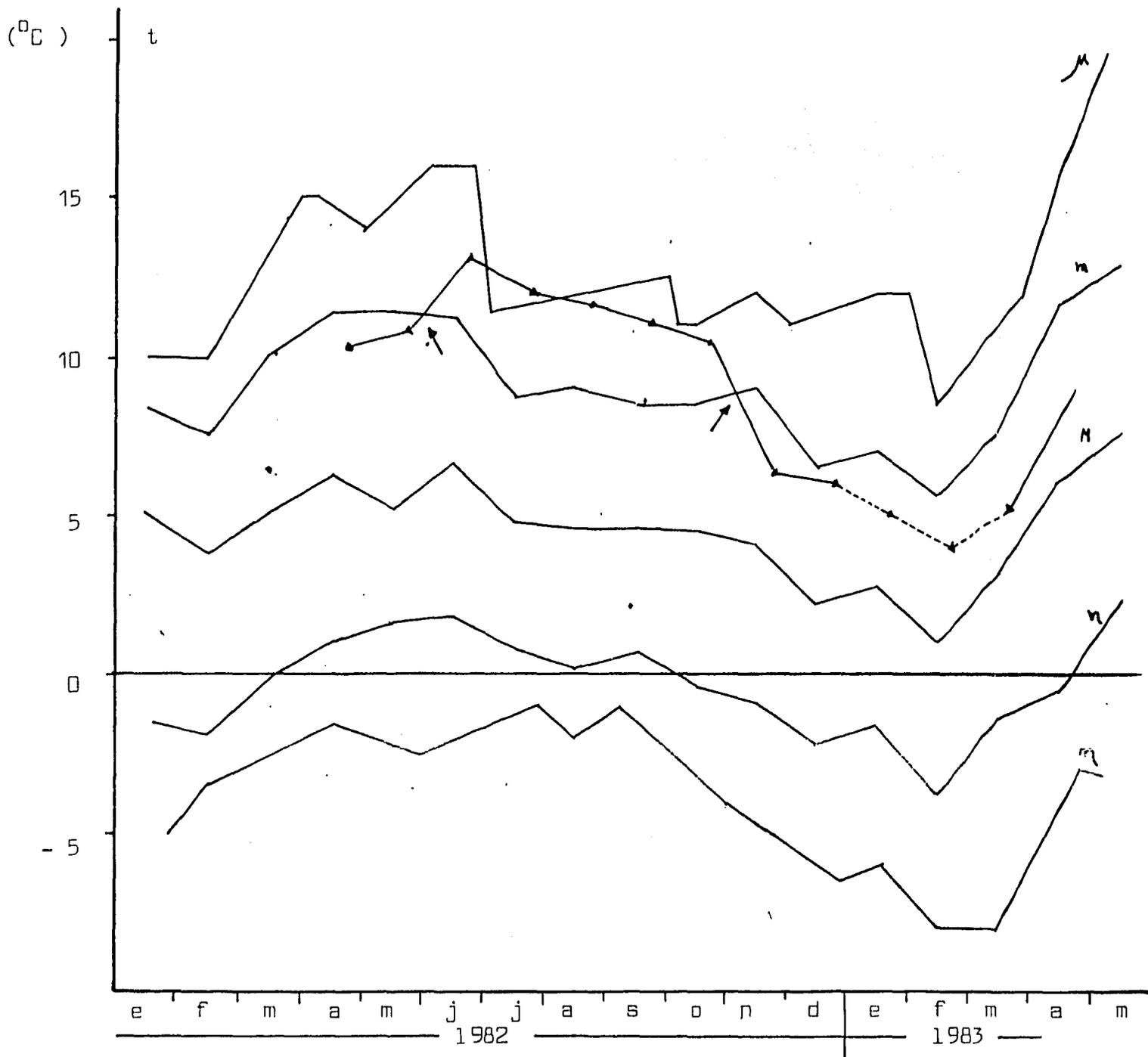
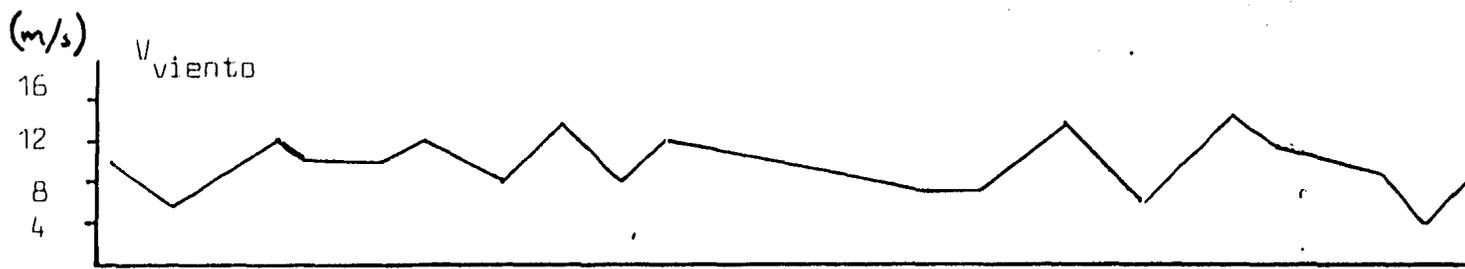


Figura 7. Comportamiento de la velocidad del viento ( $V$ ) y temperaturas ( $T$ ) del aire máxima del Mes ( $\mu$ ), máxima promedio ( $m$ ), media mensual ( $M$ ), mínima promedio ( $n$ ) mínima del mes ( $\eta$ ); y temperatura promedio del agua ( $\blacktriangle$ ). Línea punteada valores interpolados.

máxima promedio del aire, que a la media. Este comportamiento se debió, por un lado, a la mayor capacidad térmica del agua, y por el otro, al alto grado de insolación en el cráter. En la figura 7 se pueden apreciar dos puntos de intersección entre las curvas que describen el comportamiento de las temperaturas de agua y máxima promedio del aire (flechas), y que corresponden con las épocas en que se rompe la estratificación de los lagos dimícticos en el hemisferio norte (Dussart, 1966), esto es, en primavera y en otoño.

En lo que se refiere a la columna de agua, la temperatura cerca del fondo fue mas estable y ligeramente mayor, con base en los promedios anuales (Fig. 8), de manera que los sedimentos constituyeron una fuente de calor secundaria (Wetzel, 1975).

Si bién el lago presentó temperaturas relativamente bajas, estas no parecen afectar la productividad primaria (González, 1984), durante la mayor parte del año, o su efecto sería secundario comparado con los nutrientes, fundamentalmente los fosfatos, como Thomasson (1956), lo manifiesta en su revisión sobre lagos alpinos, y Tilzer (1973), llegó a la misma conclusión en su estudio sobre la productividad primaria del fitoplancton en un lago de alta montaña.

Sin embargo, los pronunciados cambios de temperatura del aire entre el día y la noche, que se dejan sentir en las capas superficiales del agua, podrían contribuir a limitar la distribución de las algas bentónicas en la zona litoral (Wetzel, 1975), que corresponde con la capa superior de agua en

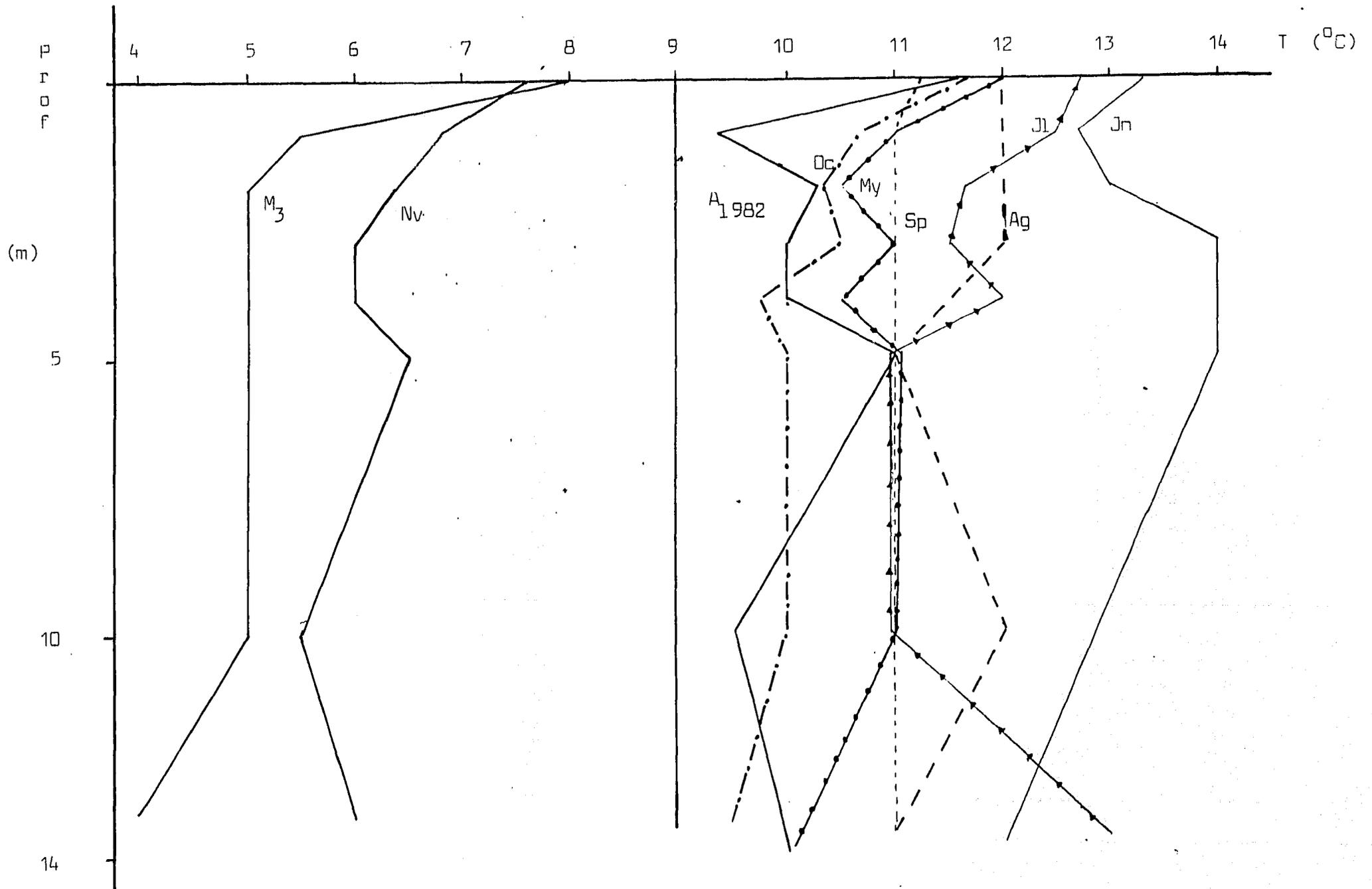


Figura 8. Comportamiento de la temperatura del agua cerca del fondo en el lago cada mes. M - marzo, A - abril, Los subíndices 2 y 3 indican 1982 y 1983 respectivamente.

el lago, como se puede ver en las figuras 17 a 21, mismas que desaparecen de esta zona en invierno, cuando la capa superior del lago llega inclusive a congelarse, como se pudo constatar visualmente.

C) Presupuesto de calor anual.- Thomasson (1956), en sus reflexiones sobre los lagos alpinos, analizó las variaciones que presentaba el régimen de radiación solar incidente sobre la superficie en función de la latitud, altitud y topografía del lugar donde yace una cuenca. Acorde con este autor, el régimen de radiación en el interior del cráter es característico de las zonas tropicales (Fig. 5), y las alturas que lo conforman producen un efecto de sombreado en el lago, que disminuye las horas de insolación en las primeras horas de la mañana, y al atardecer.

En consecuencia, se reduce la cantidad de radiación directa que ingresa al lago, aunque la que entra resulta ser mas intensa debido al menor espesor de la atmósfera.

El presupuesto de calor anual de un lago ( $Q_a$ ), es la cantidad de calor que se intercambia entre el aire y el agua por unidad de superficie en un año (Hutchinson, 1975). Para calcularlo se necesitan conocer las temperaturas mínima y máxima que presentó el agua durante el ciclo anual, el volumen del lago y su área superficial, y sustituir éstos valores en la siguiente ecuación:

$$Q_a = C ( T_{\text{máx.}} - T_{\text{mín.}} ) V/S , \text{ en Kcal/cm}^2 ;$$

Donde:

$C$  = Calor específico del agua ( 1,000 Kcal/ m<sup>3</sup> )

$V$  = Volúmen del lago en m<sup>3</sup>

$S$  = Area superficial del lago en m<sup>2</sup>

$T_{\text{máx.}}$  = Temperatura máxima del agua en °C

$T_{\text{mín.}}$  = Temperatura mínima del agua en °C

En el lago "El Sol", el presupuesto de calor anual fue de  $Q_a = 6$  Kcal/cm<sup>2</sup>, lo que según el estudio realizado por Gorham (1969), sobre el control morfométrico del contenido de calor en lagos, resultó ser un valor alto, característico de lagos que presentan una relación Superficie/Volúmen pequeña, y que por lo tanto son relativamente profundos. Este resultado concuerda con la conclusión de Alcocer (1980), quién se basó en las relaciones morfométricas.

D) Viento.- En lo que se refiere a la velocidad y dirección del viento, se puede decir que sopló con fuerza la mayor parte del año (Fig. 7), predominantemente de NE y E en la primera mitad del año, y del SW en la segunda (Fig. 9). Este comportamiento concuerda con el descrito por Mosiño y García (1974), para la mayor parte del territorio nacional, coincidiendo los vientos húmedos que provienen del E con la temporada lluviosa que comprenden los meses de julio a septiembre; y los vientos altos y secos que provienen del W con la temporada de estiaje.

E) Evaporación.- Durante el lapso considerado en la figura 5, la evaporación excedió a la precipitación en 6.87 mm, provocando un

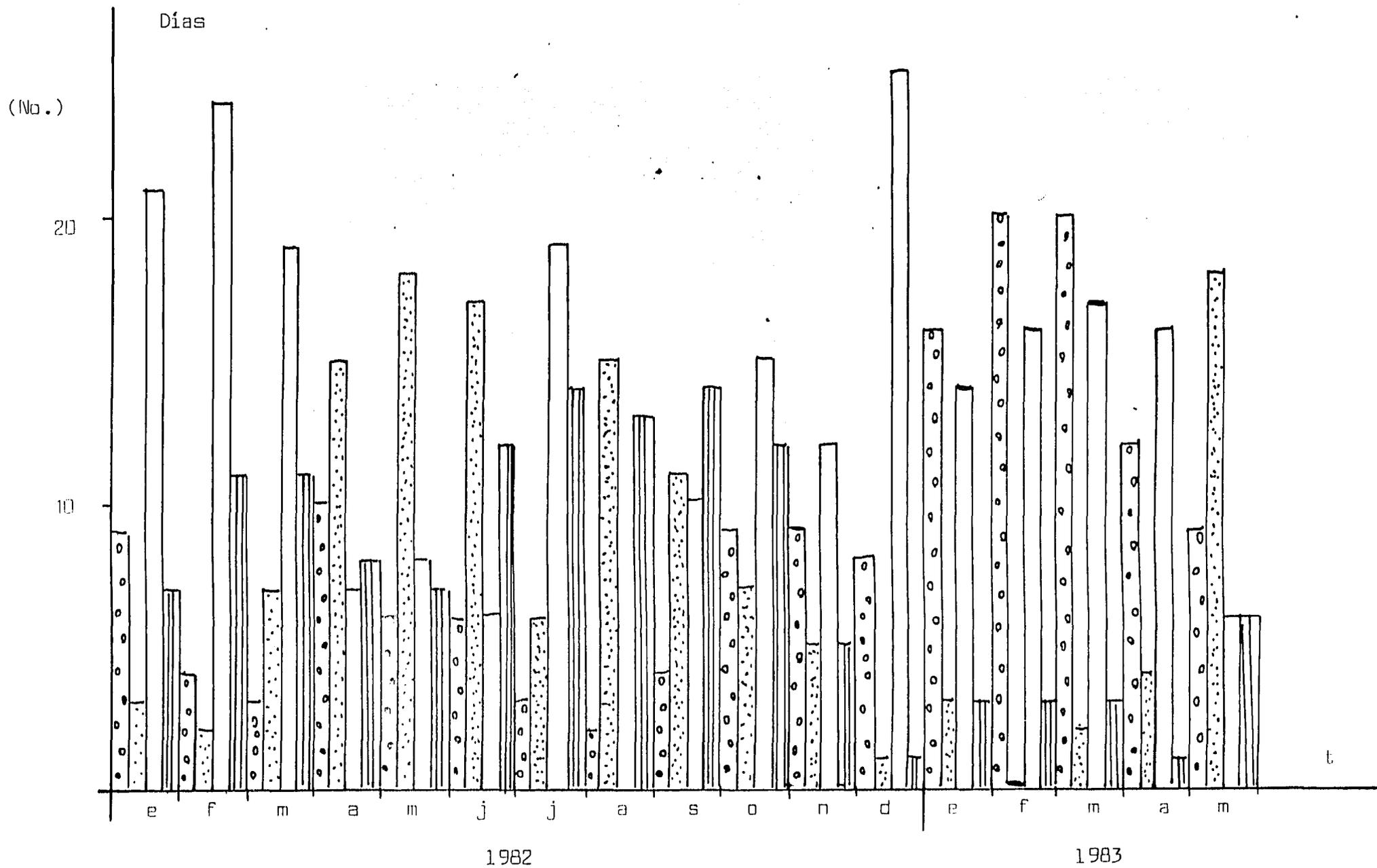


Figura 9. Días al mes en que se presentaron los componentes direccionales del viento: componente W , N , S , E .

déficit de agua que contribuyó a que el nivel superficial del lago bajara 95 cm durante el periodo de estudio, lo que tuvo como consecuencia que la isleta localizada al SW del lago quedara transformada en península.

