

*JOHN CH. DONATO RONDON
LUZ ESTELA GONZALEZ G.
CLAUDIA LILIANA RODRIGUEZ M.*



**ECOLOGIA DE DOS
SISTEMAS ACUATICOS
DE PARAMO**

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES
COLECCION JORGE ALVAREZ LLERAS No. 9

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES
COLECCION JORGE ALVAREZ LLERAS No. 9



ECOLOGIA DE DOS SISTEMAS ACUATICOS DE PARAMO

John Ch. Donato Rondón
Luz Estela González G.
Claudia Liliana Rodríguez M.

Facultad de Ciencias - Departamento de Biología
Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS)
Pontificia Universidad Javeriana

SANTAFE DE BOGOTA, D.C. - COLOMBIA
1996

© Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
 Cra. 3A No. 17-34, Piso 3o. - Apartado 44763 - Fax (571) 2838552
 E.mail accefyn@colciencias.gov.co
 Primera Edición, 1996 - Santa Fe de Bogotá, D.C. - Colombia

© John Ch. Donato Rondón
 Luz Estela González G.
 Claudia Liliana