Como se puede notar, la evaporación medida no alcanza a explicar ni la décima parte de la disminución en el nivel del lago, lo que pudiera deberse a dos factores:

- 1) Que la tasa de evaporación de la masa de agua sea mayor que en el terreno circundante.
- 2) Que la medición de la evaporación no se halla realizado correctamente en los meses que presentó un valor de cero (febrero a abril de 1983), como se puede ver en la figura 5.

F) Precipitación.- El patrón de precipitación anual (Fig. 5), concuerda con el propuesto por Mosiño y García (1974), para la mayor porción del territorio nacional, quedando el "Nevado de Toluca", según estos autores, dentro de una zona con precipitación moderada.

La precipitación total fue de 1,067 mm, lloviendo en su mayor parte dentro de una época del año conocida como "Temporada de lluvias", y que ocupó los meses de julio a septiembre. La mayor porción de la lluvia que cae dentro del cráter finalmente incide en el lago, ya sea directamente, o mediante los drenes que forma;

G) Mezclado del cuerpo de agua.- La fuerza del viento, junto con los pronunciados cambios de temperatura entre el día y la noche, que

producen corrientes convectivas en el agua, mantienen un mezclado continuo del lago, como lo demostró el comportamiento de la temperatura, de manera que nunca llegó a presentarse la estratificación. Según estas características, el lago puede clasificarse desde el punto de vista termodinámico, como de circulación continua, mismos que se presentan a grandes alturas en la región intertropical (Wetzel, 1975; Hutchinson, 1975).

H) Transparencia del agua.- Según Gorham (1961), la relación Area de la Superficie de Drenado / Area Superficial del Lago, afecta directamente el aporte total de sólidos al agua, siendo por lo tanto más transparentes aquellos lagos que se encuentran dentro de áreas de drenado más limitadas, como es el caso de los lagos alpinos (Thomasson, 1956), pues el único aporte de sólidos disueltos y en suspensión que tienen, proviene directamente de la lluvia que cae sobre la superficie del lago, y la de las escorrentías que se producen en las laderas interiores del cráter.

Efectivamente, la transparencia del agua fue alta, como lo demuestran las medidas de visibilidad del disco de Secchi que se tomaron únicamente durante los meses de junio y julio (9 m y 8.5 m, respectivamente), las cuales son muy parecidas a las obtenidas por Kusel-Fetzmann (1973), y Alcocer (1983, comunicación personal), siendo estas de 9.0 m. El promedio de estas cuatro lecturas (8.87 m), se utilizó para construir la curva de extinción luminosa de la figura 10, de acuerdo con la fórmula propuesta por Strickland y Parsons (1968).

La zona eufótica considerada como tres veces la profundidad del

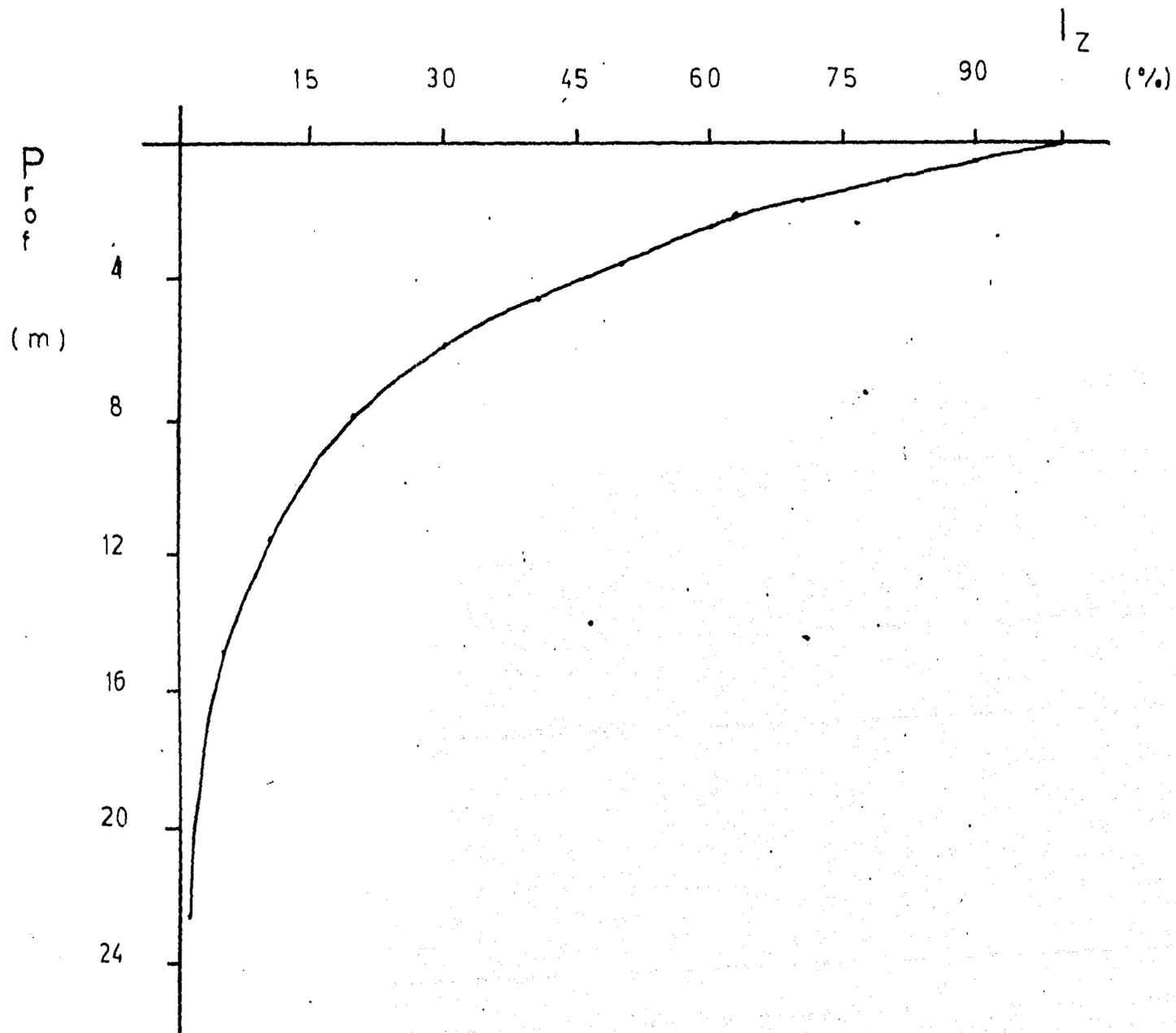


Fig. . Porcentaje de atenuación de la radiación total incidente respecto a la profundidad.

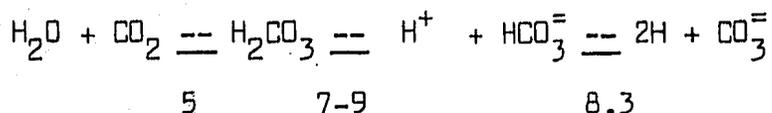
disco de Secchi (Margalef, 1980), se extendería hasta una profundidad, aproximada de 26 m, o sea, 10 metros mas que la máxima profundidad del lago, y acorde a la figura 10, a los 15 m alcanza a llegar mas del 5% de la luz que ingresa a través de la superficie.

Según este resultado, la disminución en la intensidad luminosa no representa un factor limitante para los productores primarios, sin embargo, el exceso si pudiera ser limitante en el caso de lagos altos con agua muy transparente, como lo demuestran los resultados de Tilzer (1973), en el Vorderer Finstertaler See (Austria), y González (1984), en el lago "El Sol", así como en lagos de menores alturas (Harris y Lott, 1973), debido al fenómeno de fotoinhibición de la clorofila (Morel, 1974), y a una mayor intensidad ultravioleta en la radiación incidente (Thomasson, 1956).

Debido a que la fotoinhibición reduce las tasas de asimilación (Talling, 1962; Round, 1964), y a los efectos ionizantes de la radiación ultravioleta (Gates, 1980), estas pudieran ser dos de los principales factores que reducen la aparición de la mayoría de las algas bentónicas en las zonas someras, como puede observarse en la distribución de las frecuencias de aparición de las diferentes especies encontradas en el lago (Figs. 17 a 19).

I) Potencial de hidrógeno.- Respecto a las múltiples sustancias que ingresan al lago mediante las lluvias y escurrentías se encuentra el  $CO_2$  gaseoso, que se combina con el agua que escurre para formar

ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) y bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ , Reid y Wood, 1976). Estas formas de carbono son muy importantes en aguas continentales, pues forman un sistema químico que amortigua los cambios bruscos de pH, y que se puede resumir con la siguiente ecuación:



donde el número bajo las flechas indica el valor de pH a partir del cual predominan las diferentes formas del carbono en solución (Welch, 1952).

El comportamiento mensual del pH en el agua del lago, se mantiene oscilando en torno a la neutralidad, por lo que pueden considerarse aguas neutras (Fig. 11), como lo indica el promedio de 6.96.

Las variaciones de pH, fotosintéticas y respiratorias coinciden con los ciclos de los nutrientes (Fig. 15) en el lago. El pH ligeramente alcalino durante los meses de mayo a agosto, con promedio de 8.1 indica una disminución en la cantidad de bióxido de carbono gaseoso, como lo define la ecuación anterior, posiblemente debido a su mayor asimilación por el fitoplancton, pues coincide con la época en que se incrementó su producción (González, 1984), alcanzando un máximo en agosto, junto con las algas bentónicas, ya que fue la época de germinación y crecimiento de las unidades reproductoras producidas con mayor intensidad en abril de 1982 (Tabla 5).

El pH ligeramente ácido de septiembre a noviembre, con 6.1 en promedio, definió un incremento en la cantidad de ácido carbónico y por

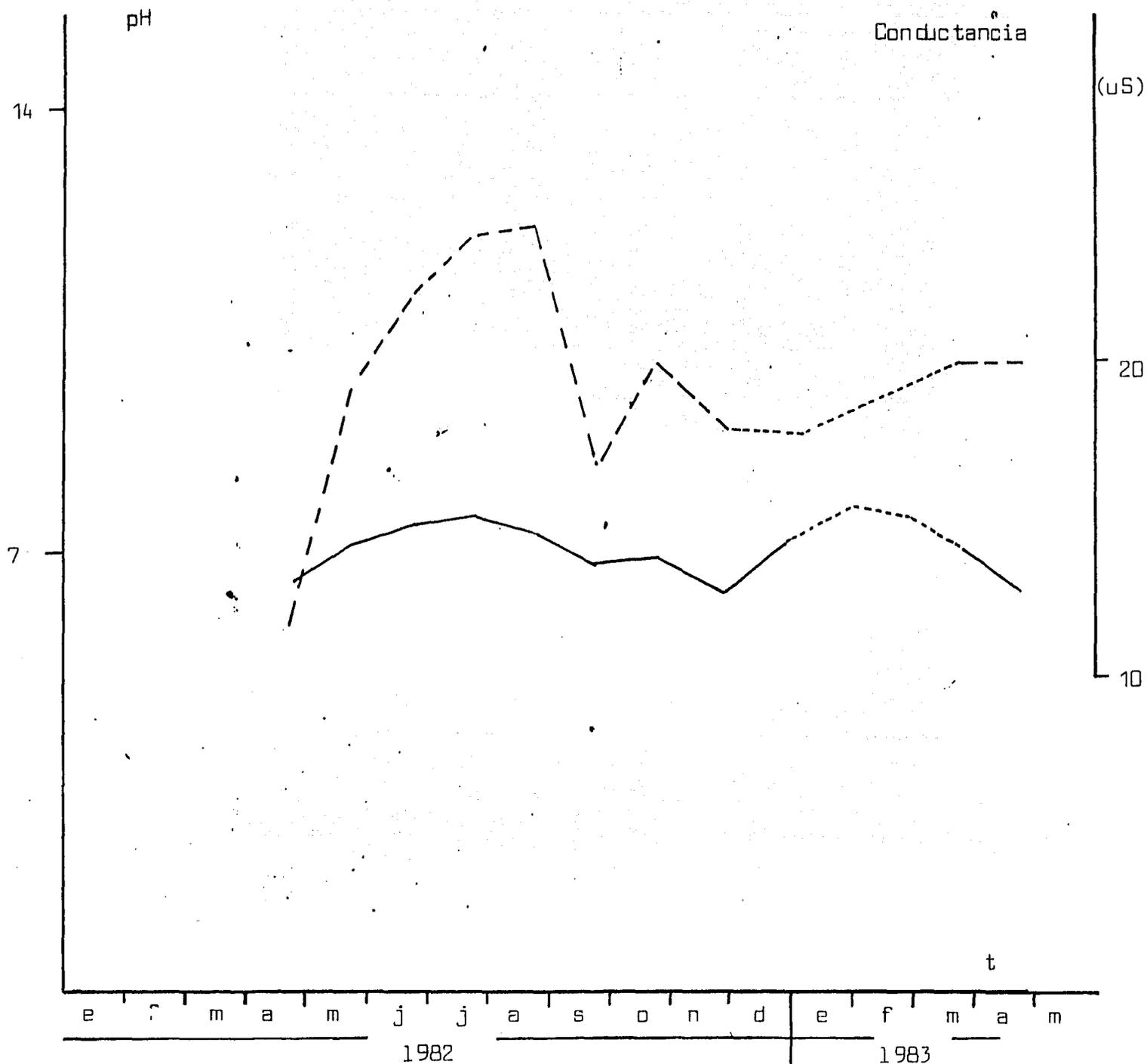


Figura 11. Comportamiento del pH (—) y de la conductancia (---) del agua.  
 (Las líneas punteadas son valores interpolados).

lo tanto de  $\text{CO}_2$ . Como ésta correspondió al estiaje, el gas debió provenir de los procesos respiratorios del sistema acuático.

0) Bióxido de Carbono.- Desafortunadamente la técnica para evaluar el  $\text{CO}_2$  disuelto presentó tres fuentes de error que no permitieron tener la precisión necesaria para registrar las diferencias temporales mencionadas. Estas fuentes de error fueron:

1) La imposibilidad de hacer la determinación in situ, por lo que las botellas tuvieron que guardarse en la oscuridad de una hielera lo que produce incrementos del gas en solución por procesos respiratorios.

2) La entrada de una cantidad extra de  $\text{CO}_2$  en el agua fría en el momento de hacer la titulación en una atmósfera con mayor presión parcial del gas.

3) El error intrínseco del método.

La concentración promedio fue de 1 mg/l y por el pH promedio, debe predominar en forma de bicarbonatos, según la fórmula química anteriormente citada. En condiciones normales, la presión del gas  $\text{CO}_2$  a 4.000 m de altura es de 0.0003 mmHg (Hutchinson, 1975), por lo que la concentración encontrada resulta ser alta.

K) Oxígeno disuelto (OD).- Otro gas que juega un papel fundamental determinando la calidad del hábitat acuático es el OD, debido a que interviene en procesos oxidativos biológicamente importantes como son la respiración, la nitrificación y la oxidación de la materia orgánica

hasta los productos finales  $\text{CO}_2$  y agua

La concentración de oxígeno disuelto se considera que fue alta, distribuyéndose homogéneamente en toda la columna de agua, con un comportamiento inverso a la temperatura, tanto en el tiempo (Fig. 12), como en la profundidad (Figs. 12 y 13). Su concentración promedio anual fue de 7.39 mg/l y de acuerdo con la temperatura promedio de 9.6 °C, la saturación de oxígeno promedio en el agua fue de 105%, considerando una presión atmosférica de 460 mmHg a 4,000 m de altura (Reid y Wood, 1976), y una cantidad de sólidos disueltos similar a la del agua destilada (Dullfus Montserrat, 1884). Obviamente este porcentaje de saturación debió aumentar o disminuir dependiendo de la época del año, debido a las fases de crecimiento animal y vegetal (Tabla 5).

L) Conductividad.- En lo que se refiere a los sólidos disueltos, algunos estudios sugieren una relación inversa entre la concentración total de sales y la altura sobre el nivel del mar (Gorham, 1961; Hutchinson 1975), debido a que aumenta la relación precipitación total / evaporación total, a pesar de que se produce un incremento en la lixiviación.

La cantidad de sustancias iónicas disueltas en el agua se estimó a partir de las medidas conductimétricas (Fig. 11), obteniéndose un promedio de 19.6  $\mu\text{S}$ , menor a la establecida para el agua potable (Ro dier, 1980).

M) Sulfatos.- Entre los diferentes iones evaluados en el la-

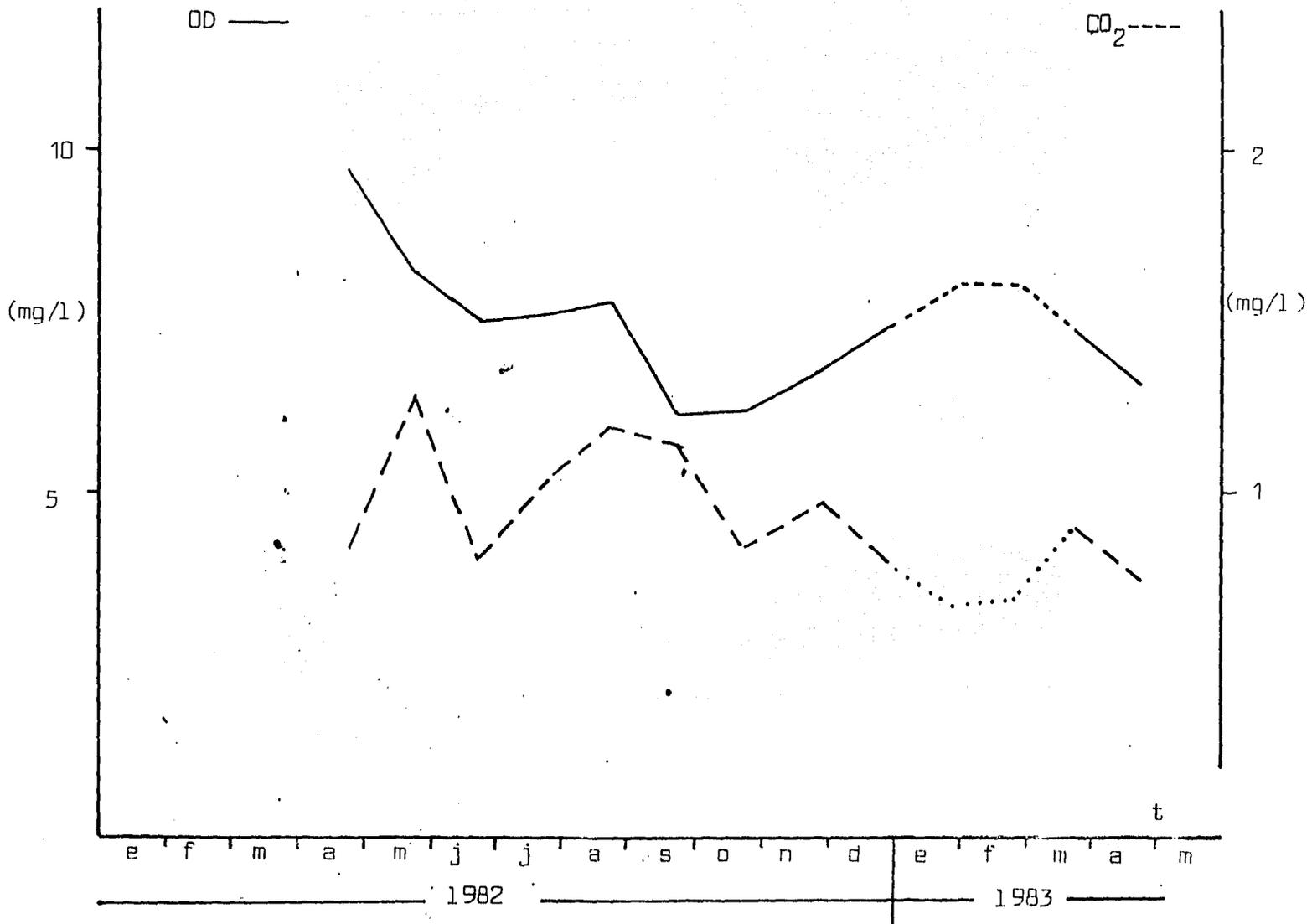


Figura 12. Comportamiento de la concentración de los gases disueltos en mg/l.  
 La línea punteada es extrapolación.

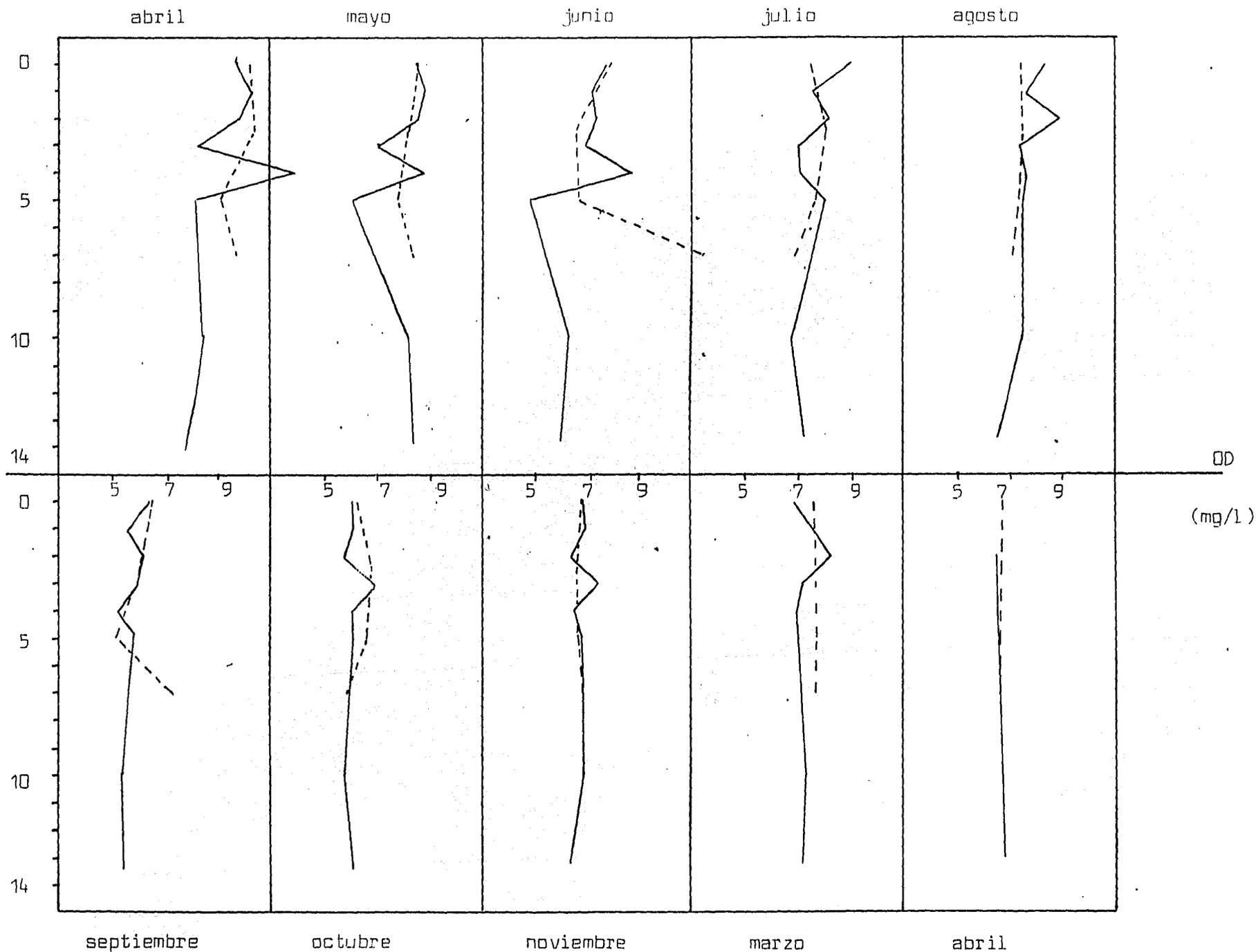


Figura 13. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto (OD) cerca del fondo (—) y en el lago (---).

go están los sulfatos disueltos. Su promedio anual fue de 4.70 mg/l, cantidad que explicaría aproximadamente la cuarta parte de la conductancia, pues se trata de un ión divalente.

La concentración de sulfatos se duplicó durante la temporada de lluvias (Fig. 14), lo que confirma que son éstas el factor más importante que controla los sólidos de un lago, sobre todo en zonas áridas o en lagos altos (Erikson, 1963).

Según Likens y Bormann (1974), los sulfatos provienen de las escurrentías de las laderas internas del cráter que lixivian roca porosa como el tezontle, que tiene la propiedad de acumular sustancias en los poros. Por otro lado esto coincide con la observación de Transeau (1916), quién estudiando los posibles factores que determinan la aparición de los procesos de reproducción en las algas, encontró que la salinidad de los lagos aumenta con la precipitación. En este sentido, pudo observarse que la frecuencia de aparición de las estructuras de reproducción de las algas bentónicas no guardó ninguna relación evidente con la cantidad de sólidos disueltos ni con los sulfatos, o en todo caso ésta sería inversa.

Hoshow (1968), en un estudio sobre la biología de las algas filamentosas, no encontró relación entre la concentración de sulfatos y la aparición de procesos de conjugación en cultivos de algas pertenecientes a las Conjugatales. En la presente contribución se confirma este resultado.

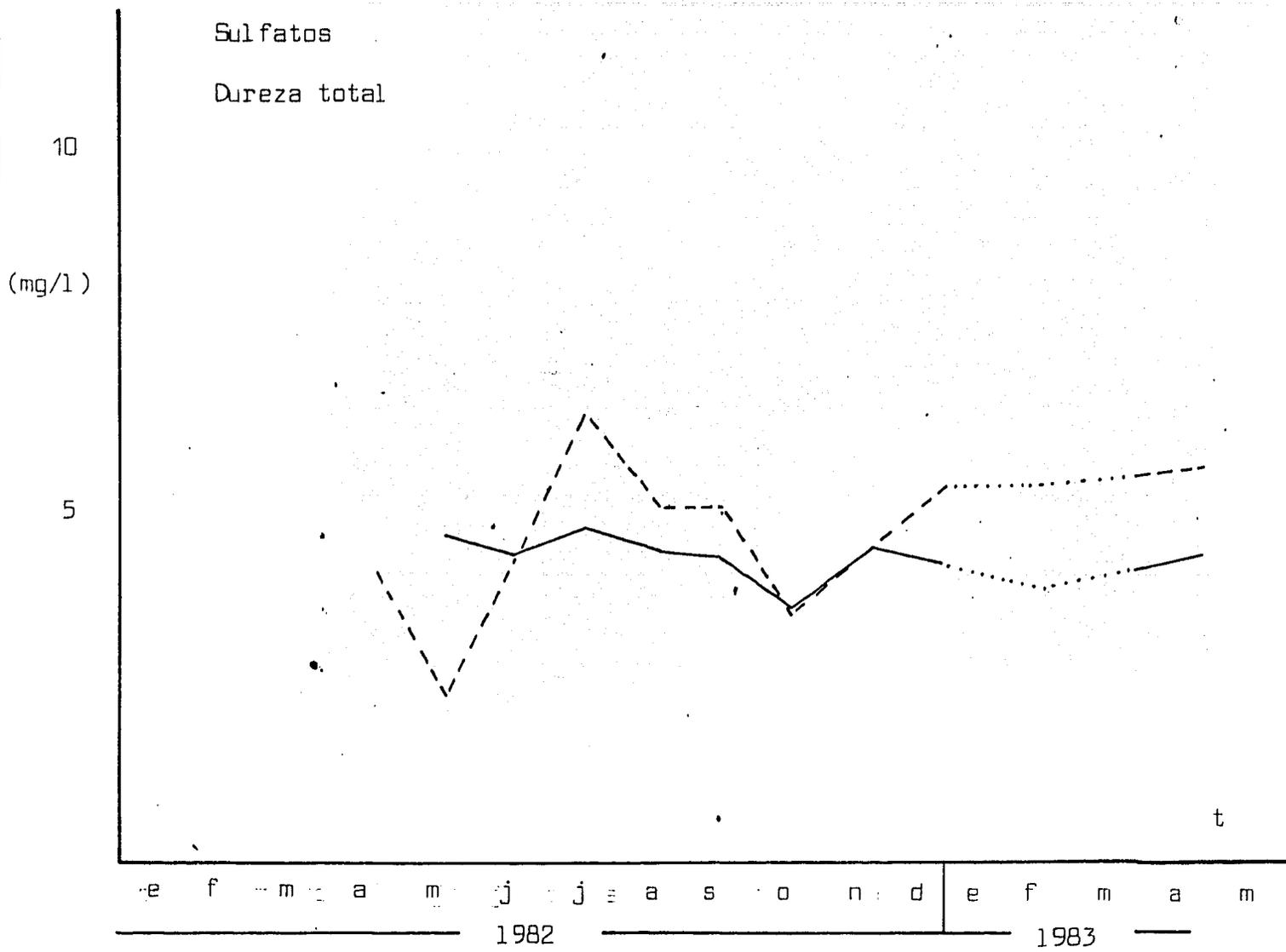


Figura 14. Comportamiento de la concentración de sulfatos y dureza total del agua en el "Lago El Sol". La línea punteada es una interpolación.

N) Dureza total.- Otra variable evaluada que determina la calidad del agua fue la dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ) la cual escasamente varió en comparación con los sulfatos (Fig. 14). El promedio anual fue de 4.3 mg/l, y el máximo, de 4.68 mg/l, se presentó simultáneamente con el máximo de sulfatos.

El comportamiento regular de la dureza puede indicar, por un lado, que la cantidad de cationes como Ca, Mg, Al, etc., presentan una concentración mas constante que las demás sales que entran en solución al agua; y por el otro, que una buena parte de los sulfatos que ingresan al lago, lo hacen formando sales con cationes monovalentes como Na y K (Wetzel y Likens, 1979).

Por otra parte la cantidad de sulfatos (4.7 mg/l), mas la de bicarbonatos (1 mg/l), explica algo mas de la tercera parte de la conductividad ( $\sim 6.6 \mu\text{S}$ ), el resto ( $13 \mu\text{S}$ ), estaría representada por cloruros, y muy probablemente boratos (Gorham, 1964).

Acorde con los resultados anteriores, el lago puede considerarse de aguas blandas, lo que quedaría apoyado por la presencia de organismos como Closterium, Desmidium y Eurastrum, que Wolkerling y Goug (1976), encontraron cercanamente relacionados con este tipo de aguas.

D) Nutrientos.- En relación a la dependencia existente entre la cantidad de nutrientes aportados por la lluvia y escurrentías al agua, y los procesos de productividad primaria de un lago, Schindler,

citado por Likens y Bormann (1974), describió la proporcionalidad directa que guarda ésta última con la relación  $(A_d - A_l) / V$ , siendo  $A_d$  y  $A_l$  las áreas de superficie de drenado y superficial del lago, respectivamente, y  $V$  el volúmen del lago; la que supone que para los lagos aislados con escasez de aportes circundantes de nutrientes, las aguas de los drenes reflejarán estrechamente la composición química de la lluvia, y por lo tanto el área de drenado estará determinando directamente la cantidad de nutrientes que ingresan al lago.

La pobreza de nutrientes en las zonas situadas a grandes alturas son extremas debido al tipo de vegetación terrestre que logra desarrollarse en ella (Scott y Billings, 1964), y como el mezclado del lago es completo, su carga de nutrientes específica puede calcularse si se conoce su cantidad en el agua de lluvia y en los drenes, lo cual resulta ser un aspecto muy útil cuando se trata de modelar a los ecosistemas con fines de manejo de recursos (Likens y Bormann, 1974; Brilinsky y Mann, 1973).

Respecto al comportamiento de las diferentes formas del nitrógeno y de los ortofosfatos encontrados, se apreció que existe una relación estrecha con la precipitación pluvial, sobre todo en el caso de los nitratos y fosfatos (Fig. 15). Esto indica que ambos compuestos son aportados por la lluvia y los drenes, pues la cantidad de detrito autóctono mineralizado, que en un momento dado puede ser fuente de nutrientes, es muy pequeña en lagos de alta montaña (Thomasson, 1956).

Además se pudo observar que presentaron una estrecha relación con

Nutrientes

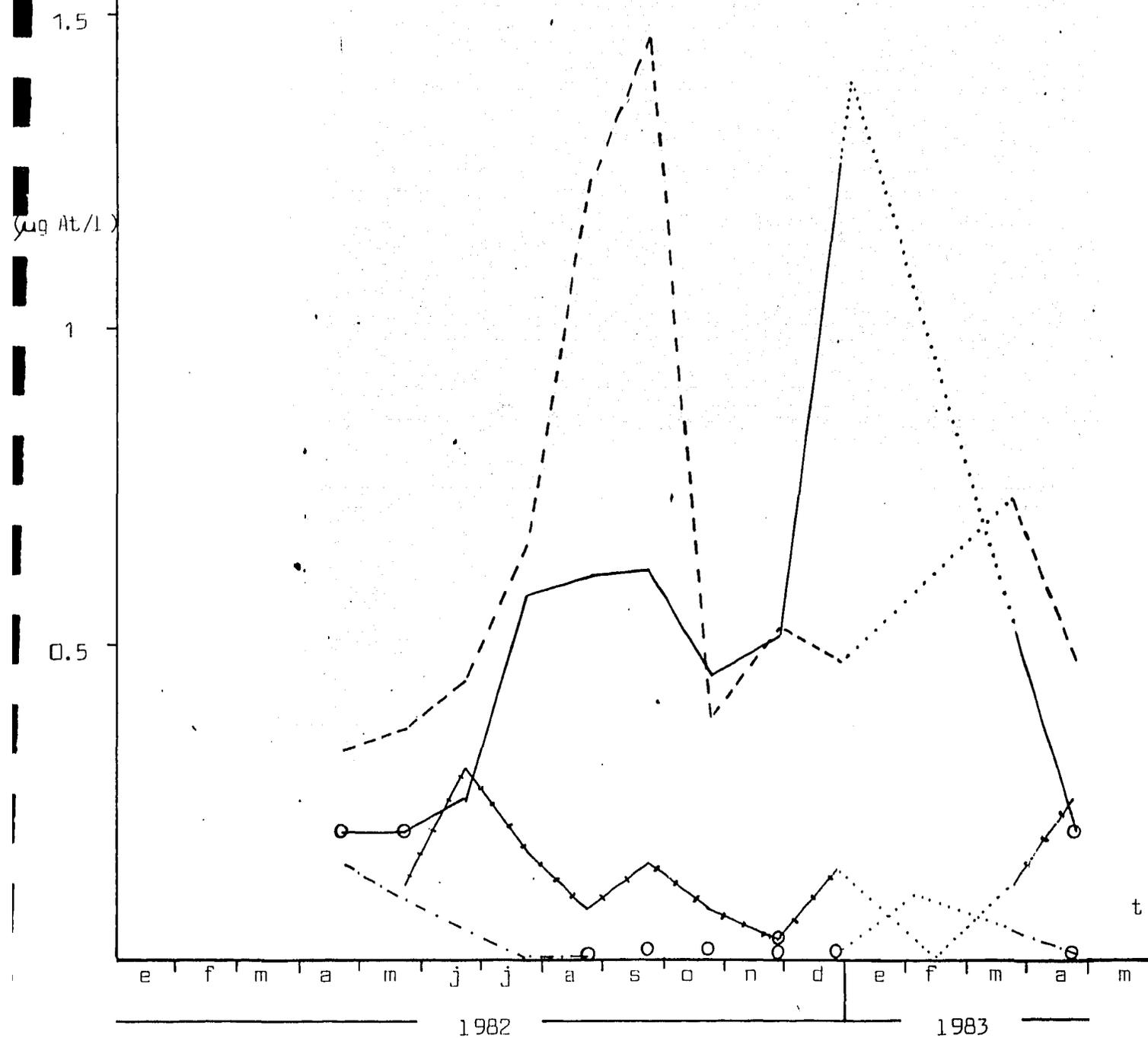


Figura 15. Comportamiento de los nutrientes disueltos en el agua del "Lago El Sol". La línea punteada es una interpolación. Nitratos ----, Nitritos -.-.-, Amonio —, Fosfatos -+--+-, no detectable o.

los procesos de productividad primaria del fitoplancton estudiados simultáneamente por González (1984), sobre todo en el caso de los ortofosfatos (Fig. 15).

a) Nitratos.- Los nitratos mostraron concentraciones bajas durante todo el año, con un máximo de  $1.46 \mu\text{g At N-NO}_3/\text{l}$  en septiembre; sin embargo no parece ser un factor limitante del crecimiento algal durante la explosión de fitoplancton de agosto (González, 1984). Su concentración nunca fue menor a los  $0.3 \mu\text{g At N-NO}_3/\text{l}$  y su distribución en el lago fue homogénea (Tabla 2).

b) Nitritos.- Los nitritos presentaron una relación inversa con el nitrato y el amonio, disminuyendo a partir de una concentración máxima en abril de 1982 de  $0.15 \mu\text{g At N-NO}_2/\text{l}$ , a niveles indetectables en agosto. Su escasez no representa un factor limitante de la productividad, al contrario, concentraciones mayores de  $46 \text{ mg/l}$  ( $0.001 \text{ M}$ ), tienen efecto inhibitorio sobre el crecimiento de la mayoría de las algas estudiadas en cultivos (Syrett, 1962). Su disminución en el lago puede obedecer a que es un producto intermedio en el proceso de nitrificación (Feth, 1966), y la velocidad de producción de nitrito sería igual a la velocidad con que es consumido, tanto por su oxidación a nitrato, como parece demostrarlo la meseta en la curva del amonio de la figura 15, y por su absorción por el fitoplancton. Su presencia durante abril y mayo posiblemente se deba a que son residuos invernales, o a que es producido por denitrificación del nitrato, proceso que pueden realizar algunas diatomeas (Reid y Wood, 1976), y clorofitas como Chlorella pyrenoidosa (Syrett, 1962).

Tabla 2. CONCENTRACION PROMEDIO DE LOS NUTRIMENTOS DISUELTOS EN EL AGUA ( $\mu\text{g At/l}$ ).

Mes	Nitratos		Nitritos		Amonio		Fosfatos	
	Frac.	Prom.	Frac.	Prom.	Frac.	Prom.	Frac.	Prom.
abril 82	24/26	0.3296	24/25	0.1544		N.D. 0.2		N.D. 0.03
mayo 82	23	0.3643	12/23	0.0957		N.D.	9/23	0.1204
junio 82	27	0.4404	23/27	0.0407	6/21	0.2563	25/27	0.3022
julio 82	22	0.6486	1/28	0.0111	17/28	0.5754	4/27	0.1700
agost. 82	27/28	1.2189		N.D. 0.01	21/28	0.6054	26/28	0.0771
sep. 82	28	1.4575		N.D.	28	0.6129	28	0.1482
oct. 82	30/31	0.3829		N.D.	15/31	0.4494	7/31	0.0797
nov. 82	27/31	0.5723		N.D.	6/31	0.5661		N.D.
dic. 82	5	0.4640		N.D.	4/5	1.2600	3/5	0.1420
marzo 83	14/16	0.7219	15/16	0.045	16	0.5169	10/16	0.1144
abril 83	7/10	0.4750		N.D.		N.D.	6/10	0.2520

Prom. - Promedio mensual

Frac. - Muestras en que se detectó respecto al total de muestras tomadas.

c) Amonio.- El amonio junto con los nitratos, son las formas principales y dominantes del nitrógeno en el lago y que son asimiladas por las algas, pero como el nitrito, el amonio inhibe el crecimiento de la mayoría de las algas planctónicas cuando se presenta en concentraciones mayores de 18 mg/l (0.001 M) soportadas sólo por especies que presentan carácter eutrófico (Moos, 1973), como el caso de Anabaena flos-aquae form. flos-aquae que se presentó en invierno, cuando la concentración de amonio aumentó.

Si bién el amonio señaló un incremento en la temporada de lluvias, su máxima concentración se presentó a principios del invierno, en temporada de sequía, con  $1.26 \mu\text{g At N-NH}_4/\text{l}$ , por lo que la fuente principal de este compuesto, parece ser la remineralización de los detritos autóctonos procedentes de la mortandad de la comunidad (principalmente algas) debido al descenso de temperatura a partir de noviembre (Figs. 7 y 15), como se pudo constatar visualmente.

d) Fosfatos.- Los fosfatos disueltos en el agua mostraron un comportamiento que también puede estar relacionado con la precipitación pluvial, pero a diferencia de las sales de nitrógeno, su concentración siempre permaneció extremadamente baja (menor que  $0.3 \mu\text{g At P-PO}_4/\text{l}$ ) y su distribución bastante heterogénea, como puede verse en el número de muestras en que se detectó respecto al total en la Tabla 2.

La máxima concentración se presentó en junio, con  $0.3 \mu\text{g At P-PO}_4/\text{l}$

y en noviembre llegó a niveles indetectables, Tilzer (1973), registró concentraciones iguales de fosfatos como limitantes de la productividad en un lago de alta montaña; y acorde con Thomasson (1956), una adición casi indetectable de fósforo en lagos de éste tipo puede incrementar rápidamente la producción, lo que implica altas tasas de asimilación que se ha demostrado que ocurren bajo una buena iluminación (Kuhl, 1962; Lean, 1973).

Estos fenómenos en su conjunto explicarían la baja concentración de fosfato en el lago, junto con el hecho de que su aporte en los drenes sería escaso, pues la cantidad de fosfato orgánico proveniente de la vegetación terrestre es pobre, dadas las características de la vegetación alpina (Scott y Billings, 1964; Hadley y Bliss, 1964; Gates, 1980), aunque en general, se aprecia que su concentración es baja en la mayoría de las aguas continentales (Talling, 1962).

El máximo de concentración coincidió con las primeras lluvias en el lago, y ya no aumentó paralelamente con las lluvias debido a que posiblemente fue asimilado por la vegetación terrestre que empezó a reverdecer, y a su rápida absorción en el fitoplancton, cuya producción fue aumentando hasta la explosión de agosto, fecha en que el fosfato alcanzó el mínimo. Al agotarse el fosfato, sobrevino una mortandad de algas planctónicas y bentónicas lo que produjo un nuevo incremento de los fosfatos disueltos a partir de la mineralización de los detritos. Una segunda mortandad ocasionada por el descenso de la temperatura también pudo generar el aumen-

to de diciembre (Fig. 15). El último máximo de fosfato en abril del siguiente año, podría deberse al aporte de  $P_2O_5$  en las aguas derivadas de la fundición de los periglaciares, los cuales según Brundin, citado por Thomasson (1956), son ricas en dicho compuesto.

La presencia de Nitella en el lago, es indicadora de aguas con baja concentración de fosfatos (Wetzel, 1975), pues concentraciones por arriba de  $20 \mu\text{g At P-PO}_4/1$  tienen efecto inhibitorio en estas algas. En el mismo caso entran Aphanochaete repens (Whitford, 1969), y algunas especies del género Dinobryon, el cual apareció durante el análisis de las muestras biológicas. Además, Moss (1972), asignó un carácter oligotrófico al género Desmidium.

e) Grado trófico.- Las concentraciones de nutrientes registradas en el lago, fueron similares a las que se encuentran en el agua de lluvia (Hutchinson, 1975; Round, 1983), y le infieren al lago un carácter netamente oligotrófico (Wetzel, 1975), como lo demuestra la presencia de ciertas especies algales. Este tipo de lagos sostienen una diversidad florística grande (Round, 1964; y 1983; Wetzel, 1975; Hutchinson, 1975), notablemente mayor a la vegetación terrestre circundante (Thomasson, 1956), pero al igual que ésta, su producción es baja y se mantiene constante, lo que en el caso del lago se logra reciclando rápidamente los nutrientes, sobre todo en el caso de los fosfatos (Talling, 1962).

Q) Fitobentos.- Algunas de las características sobresalientes, obtenidas a partir del análisis de las muestras bentónicas son las

siguientes:

a) Influencia de algunos factores ambientales sobre la vegetación.- A la luz de los resultados obtenidos, es posible que la fluctuación en el nivel del agua, los cambios drásticos de temperatura en la capa superior del lago, la fuerza de la corriente en las zonas someras con pendiente leve, y la intensa iluminación cerca de la superficie, impidan el desarrollo pleno de la comunidad algal estudiada en dichas zonas, que, no obstante constituyen el hábitat de las dos traqueofitas acuáticas del lago: Eleocharys sp., y Elatine brachysperma.

Los cambios en el nivel del agua, exponen intermitentemente una franja de la orilla del lago a periodos de sequedad, produciéndose un hábitat inestable que limita el desarrollo de la comunidad de especies estrictamente acuáticas, mientras que las marcadas diferencias de temperatura del aire entre el día y la noche (Fig. 7), se dejan sentir en la capa superficial del agua, contribuyendo a hacer aún mas inestable el hábitat representado por las zonas someras del lago, limitando el desarrollo de especies en dichas zonas, en las que únicamente pueden crecer especies sésiles de carácter euritermo, o son temporalmente habitadas por especies móviles.

En general, las especies algales presentaron una menor incidencia en las zonas someras y con pendiente leve (Tabla 4). Este resultado concuerda con las observaciones de Godward (1973), Moore (1979) y Yoshitake (1981). Una excepción a éste último caso, se presentó en el sector IV, lo que probablemente se debió al efecto de protección contra las corrientes.

Tabla 3. Fitobéntos del "Lago El Sol".

División: Cyanophyta

Clase: Cyanophyceae

- 1 Tolypothrix nodosa Bharadw.
- 2 Anabaena flos-aquae form. flos-aquae Starmach.
- 3 Nostoc coeruleum Lyngbye.
- 4 Oscillatoria spp.
- 5 Phormidium sp.

División: Chlorophyta

Clase: Ulothricophyceae

Orden: Ulothricales

- 6 Binuclearia sp. Wittrock
- 7 Draparnaldia glomerata Agardh
- 8 Microtamnion sp.
- 9 Pseudoendoclonium sp.
- 10 Aphanochaete repens A. Braun.
- 11 Chaetonema sp.
- 12 Chaetosphaeridium pringsheimii Klebahn

Orden: Oedogoniales

- 13 Bulbochaete sp.
- 14 B. Debaryana Wittrock
- 15 B. mobile Wittrock y Lundell.
- 16 B. repanda Wittrock
- 17 Oedogonium acrosporum De Bary
- 18 O. acrosporum var. bathmidosporum (Nordstedt)
- 19 O. equinospermum Al. Braun
- 20 O. Flaveacens (Hassall) Wittrock

- 21 *O. grande* var. *angustum* Hirn.  
22 *O. magnusi* Wittrock  
23 *O. rufescens* Wittrock  
24 *O. sexangulare* Cleve.  
25 *O. sociale* Wittrock  
26 *O. suecicum* var. *australe* G. S. West.

Orden: Siphonosladales

- 27 *Cladophora* sp.

Clase: Zygomycetes

Orden: Zygnematales

- 28 *Zygnema* sp.  $\phi$  30  $\mu$ m  
29 *Zygnema* sp.  $\phi$  20  $\mu$ m  
30 *Zygnema* sp.  $\phi$  9  $\mu$ m  
31 *Mougeotia* spp.  
32 *Spirogyra jugalis* Kützing  
33 *Spirogyra* spp.  
34 *Spirogonium sticticum* Kützing  
35 *Desmidiium swartzii* Agardh

Clase: Charophyceae

Orden: Charales

- 36 *Nitella* sp.

División: Angiospermas

Clase: Dicotiledonea

Orden: Theales

Familia: Elatinacea

- 37 *Elatine brachysperma* Gray

Clase: Monocotiledonea

Orden: Cyperales

Familia: Cyperaceae

- 38 *Eleocharis* sp.

Tabla 4. Propiedad de abundancia relativa (arriba) y frecuencia de aparición (abajo) de 35 especies, incluyendo el tamaño de muestra (n) y el área (m²).

Especie	Área I					Área VI					Área VII					Área VIII					Área IX									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Arca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prof. (m)	0.1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

Especie	C A N O P H Y T A					C H L O R O P H Y T A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
2	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
3	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
5	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17

Especie	C A N O P H Y T A					C H L O R O P H Y T A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
7	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
8	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
9	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
12	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
13	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
14	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
15	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
16	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
17	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
18	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
19	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
20	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
21	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
22	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
23	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
24	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
25	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
26	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
27	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
28	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
29	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
30	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
31	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
32	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
33	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
34	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
35	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09

Estos valores se representan en forma gráfica en las figuras 17 a 22, correspondiendo los puntos marcados con ( - ) a los valores del 100% (total) de la muestra y con ( + ) a los del 50% (media) de la muestra.

tes superficiales rápidas, impulsadas por el viento, que ofrece el gancho, y que tendría como resultado un mayor depósito de propágulos en este sector.

La frecuencia de aparición de las especies con la profundidad (ver mas adelante), es probable que obedezca a la influencia de la luz, puesto que esta controla por igual la distribución de algas planctónicas y bentónicas (Round, 1964). Acorde con ésta afirmación, se pudo apreciar la aparición de algas de carácter fotófilo (Feldmann, 1937), que se encuentran representadas, notablemente, por las dos traqueofitas acuáticas, así como Bulbochaete repanda, Oedogonium rufescens, Anabaena flos-aquae form. flos-aquae, Desmidiium swartzii y las especies de Zygnema (Figs. 17, 18 y 19), lo que puede explicar en parte, la constante aparición de estos dos últimos géneros en las muestras de fitoplancton tomadas desde la orilla y por arrastre en el agua (Villalpando, 1968; Alcocer, 1980). Todas las demás especies algales, presentaron sus máximas frecuencias de aparición a partir del metro de profundidad, donde se atenúa aproximadamente el 20% de la radiación total (Fig. 10), y el 80% de la fracción correspondiente al rojo (Wetzel, 1975).

Según Feldmann (1973), el límite inferior para las formas fotófilas y superior para las esciáfilas marinas, estaría entre los 5 y 10 m de profundidad. Ubicar a las especies bentónicas del lago dentro de alguna de éstas formas es arriesgado, pues la mayoría se encontraron a todas las profundidades, y los máximos en sus respectivas frecuencias de aparición no solamente pueden obedecer al efecto de la intensidad luminosa, sino tam-

bién a otros factores como ciclos anuales y diurnos, tasas de crecimiento, ciclos reproductivos, tasas de asimilación, competencia, alelopatías, ramoneo, mecanismos de protección, etc. (Round, 1964). En este caso particular, la competencia por el sustrato en las algas parece ser un factor de importancia primordial, puesto que la mayoría de las especies estudiadas son epífitas, y los principales hospederos son Nitella sp. y Elatine brachysperma.

Acorde con la distribución que presentaron las tres únicas especies rizobentónicas del lago, parece existir una relación entre estas y el tipo de sustrato, posiblemente determinada por las características de sus respectivos sistemas radiculares. Eleocharys sp. y Elatine brachysperma se encontraron principalmente sobre sustrato arenoso y no más allá de los 3 m de profundidad (Fig 16). Esta última se encontró tanto en áreas donde los sedimentos predominantes son arenas, como en áreas donde existen arenas con más del 50% de gravas (Fig. 3). Mientras que Nitella sp., empezó a aparecer frecuentemente a partir de los 3 m, estrechamente relacionada con el sustrato de tipo lodoso, tanto en la porción profunda del lago, como en acumulamientos de lodo en las áreas con gravas de zonas menos profundas en el sector VI (Tabla 4). Las especies de Cyanophyta encontradas, si bien se presentaron en otros sustratos, parecen preferir la arena en las zonas someras (alrededor de 1 m de profundidad).

Como se puede notar en la figura 16, existe una amplia porción del lago caracterizada por presentar sustrato arenoso y localizarse a profun-



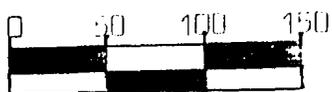
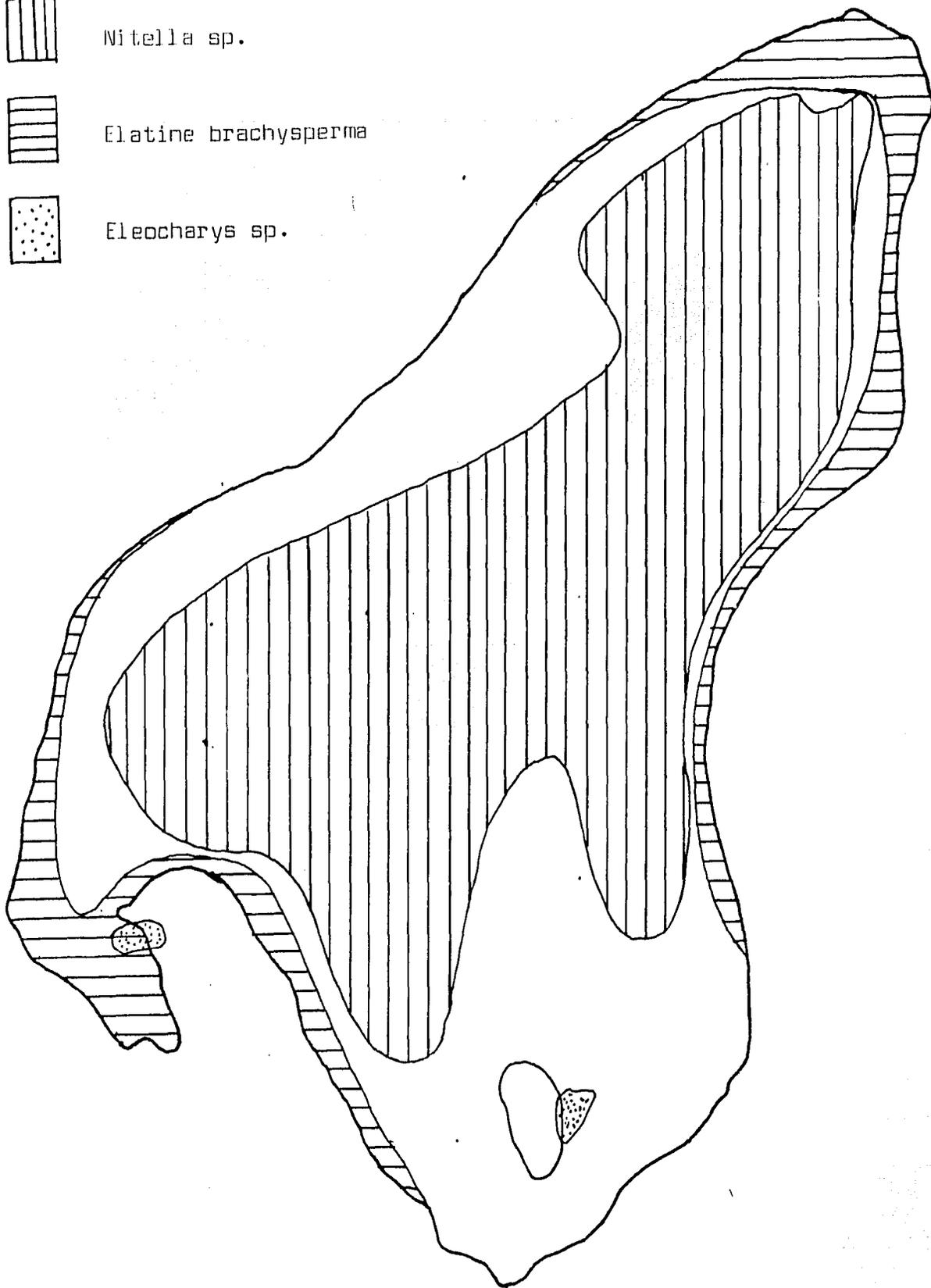
Nitella sp.



Elatine brachysperma



Eleocharys sp.



⊕

Figura 16. Zonas de distribución de las especies rizobentónicas.

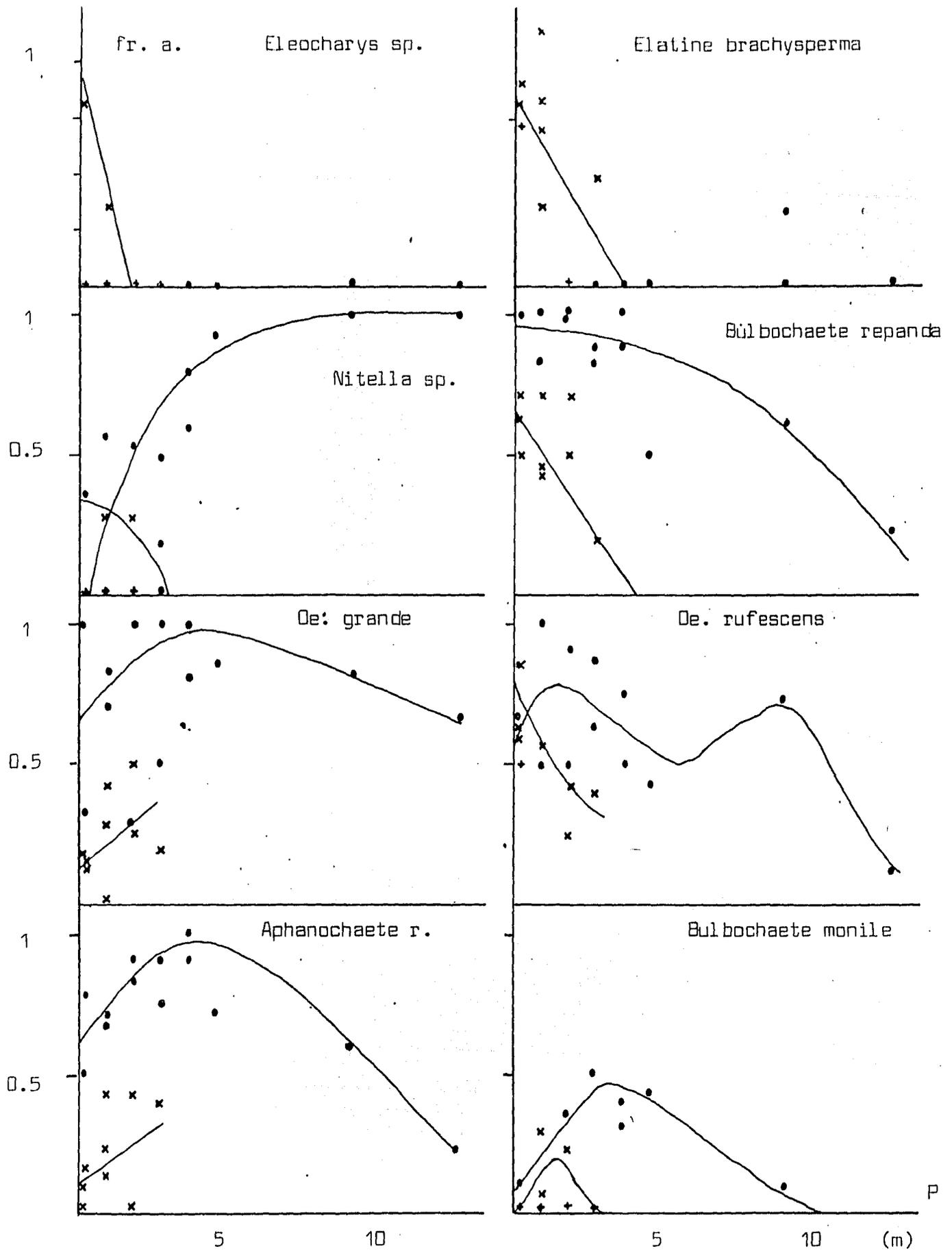


Figura 17. Frecuencias de aparición (fr.a.) de las especies respecto a la profundidad (P). Curvas ajustadas "a ojo".

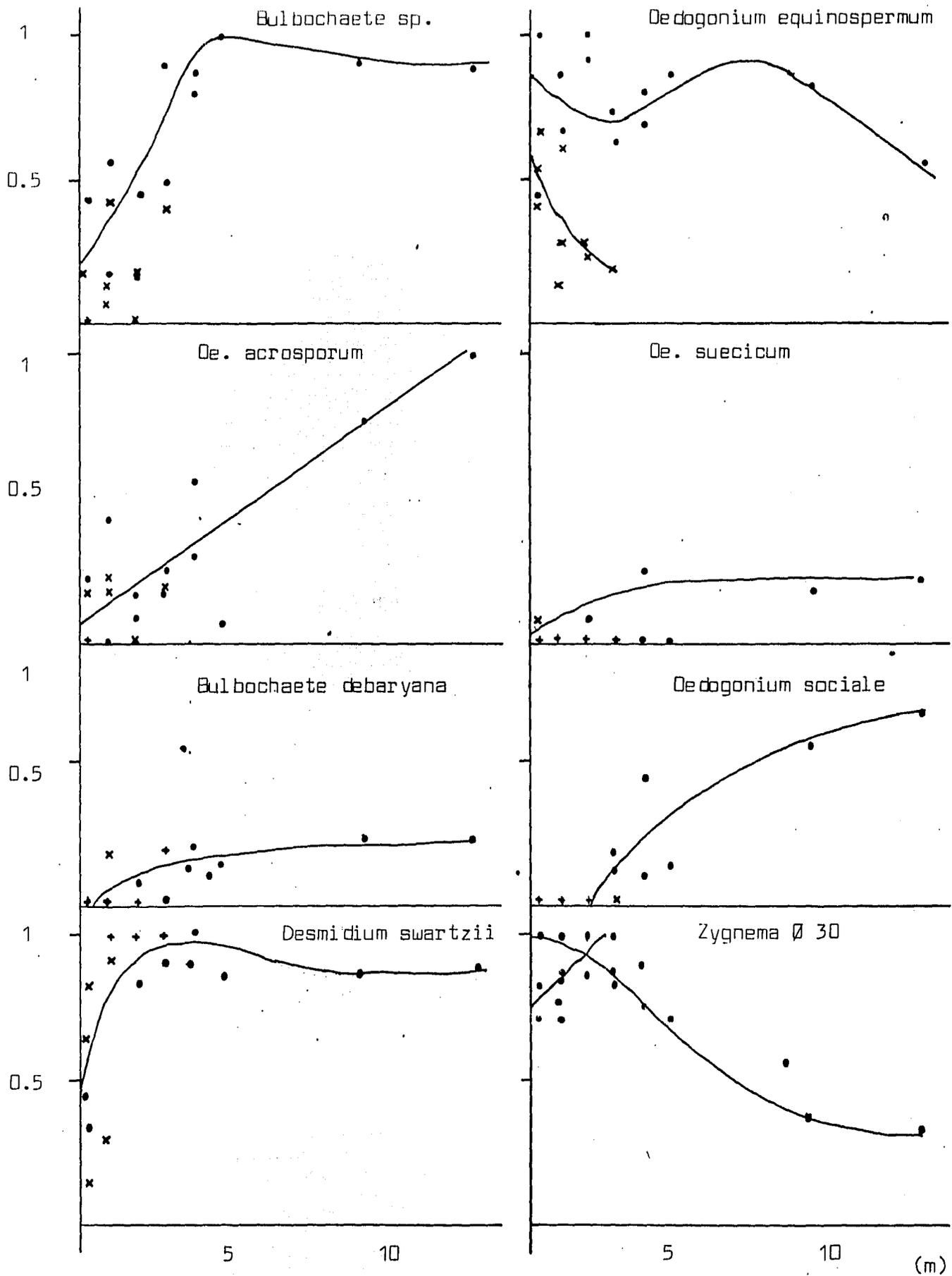


Figura 18. Frecuencias de aparición (fr. a.) de las especies respecto a la profundidad (P). Curvas ajustadas "a ojo".

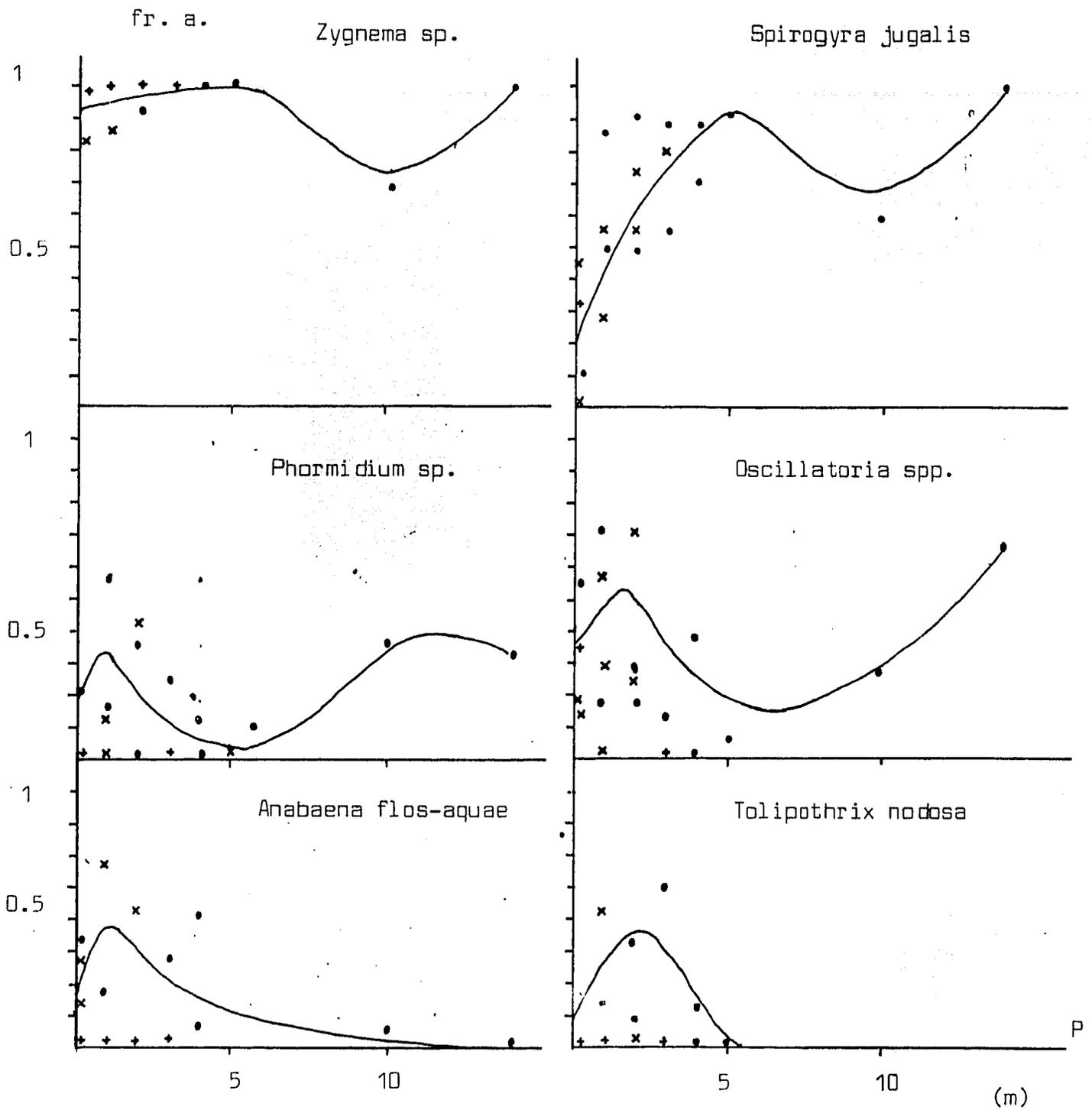


Figura 19. Frecuencias de aparición (fr. a.) de las especies respecto a la profundidad (P). Curvas ajustadas "a ojo".

tidades entre los 5 y 10 m, de la cual no se obtuvieron muestras del fitobentos. En esta área arenosa y profunda, aparentemente predominarían las Zygnematales, como ocurre en las áreas arenosas y someras, pero mientras que en éstas últimas predomina el género Zygnema, en las profundas aparentemente predomina el género Spirogyra.

b) Estructura morfológica.- En lo que se refiere a la comunidad vegetal, el presente estudio únicamente incluye a las algas bentónicas filamentosas, o sea, algas que presentan la estructura de tricoma, las formas heterotricas, y aquellas con forma ramificada o cladonio. (Feldmann, 1978), con excepción de Chaetosphaeridium pringsheimii, la cual es una epífita unicelular, constituida en cojinete mediante tubos gelatinosos (Bourrelly, 1972), y que resultó ser una especie mas bien rara en el lago. También se incluye a la hierbas acuáticas angiospermas.

c) Sistemática.- Las especies presentes en el lago, se incluyen en la Tabla 3. El ordenamiento de los grupos vegetales se realizó de acuerdo al sistema taxonómico de Bourrelly (1970 y 1972), para las algas, y Cronquist (1968), para las angiospermas. La identificación se realizó con base en estos dos autores, y además, con Correll y Correll (1975), Desikachary (1959), Prescott (1962), Ralfs (1848), Randawa (1959), Starmach (1966), Tiffany (1930), Witford y Schumacher (1969), y Wood e Imahori (1964).

Varias algas mostraron dificultad en su identificación dada la carencia de órganos reproductores, principalmente las Zygothyceae (c.f. Spirogyra). En las algas del género Zygnema es interesante resaltar

que presentaron una amplia gama de diámetros que van desde las  $8\mu\text{m}$  hasta las  $44\mu\text{m}$  y fueron muy abundantes. Los diámetros mas frecuentes fueron los de  $20\mu\text{m}$ ,  $30\mu\text{m}$ ,  $25\mu\text{m}$  y  $9\mu\text{m}$ , en orden de mayor a menor importancia. Los diámetros intermedios pudieran ser variaciones de las especies representadas por estos cuatro diámetros promedio.

Bajo el título de Spirogyra spp. (Tabla 3), se incluyeron cuanto menos diez "formas" diferentes, entre taxonómicas y ecológicas, que no pudieron identificarse debido a que se encontraron en estado estéril, lo cual parece ser regla general en lagos de aguas blandas (Prescott, 1962), y concuerda con la conclusión expuesta por Hoshow (1968), de que la riqueza en especies de Spirogyra es característica de los lagos templados y tropicales, concordantemente con el régimen de temperatura y radiación del "Lago El Sol".

d) Divisiones bionómicas.- En el plano horizontal, la distribución del fitobentos presentó las siguientes características. E. Brachysperma se encontró formando prados mas o menos densos en el sector IV. Su densidad disminuyó conforme se acerca a los sectores III y VII, para luego aumentar ligeramente hacia los sectores I y VI. Eleocharys sp. se encontró formando dos manchones de alrededor de  $40\text{ m}^2$  parcialmente sumergidos en el sector IV y en la isleta (Fig. 16).

Nitella sp. se encontró formando ceibadales mas o menos densos en la porción central y profunda del lago.

En el plano vertical, el análisis cuantitativo de las especies se

realizó con base en las frecuencias de aparición (fr. a) de cada especie, las cuales se calcularon siguiendo la fórmula:

$$\text{fr. a} = n_e / N, \text{ donde :}$$

$n_e$  = número de muestras en que se registró a la especie (e) en una estación, y  $N$  = número total de muestras obtenidas de la misma estación; así como en los promedios de abundancia relativa (a.r.) de acuerdo con la escala ordinal propuesta en el capítulo V. Los resultados se encuentran resumidos en la Tabla 4, y su comportamiento se describe en las figuras 17 a 21. Se puede hacer la suposición de que la frecuencia de aparición de una especie, representada en las "ordenadas" de las figuras 17 a 19, cuando el número de muestras tiende a infinito, es igual a la probabilidad de que la especie aparezca en el lugar de muestreo. Esta probabilidad será mayor cuando la especie sea más abundante y no se presente en forma de agregaciones (Kershaw, 1980). En otras palabras, a mayor frecuencia mayor abundancia.

La mayoría de las especies, presentaron curvas de frecuencia y abundancia similares, pero la primera es una medida más precisa de la dominancia, pues el valor que adopta depende más directamente de la abundancia de la especie y del tamaño de muestra, que del criterio del observador al asignarle un nivel en la escala utilizada (Kershaw, 1980).

Como se puede ver, en la mayoría de los casos incluidos en las figuras 17 a 19 la frecuencia es muy baja en el primer metro de profundidad,

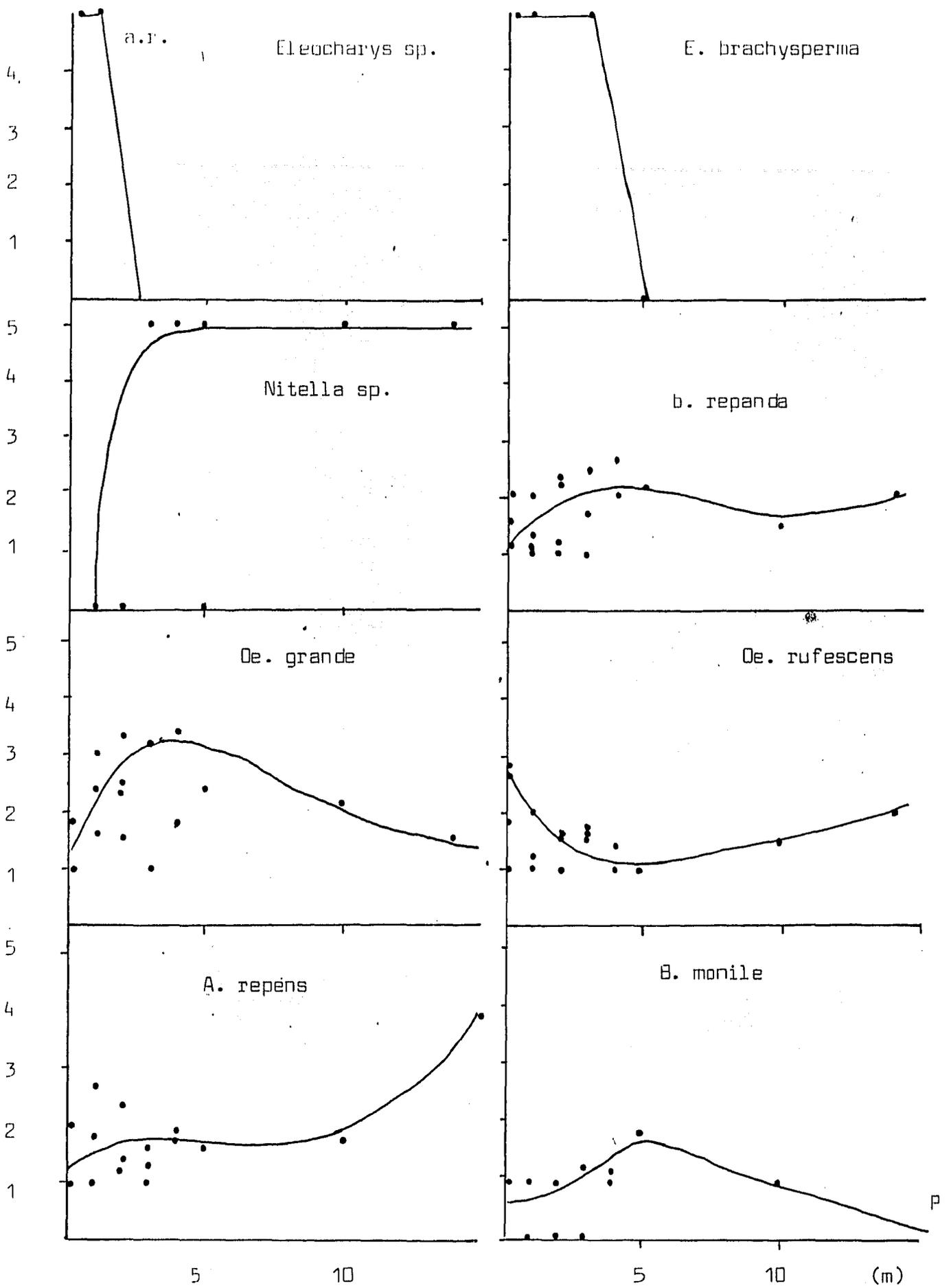


Figura 20. Promedios de abundancias relativas (a.r.) de las especies con la profundidad (P). Curvas ajustadas "a ojo".

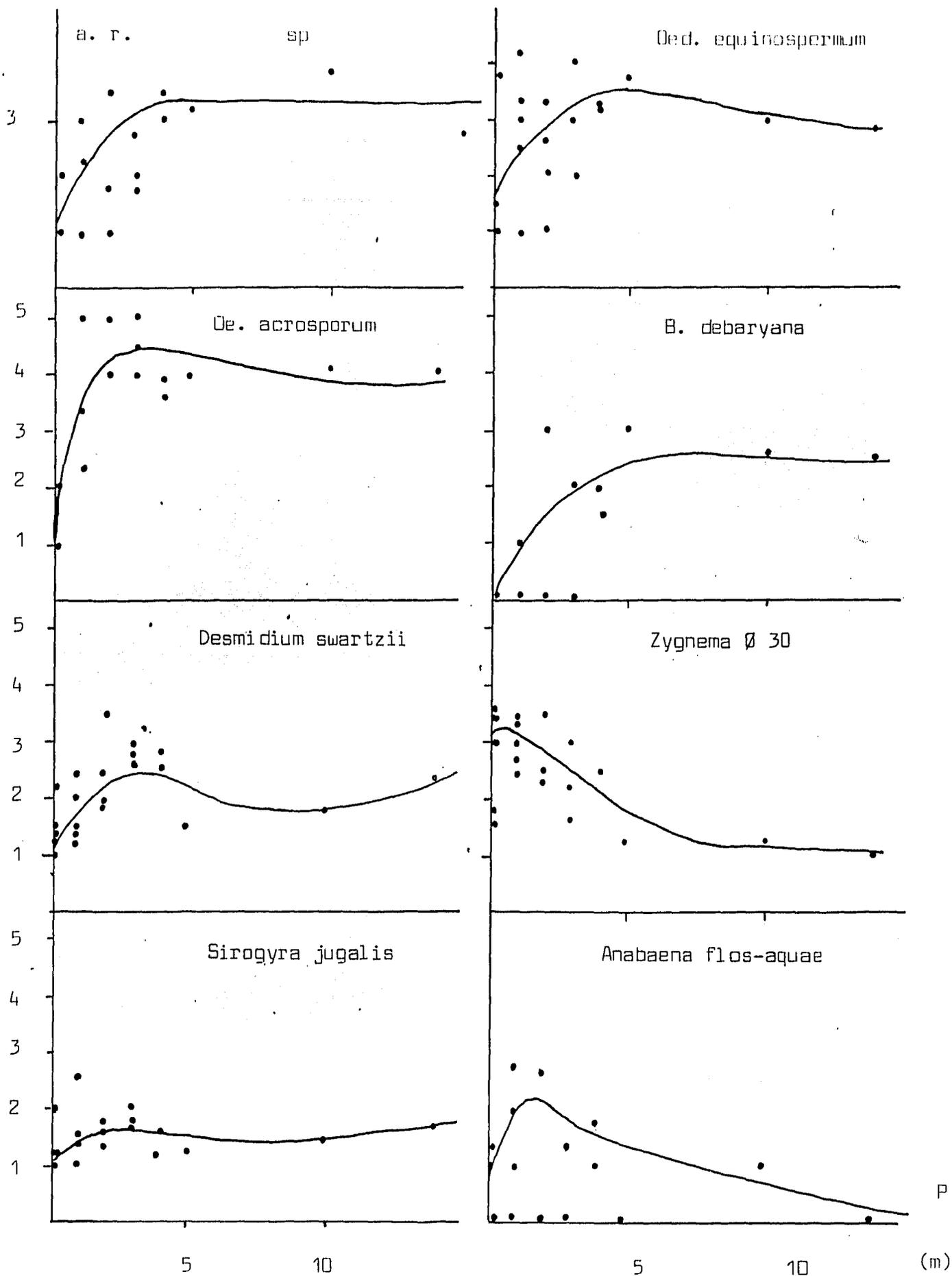


Figura 21. Promedios de abundancia relativa (a.r.) de las especies con la profundidad (P). Curvas ajustadas "a ojo".

en seguida comienza a crecer alcanzando un máximo a diferente profundidad para cada especie dentro del intervalo comprendido entre los 1 y 6 m. Cada curva (ajustada "a ojo" siguiendo la tendencia de los puntos), parece adoptar una forma gaussiana como teóricamente es de esperarse, cuando se estudia la sucesión de especies sobre un gradiente ambiental (Margalef, 1980; Round, 1983), en este caso la profundidad.

Según los resultados anteriores, la distribución vertical de la vegetación bentónica, se presentó en forma de bandas estratificadas que se superponen en mayor o menor grado.

La suma de la frecuencia de todas las especies en una estación dada, daría una estimación de la abundancia total de la vegetación en dicha estación. Este resultado se encuentra en la figura 22, y la curva resultante (también ajustada "a ojo"), parece adoptar una forma gaussiana con un máximo a los 4 m. Este comportamiento coincide con el obtenido por González (1982), y con las observaciones de Round, (1984), en diatomeas bentónicas. Dicho máximo, define una zona con condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de las algas, como parece demostrarlo el máximo, en la concentración de oxígeno disuelto en el agua cerca del fondo de la figura 13, y coincide con la profundidad a la que González (1984), encontró las máximas tasas de asimilación y fotosíntesis del fitoplancton.

Según Jassby y Platt (1976), en los cuerpos de agua existe una zona cuya iluminación permite la saturación de la tasa fotosintética; dicha

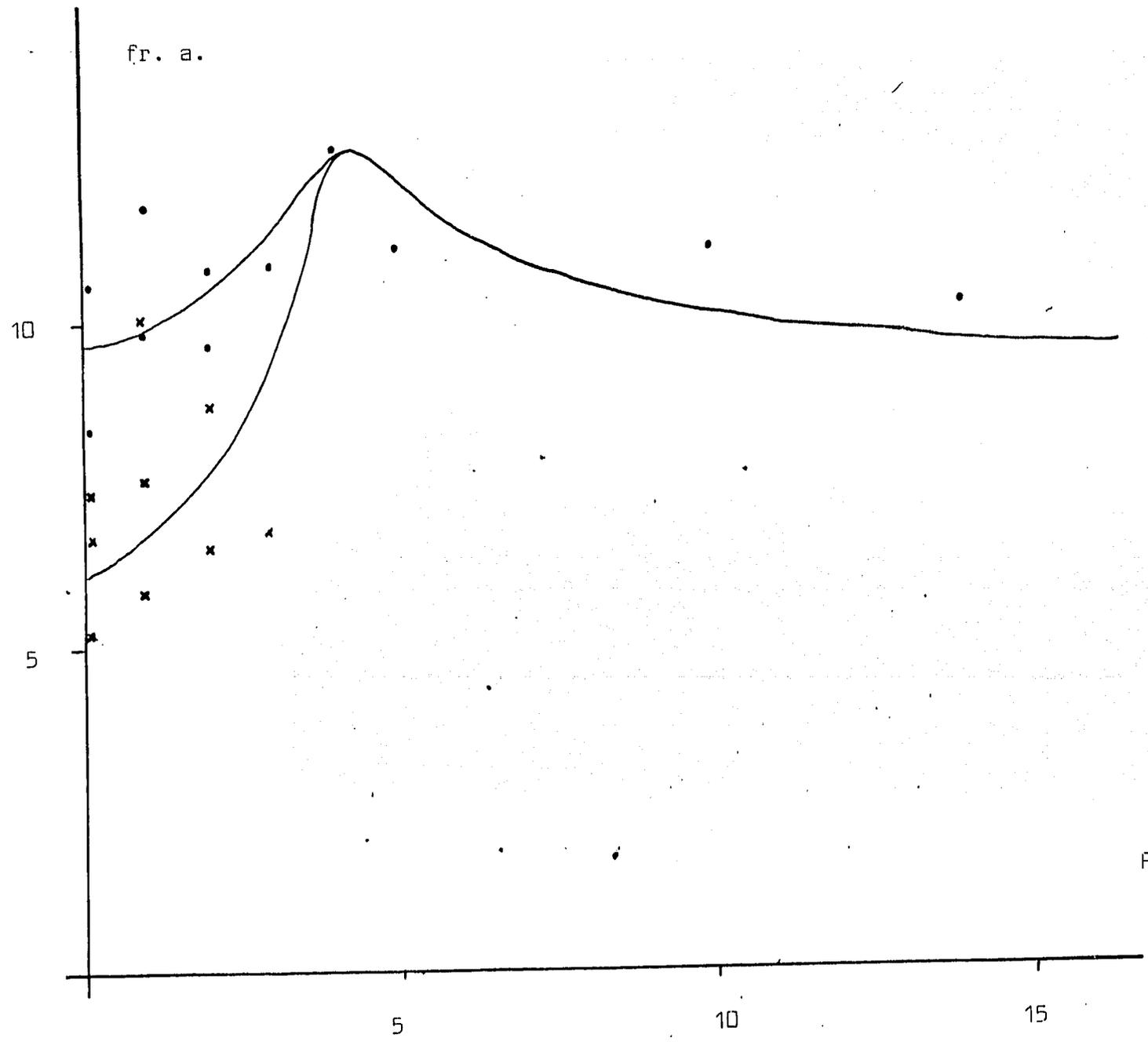


Figura 22. Distribución de las frecuencias de aparición acumuladas ( fr. a.) respecto a la profundidad (P). Curva ajustada "a ojo". Los puntos corresponden a la sumatoria de las frecuencias en cada área de muestreo ( ver leyenda en la parte inferior de la Tabla 4).

zona varía en profundidad conforme el sol se desplaza sobre el lago, y depende del grado de nubosidad. De aquí, que los máximos de oxígeno en profundidad varíen con la época del año y con la temperatura, pues ésta determina la intensidad luminosa de saturación de la fotosíntesis (Jorgensen y Steeman Nielsen, 1974). Pero, en promedio, la zona de saturación fotosintética debe encontrarse alrededor de los 4 m, y la cantidad de clorofila en el bentos, alcanzaría un máximo a ésta profundidad, la cual varía dependiendo de las características del lago; por ejemplo, sería mayor en lagos mas transparentes, como parece demostrarlo la concentración de clorofilas cerca de la superficie en función de la visibilidad del disco de Secchi (Carlson, 1977), y los resultados de Gons (1982), respecto a la producción primaria de las algas bentónicas evaluada mediante la concentración de clorofilas en función de la profundidad, y cuyo comportamiento es similar al de la figura 21.

No todas las especies presentaron una distribución gaussiana; algunas incrementaron su frecuencia con la profundidad, como Oedogonium acrosporum y O. sociale (Figs. 18 y 20) las cuales presentaron carácter esciáfilo. Otras presentaron carácter fotófilo, como las Zygnema (Figs. 18, 19 y 21), y finalmente, existen especies como Desmidium swartzii (Figs. 18 y 21), que son mas tolerantes a cambios ambientales de luz.

e) Reproducción.- Los procesos de reproducción observados se encuentran en la Tabla 5. Hasta donde se pudo constatar, las Oedogoniales presentaron estructuras de reproducción sexual, en general, durante todo el

Tabla 5. Periodicidad de algunas plantas y animales en el "Lago El Sol".

año	Nombre	1982									1983	
		a	m	j	j	a	s	o	n	d	m	a
7	Drap. glomer.		•	•		•						
10	Aph. repens	•	♀	•	•	•	•	♀	•		•	•
13	Bulboch. sp.	♀	•	•	•	•	•	♀	♀	•	•	•
14	B. debaryana	♀	•	•	•	♀	•	•	•		•	
15	B. monile	•	♂♀	•	•	•	•	•	♂♀		♀	
16	B. repanda	♂♀	♂♀	•	•	♂♀	♀	♂♀	♂♀	•	•	•
17	Oed. azrosp.	♀	♂♀	♀	♀	♀	♂♀	•	♀		♂♀	♀
18	C. acr. v. bath	•	♂♀	•	♂♀	•	•	♀	♀	•	•	•
19	O. equinosp.	♂♀	♀	•	♂♀	♀	♀	♀	♂	•		♂
20	O. flavescens	♂♀										
21	O. grande v.ang.	•	•	•	•	•	♀	•	♂		♂	•
22	C. magnusii	♀										
23	O. rufescens	♀	♀	♀	♀	♀	•	♀	•	•	•	•
24	C. sexangul.	♀	♀									
25	O. sociale	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♀	♂♀	•	•	•
26	O. succicum	♀	♀	♀				♀				
27	Cladophora sp.	•	•									
28-30	Zygnema spp.	A	•	A	•	•	•	A	•	•	•	•
32	Spir. jugalis	•	•	+ -	•	•	•	•	+ -	•	•	•
34	Epirog. stictic.		+ -	+ -		+ -		•				
36	Nitella sp.	♂	•	♂♀	♂♀	♂♀	♂♀	♂	♂♀		♂♀	♂♀
37	Elat. brachysp.	S	•	F	•	•	•	•	•	•		
38	Eleocharys sp.	•	•	•	•	•	S	S				
	V.R.	25	12	10	6	11	11	8	12		2	3
	Fauna				Verticellat, Hydras	Hydras		Ratiferus.	Cooperia, Cladocerus, Kutiferus, Anisobas, Episthis.			Episthis.

V.R. Veces que se presentó en reproducción A - Acineto

F - Flor

♀ - Oogonio y oospora

(+ -) - Conjugación, filamentos +, -, y zygospora.

S - Semilla

♂ - Anteridios y nanandros

• - Presencia

Ausencia

año, sin contar el invierno, o cuando menos la reproducción no se presentó claramente definida en una determinada época del año, como fue observado por Transeau (1916), de lo que se deduce que se produjeron varias generaciones traslapadas al año, pues las oozporas, una vez liberadas del oogonio, germinan inmediatamente (Transeau, op. cit.).

Las oedogoniales son algas que presentan una amplia distribución en el mundo. En zonas de mayor latitud tienen una época definida de reproducción que comprende mayo y julio en la región central nortea de los E.U.A., con un máximo secundario en octubre (Tiffany, 1930). En el lago "El Sol", se reprodujeron prácticamente durante todo el año, aunque con mayor frecuencia en abril y noviembre, un mes antes y un mes después que en mayores latitudes, lo que puede deberse a la diferencia de tiempo con que el sol alcanza cada latitud durante el ciclo anual, siendo por lo tanto la intensidad luminosa, la duración del fotoperiodo, y/o los cambios de temperatura los factores ambientales que controlan la aparición de la reproducción en estas algas (Fritsch y Rich, citados por Hoshow, 1968).

En general, todos los miembros de la familia Zygnemaceae no presentaron procesos de reproducción sexual, salvo Spirogyra jugalis, la cual se encontró conjugando en junio y noviembre y Sirogonium sticticum en mayo, junio y agosto. Sin embargo, fue frecuente la aparición de acinetos en el género Zygnema.

El periodo de reproducción sexual de Nitella sp. tampoco estuvo

limitado a una época del año, como es el caso de las traqueofitas acuáticas. E. brachysperma presentó floración y producción de semillas durante los meses de primavera; y en Eleocharys sp., se encontraron los raquis sin semillas a finales del verano y principios del otoño.

f) Periodicidad y tipos biológicos.- Transeau (1916), encontró que las algas de la familia Zygnemaceae y algunas Oedogoneaceae son anuales y periódicas, floreciendo en primavera, verano, otoño e invierno, dependiendo de la especie, hecho que explica la aparición de estas algas durante todo el año en el lago.

De acuerdo con la clasificación de Feldmann (1937), para las formas de vida de las algas, siguiendo una concepción original de Raunkier (1934), para clasificar las formas de vida de la vegetación terrestre, las algas encontradas en el lago pueden caer dentro de las siguientes clases:

Efemeroficeas: Algas anuales que se encuentran a través de todo el año; una o varias generaciones por año; esporas o cigotos que germinan inmediatamente, como por ejemplo : Aphanochaete repens, el género Bulbochaete, Oedogonium acrosporum, Spirogyra jugalis y Nitella sp.

Hipnoficeas: Algas confinadas a un período del año, presentes durante el otro período en un estado de reposo, como es el caso de Oedogonium flavescens, O. magnusii, O. sexangulare, Sirogonium sticticum, Draparnalia glomerata y Cladophora sp.

Sin embargo, este esquema requiere de más estudios sostenidos para el esclarecimiento de las identidades.

g) Subcomunidades, asociaciones y fitobentos.- Para formarse una imagen mas cercana a la realidad de la comunidad vegetal, se pueden construir tablas de asociaciones características de los hábitats de naturaleza comparable. Si bién la técnica de muestreo no permitió seleccionar con precisión dichos hábitats, las características de las angiospermas y de las algas observadas al microscopio, tales como presencia o ausencia de estructuras de fijación, epifitismo, etc., hicieron posible distinguir las subcomunidades de la Tabla 6 (c.f. Round, 1964). Durante el análisis, la mayor proporción de las especies incluidas se encontraron como epífitas sobre las plantas rizobentónicas, con las siguientes excepciones: Oedogonium rufescens y las Ulothricales, que se presentaron epifitando a los miembros del género Oedogonium, y los integrantes del Orden Zygnematales, los cuales no se encontraron como epífitos, asi como Bulbochaete repanda y Oedogonium grande var. augustum.

Las dos traqueofitas y la Nitella sp. fueron las únicas plantas rizobentónicas del lago, mismas que sostienen una gran cantidad de algas epífitas, siendo ésta última especialmente importante en las zonas profundas, a partir de los 3 m., donde las traqueofitas no alcanzan a llegar. E. brachysperma, sirve de sústrato al conjunto de especies epífitas del género Oedogonium, y se obtuvieron una gran cantidad de individuos del género Zygnema entreverados con ésta traqueofita en las muestras que la contienen.

Aparte de la Nitella sp., la biomasa vegetal del lago estuvo do-

Tabla 6. Clasificación en subcomunidades acorde al sustrato del fitobentos del "Lago El Sol", siguiendo los criterios de Round (1964, 1983)

Rizobentos	Epipelon	Metafiton	Epiliton	Epifiton
<p>Elatine brachsp<sup>er</sup>ma  Eleocharys sp.  Nitella sp.</p>	<p>Oscillatoria spp.  Anabaena flos-aquae form. flos-aquae.  Desmidium swartzii  Zygnema spp.</p>	<p>Bulbochaete repanda  Oedogonium grande  Zygnema spp.  Spirogyra jugalis  Spirogyra spp.  Mougeotia spp.  Sirogonium sticticum</p>	<p>Draparnaldia glomerata  Cladophora sp.  Zygnema spp.</p>	<p>Pseudoendoclonium sp  Aphanochaete repens  Chaetosphaeridium pringsheimii  Bulbochaete sp.  Bulbochaete monile  Bulbochaete debaryana  Oedogonium acrosporum var. bathm.  O. equinospermum  O. flavescens  O. magnusi  O. rufescens  O. sociale  O. suecicum  Tolypothrix nodosa  Nostoc caeruleum  Phormidium sp.</p>

minada por las especies de la familia Oedogoneaceae y el género Zygnema. Estas últimas se consideraron como integrantes del metafiton según los criterios de Round (1964), en relación con los ceibadales de Nitella.sp.; como miembros del epipelon en las áreas arenosas, y debido a que pueden desarrollar rizoides (Chadefaux, 1960), también se les incluyó en el epilíton (Round, 1964), independientemente de que nunca se les observó epifitando a otras especies. En el metafiton también se incluyeron a Bulbochaete repanda y Oedogonium grande var. augustum, que al igual que las zygnemates presentaron su mayor frecuencia de aparición entre los 1 y 3 m de profundidad (Figs. 17 y 20).

Desmidium swartzii, junto con las Oscillatoria spp. y Anabaena flos-aquae form. flos-aquae, se consideraron miembros del epipelon, siguiendo los criterios de Round (1964).

La mayoría de las especies de Oedogonium y Bulbochaete se encontraron como epífitas, con excepción de las especies antes descritas. El sustrato para estas formas lo constituyeron las especies rizobentónicas.

Finalmente, en el epilíton encontramos tanto a los miembros de Zygnema spp., como a Chladophora sp. y Draparnaldia glomerata.

Según la frecuencia que presentaron las especies en función de la profundidad, fue posible distinguir algunas asociaciones entre ellas. El elemento más importante en las zonas someras, lo constituyen los prados

de Elatine brachysperma, mientras que el elemento central, a partir de los 4 m. hasta la máxima profundidad (~ 14 m), son los ceibadales de cladomios efemeroficeos de Nitella sp. Junto a esta, en las diferentes profundidades encontramos como las mas importantes:

Prof. (m)	Rizobentos	Epifiton	Metafiton	Epipelon	Epiliton
14	Nitella sp	Bulbochaete sp. B. debaryana Oedogonium acrosporum O. suecicum O. sociale Phormidium sp. Aphanochaete repens Chladophora sp.	O. grande v. a. Spirogyra jugalis	Desmidium swartzii Oscillatoria spp.	Chladophora sp.
10	Ibid.	O. rufescens Bulgochaete sp. O. equinospo- rum O. acrosporum B. debaryana O. suecicum O. sociale Phormidium sp.	O. grande v. a. S. jugalis	D. swartzii	

Prof (m)	Rizobentos	Epifiton	Metafiton	Epipelon	Epiliton
	Ibid	A. repens B. monile Bulbochaete sp. O. equinos- permum O. suecicum Binuclearia sp. Ch. prings- heimii.	B. repanda O. grande v. a. Zygnema spp. S. jugalis	D. swartzii	Draparnalia glomerata
5					
	Elatine Braquisperma	O. rufescens O. equinos- permum Phormidium sp. Tolypothrix nodosa	B. repanda O. grande v. a. Zygnema spp.	D. swartzii Oscillatoria sp. Anabaena flos-aquae	
1					

#### h) Diversidad, florística y elementos florísticos .-

α) Diversidad. El producto fr. a. se podría considerar como una medida de la diversidad similar al índice de diversidad de Shannon (Shannon y Weaver, 1949), bastando multiplicar las frecuencias relativas por cien, y el producto por su logaritmo. La forma de la curva es paralela a la figura 21. Este resultado debe tratarse con mucho cuidado, debido a la incertidumbre que produce en la diversidad las formas algales determina-

das y que se incluyen bajo el título de spp. en la Tabla 3, sobre todo en el caso de los géneros Oscillatoria y Spirogyra, excepto en el género Zygnema, del cual fue posible separar a las especies en cuatro grupos de acuerdo con el diámetro de los filamentos presentes. Sin embargo, esto no quiere decir que los cuatro grupos representen a cuatro especies, sino simplemente que la incertidumbre en torno al número de especies disminuye.

Vista globalmente, la diversidad constituye una unidad que caracteriza al lago dependiendo del grado de anisotropía del ecosistema lacustre, o sea, la riqueza de hábitats que puede presentar (Wetzel, 1975), y del tamaño del cuerpo de agua. En "El Sol", la cantidad de hábitats, está determinada por los limitados tipos de sustratos presentes (Fig. 3), y las ligeras irregularidades del fondo (Fig. 2), que representan a un hábitat relativamente homogéneo y de pequeño tamaño. En otras palabras, si el lago presenta mayor variación en cuanto al tipo de sustratos y batimetría, y tuviera mayor tamaño, contendría un mayor número de especies, lo que se traduce en una mayor diversidad. Sin embargo, estudios posteriores incrementarán el número de especies registradas en este lago.

Cerca de la superficie, la diversidad presentó diferentes grados en los diferentes sectores, siendo en general menos diversas las localidades arenosas (lado derecho de la Tabla 4). También en general, conforme aumenta la profundidad, la diversidad se incrementó hasta el primer metro, exceptuando el sector 1, donde disminuyó hasta los 2 m, a partir de los cuales aumenta. Esta disminución pudiera relacionarse con la dis-

continuidad de los sedimentos que aparece en esta localidad, y al efecto de las corrientes determinadas por la orientación y geometría del lago. El incremento en la diversidad a partir de los dos metros, pudiera estar determinando por la aparición de Nitella sp., pues sirve de sustrato a un importante número de especies.

(3) Florística y elementos florísticos.- La flora encontrada durante el tiempo que duró el estudio, en general presentó similitud con la flora algal de los lagos alpinos estudiados por Taylor (1926) en e.u.a., y Thomasson (1956), en los lagos alpinos europeos, y con la flora algal sésil de agua corriente de las altas montañas europeas (Kawecka, 1980).

Bulbochaete monile es una especie que ha sido encontrada en zonas alpinas de E.U.A., junto con Nostoc coeruleum, Anabaena flos-aquae f. flos-aquae y Draparnaldia glomerata.

Desmidium swartzii es una especie cuya aparición se encuentra vinculada a lagos con aguas templadas y blandas, como parecen sugerirlo los trabajos de Woelkerling y Gough (1976), en lagos de Wisconsin, de Whitford y Schumacher (1969), en lagos de Carolina del Norte (U.S.A.), y de Ralfs (1848), en aguas europeas.

El carácter invernal asignado por Transeau (1916) a Oedogonium rufescens establece la relación existente entre esta especie y las aguas con bajas temperaturas.

De las especies encontradas en el "Lago El Sol", que hayan sido previamente registradas en México, sólo encontramos a Nostoc caeruleum y Sirogonium sticticum (Ortega, 1984), éste último presenta una distribución muy amplia, mientras que el primero sólo se ha reportado en la Laguna Victoria, en una zona cercana al Nevado de Toluca, pero a menor altura (~ 2,600 m s.n.m.).

Por último, cabe hacer la observación de que el "Lago El Sol" debido a sus características ecológicas y biológicas representa una reserva única en México, la cual vale la pena hacer el esfuerzo por conservar en condiciones naturales, evitando la perturbación que produce en este ecosistema la actividad humana, e incrementando los estudios en esta zona de manera que ofrezcan un conocimiento mas profundo, que sirva como punto de comparación de los cuerpos de agua de las zonas bajas del país.

## CONCLUSIONES

- Si bien el clima en el cráter se considera isoterma en base a los promedios mensuales, las diferencias de temperaturas en el día superaron los 20 °C en abril de 1983, y fueron mayores de 10 °C en verano.
- El régimen de radiación es característico de las zonas tropicales, pero la temperatura promedio del aire se aproximó más a la de regiones templadas de mayores latitudes (aproximadamente 45° N).
- A pesar de que las elevaciones que rodean al lago reducen el periodo de insolación, la radiación incidente es más intensa, y debido al alto presupuesto de calor anual del lago de 6 Kcal/cm<sup>2</sup>, se infiere que el lago es relativamente profundo.
- La mayor parte de la precipitación, se registró durante los meses de julio a septiembre, y en total fue de 1,067 mm. Las lluvias dentro del cráter, finalmente inciden en el lago mediante las escurrientías. Sin embargo, la evaporación superó a la precipitación en 7 mm, lo que contribuyó a la disminución del nivel del lago.
- Las altas velocidades del viento la mayor parte del año, junto con los grandes cambios de temperatura entre el día y la noche, mantienen un mezclado continuo de éste cuerpo de agua, lo que resulta típico de lagos situados a grandes alturas en las regiones intertropicales.

- La concentración de bióxido de carbono fue alta, con 1 mg/l, y acorde al pH promedio, de 6.96, predomina en forma de bicarbonatos.

Los valores ligeramente alcalinos de pH durante la primera mitad del año, y ácidos durante la segunda, coincidieron con los ciclos fotosintéticos y respiratorio de la comunidad.

- Debido a que el área de drenado dentro del cráter es pequeña, el aporte de sólidos es bajo y consecuentemente la conductividad (19.6 uS), lo que se traduce en una alta transparencia de las aguas cuya zona eufótica se extiende hasta la máxima profundidad (~ 14 m).

- La concentración de oxígeno disuelto fue alta, con un promedio anual de 7.4 mg/l, y un nivel de saturación de 105%. Además, guardó una relación inversa con la temperatura del agua, alcanzando un máximo a los 4 m de profundidad en la mayoría de los meses.

- El incremento en la precipitación, señaló un efecto directo en la concentración de solutos como los sulfatos, con 4.7 mg/l en promedio, y la dureza con 4.3 mg/l promedio referido como  $\text{CaCO}_3$ , cuyos máximos se presentaron simultáneamente. Estas concentraciones y la presencia de ciertos organismos como Desmidium, Euastrum y Closterium juntos, son características de aguas blandas.

- La concentración de nutrimentos dependió del nivel de precipitación, sobre todo de los nitratos y los fosfatos que, respectivamente alcanzaron sus máximos en septiembre y junio con  $1.46 \mu\text{g At N-NO}_3/\text{l}$  y 0.3

$\mu\text{g At P-PO}_4/1$ . Este último, parece ser el factor limitante de la producción en el lago, y sus bajas concentraciones parecieron determinar la presencia de ciertas algas bentónicas como Nitella sp., Aphanochaete repens, Desmidium swartzii y la fitoplanctonte Dinobryon.

- El amonio alcanzó su máximo en diciembre con  $1.26 \mu\text{g At N-NH}_4/1$ , correspondiendo con la mortandad de la comunidad lacustre debido al descenso de la temperatura; mientras que los nitritos se presentaron como residuos invernales. El incremento en amonio marcó la aparición de Anabaena flos-aquae form. flos-aquae, lo que pudiera ser un indicador de los requerimientos del nutrimento para esta alga.

- En su conjunto, las características que presentó el lago como son: el mezclado total de las aguas; la alta transparencia y saturación de oxígeno; la baja salinidad y concentración de nutrimentos; así como la presencia de determinados organismos, permitieron asignarle al lago un alto grado de oligotrofia.

- La distribución de las tres únicas especies rizobentónicas del lago: Eleocharys sp., Elatine brachysperma y Nitella sp. parece obedecer a la distribución de los sedimentos en el lago, encontrándose las dos primeras en las zonas arenosas a no más de 3 m de profundidad, y la tercera sobre sustrato lodoso por debajo de los 3 m. Mientras que la gran mayoría de las especies se encontraron como epífitas de éstas, obedeciendo su distribución a otros factores ambientales como la luz, la temperatura, y la competencia por el sustrato, que determinan en el lago una zona con con-

diciones óptimas para el desarrollo de algas bentónicas alrededor de los 4 m de profundidad, como parece demostrarlo la concentración de oxígeno disuelto en el agua cerca del fondo, y la curva de  $\Sigma$  fr. a., la cual es una medida de la diversidad bentónica algal.

- Se apreciaron una alta incidencia de especies y abundancia en las zonas del lago con mayor pendiente en el fondo y profundidad, que en las zonas someras con pendiente leve, aparentemente debido a la velocidad de las corrientes superficiales, y los efectos limitantes del exceso de radiación y los pronunciados cambios de temperatura entre el día y la noche.

- En el plano vertical, las algas mostraron una sucesión de especies, que comenzó en la zona superficial con la presencia de especies fotófilas como Zygnema y Tolypothrix nodosa, siguiendo en forma consecutiva los máximos de presentación para las diferentes especies, pero en general, la biomasa vegetal del bentos estuvo dominada por la Nitzschia, el género Zygnema y la familia Oedogoneaceae.

## LITERATURA CITADA

- Alcocer, D. J., 1980. Aportaciones limnológicas al estudio del "Lago del Sol" y "Lago de la Luna", Nevado de Toluca, Edo. de Mex. Servicio Social, Licenciatura en Biología. Ciencias Biológicas y de la Salud, Depto. de Zootecnia, U.A.M.-I.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y C. Aguilar-Díaz. (en prensa) Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. 1a. Reunión hidrobiológica "Alejandro Villalobos".
- Beck, H., 1971. Alexander Von Humboldt. Fondo de Cultura Económica. México. 491 p., 28 lam.
- Beyers, R.J., 1974. The pattern of photosynthesis and respiration in laboratory microecosystems. In: Goldman, C. R. (Ed). Primary productivity in aquatic environments. Univ. of Calif. Press U.S.A. 3a. Ed: 37 - 46.
- Bloomfield, K. y S. Valastro, 1974. Late pleistocene eruptive history of Nevado de Toluca volcano, central México. Geol. Soc. America Bull. 85 : 901 - 903.

- Bourrelly, P., 1970. Les algues d'eau douce. Initiation a la systématique. Tome III: Les algues bleues et rouges. Editions N. Boubée et Cie. Paris.
- Bourrelly, P., 1972. Les algues d'eau douce. Initiation a la systématique. Tome I.: Les algues vertes. Editions N. Boubée et Cie. Paris 572 p.
- Brylinsky, M. y K. H. Mann., 1973. An annalysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. and Oceanogr.* 18 (1) : 1 - 14.
- Budiko, M. I., 1974. Climate and life. Academic Press. New York.
- Carlson, R. E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. and Oceanogr.* 22 (2) : 361 - 369.
- Chadefaux, M. y L. Emberger,, 1960. Traité de botanique Systématique. Tome I: Les végétaux non vasculaires. Cryptogamie. Masson et Cie. (Ed.). Paris. 1,018 p.
- Correll, D. S. y H. B. Correll, 1975. Aquatic and wetland plants of Southwestern United States. Standford Univ. Press. Vol. II. 1145 p.
- Court, A., 1974. The climate of the Conterminous United

- States. In: Bryson, R. A. y F. K. Hare (Eds.).  
World survey of climatology. Vol. 11 : Climates  
of North America. Elsevier Scientific Publ. Co.
- Cronquist, A., 1968. The evolution and classification of  
flowering plants. William C. Steere (Ed.).  
Thomas Nelson (Printers) Ltd. Great Britain
- Desikachary, T. V., 1959. Cyanophyta. Published by Indian  
Council of Agricultural Research. New Delhi.  
686.p.
- Dullfus, A. y E. de Montserratt, 1884. Nevado de Toluca  
(Excursión). La naturaleza 6(1a. serie) :  
27 - 31.
- Dussart, B., 1966. Limnologie. L' etude des eaux continen-  
tales. Gauthier-Villars. Paris. 677 p.
- Eriksson, E., 1963. The yearly circulation of sulphur in  
nature. J. Geoph. Res. 68 (13) : 4001 - 4008.
- Fee, E. J., 1973. A numerical model for determining integral  
primary production and its application to lake  
Michigan. J. Fish. Res. Bd. Can. 30 : 1447 -  
1468.
- Feldmann, J., 1937. Recherches sur la végétation marine

de la Méditerranée. Rev. Algol. 10 : 1 - 339

- Feldmann, J., 1978. Les algues. In: Abbayes, H de et al.  
(Eds.). Précis de Botanique, Tome I. : 95 - 320.
- Feth, J. H., 1966 Nitrogen compounds in natural waters.  
A review. Water Resour. Res. 2 (1) : 41 - 58.
- Fogg, G. E., 1962. Nitrogen fixation. In: Lewin, R. A. (Ed).  
Physiology and Biochemistry of Algae. Academic  
Press. p. 161 - 168.
- Gates, D. M., 1980. Biophysical Ecology. Springer-Verlag.  
New York Inc. 611 p.
- Godward, M., 1937. An ecological and taxonomic investigation  
of the littoral algal flora of lake Windermere.  
J. Ecol. 25 : 496 - 568.
- Gons, H. JH, 1982. Structural and functional characteristics  
of epiphyton and epipelon in relation to their  
distribution in Lake Wechten. Hydrobiologia.  
95 : 79 - 114.
- González, V. R., 1984. Estudio de la productividad primaria  
del "Lago El Sol" en el volcán Nevado de Toluca,  
Edo. de México. Tesis de Licenciatura. Fac. de  
Ciencias, U.N.A.M. 53 p.

- Gorham, E., 1961. Factors influencing supply of mayors ions to inland waters, with special reference to the atmosphere. Geol. Soc. of Am. Bull. 72 : 795 - 840.
- Gorham, E., 1969. Morphometric control of annual heat budgets in temperate lakes. Limnol. and Oceanog. 9 : 525 - 529.
- Hadley, E. B. y L. C. Bliss, 1964. Energy relationships of alpine plants on Mt. Washington, New Hampshire. Ecol. Monogr. 34 : 331 - 357.
- Harris, G. P. y J. N. A. Lott, 1973. Light intensity and photosynthetic rates in phytoplankton. J. Fish. Res. Bd. Can. 30 : 1771 - 1778.
- Holmes, A., 1960. Geología física. Barcelona. Editorial Omega. 512 p.
- Hoshow, R. W., 1968. Biology of filamentous conjugating algae. In: Jackson, D. F. (Ed.). Algae, man and environment. Syracuse Univ. Press. p. 135 - 184.
- Hutchinson, G. E., 1975. A treatise on limnology. Vol. I - III John Wiley and Sons.

- Jassby, A. D. y T. Platt, 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. Limnol. and Oceanogr.
- Johnson, P. L. y W. D. Billings, 1962. The alpine vegetation of the Beartooth Plateau in relation to tectonic processes and patterns. Ecol. Monogr. 32 : 105 - 135.
- Kawecka, B., 1980. Quantitative and dynamic plant ecology. 2nd. Ed. Edward Arnold Publ. Lim. London. 308 p.
- Kuhl, A., 1962. Inorganic phosphorus uptake and metabolism. In: Lewin, R. A. (Ed.). Physiology and biochemistry of algae. Academic Press. p. 211 - 224.
- Kumar, H. D. y H. N. Singh, 1979. A textbook on algae. 2nd. Ed. The Mc Millan Press Ltd. 216 p.
- Kusel - Fetzmann, E., 1973. Beitrage zur Kenntnis der algen flora der hochgebirge Zentralamerikas und der Nordlichen Anden. Hochgebirgstersorschung, Heft 3, 5. 29 - 68.
- Lean, D. R. S., 1973. Movements of phosphorus between its biologically important forms in lake water. J. Fish. Res. Bd. Can. 30 (10) : 1525 - 1536.

- Likens, G. E. y F. Herbert - Bormann, 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. Bioscience. 24 (8) : 447 - 456.
- Margaleff, R., 1980. Ecología. Ed. Barcelona. 951 p.
- McCombie, A. M., 1959. Some relations between air temperatures and the surface water temperatures of lakes. Limnol. and Oceanogr. 4 : 252 - 258.
- Moore, J. W., 1979. Distribution and abundance of attached, littoral algae in 21 lakes and streams in the Northwest Territories. Can. J. Bot. 57(6):568-577.
- Morel, A. y R. C. Smith, 1974. Relation between total quanta and total energy for aquatic photosynthesis. Limnol. and Oceanogr. 19 (4) : 561 - 600.
- Mosifio, A. P. A. y E. García., 1974. The climate of México. In: Bryson, R.A. y F. K. Hare (Eds.). World survey of climatology. Vol. II: Climates of North America. Elsevier Scientific Publ. C6.
- Moss, B., 1972. The influence of environmental factors on the distribution of freshwater algae : An experimental study, III. J. Ecol. 61 : 179 - 192.

- Mueller - Dombois, D., 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley and Sons, New York. 547 p.
- Ortega, G. M. M. (en prensa). Catálogo de algas continentales recientes de México. U.N.A.M. (en prensa).
- Ralfs, J., 1848. The british Desmidiaceae. Reprint 1972. Verlag Von J. Cramer. Wheelton and Wesley Ltd. New York, N. Y. 226 p. 35 lam.
- Randawa, M. S., 1959. Zygnemaceae. Published by Indian Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Reid, G. K. y R. D. Wood., 1976. Ecology of inland waters and estuaries. Second Ed. Van Nostrand Reinhold Company. 485 p.
- Rodier, J., 1981. Análisis de las aguas. Ediciones Omega. S.A. Barcelona. 1059 p.
- Romero, J., 1959. El volcán Xinantecatl, toponimia. Ed. Gob. Edo. de México.
- Round, F. E., 1964. The ecology of benthic algae. In: Jackson, D. F. (Ed.). Algae and Mem. Plenum Press. New York. p. 138 - 184.

- Round, F. E., 1965. The biology of the algae. Edward Arnold (Publishers) Ltd. London. 269 p.
- Round, R. E., 1981. The ecology of algae. Cambridge Univ. Press. New York, N. Y. 653 p.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México. Limusa, México. 432 p.
- Scott, D. y W. D. Billings., 1964. Effects of environmental factors on standing crop and productivity of an alpine tundra. Ecol. Monogr. 34 : 243 - 270.
- Shanon, C. E. y W. Weaver., 1949. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press. Urbana. 125 p.
- Shubert, L. E. (Ed)., 1984. Ecological indicators. Academic Press. 434 p.
- Starmach, K., 1966. Flora słodkowodna polski. Tomo II : Cyanophyta - Sinice; Glaucophyta - Glaukofity. Polska Akademia Nank, Instytut Botaniki. Warszawa. 807 p.
- Stewart, K. M., 1973. Detailed time variations in mean

- Temperature and heat content of some Madison Lakes. Limnol. and Oceanogr. 18 (2) : 218 - 226.
- Strickland, J. D. H. y T. R. Parsons., 1968. A practical handbook of sea water annalysis. Fish. Res. Can. Ottawa. 172.
- Syrett, P. J., 1962. Nitrogen assimilation. In: Lewin, R. A. (Ed). Physiology and biochemistry of algae. Academic Press. p. 171 - 183.
- Talling, J. F., 1962. Freswater algae. In : Lewin, R. A. (Ed.). Physiology and biochemistry of algae. Academic Press. p. 743 - 752.
- Taylor, W. R., 1926. The alpine algal vegetation of mountains of British Columbia. Proc. Acad. Nat. Sci. Phil. 80 : 45 0 114.
- Thomasson, K., 1956. Reflections on arctic and alpine lakes. Oikos. 7 (1) : 119 - 143.
- Tiffany, L. H., 1930. The Oedogoniaceae. A monograph. Published by the autor. Columbus, Ohio. 253 p.
- Tilzer, M. M., 1973. Diurnal periodicity in the phytoplankton assemblage of a high mountain lake. Limnol. and

Oceanogr. 18 (1) : 15 - 30.

- Transeau, E. N., 1916. The periodicity of freshwater algae.  
Am. J. Bot. 3 : 123 - 133,
- Tricart, J., 1963. Géomorphologie des régions froides.  
Paris Presses Univ. France.
- Villalpando, G., O. K., 1968. Algunos aspectos ecológicos del volcán Nevado de Toluca. Tesis profesional  
Fac. de Ciencias, Depto. de Biología. UNAM.
- Welch, P., 1952. Limnology. McGraw - Hill Co. (Ed.), N.Y.  
381 p.
- Wetzel, R. G., 1975. Limnology. Saunders College Publishing.  
Philadelphia. 743 p.
- Wetzel, R. G. y G. E. Likens., 1979. Limnological analysis.  
W. B. Saunders Company. 353.p.
- Whitford, L. A. y G. J. Schumacher, 1969. A manual of the fresh-water algae in North Carolina. Tech.  
Bul. No. 188. Published by The North Carolina Agricultural Experiment Station.
- Woelkerling, W. J. y S. B. Gough., 1976. Wisconsin Desmids.  
III. Desmid community composition and distribution

in relation to lake type and water chemistry.  
Hydrobiologia. 51 (1) : 3 - 32.

Wood, R. D. y K. Imahori., 1964. A revision of the  
Characeae. Second Part.: Iconograph of the  
Characeae. Weingheim. Verlag von J. Cramer  
With 394 icones.

Yoshitake, S., 1981. Interrelation between plankton and  
benthos in the littoral algal community of  
lake Yunoko, Central Japan. Hydrobiologia.  
83 : 275 - 281.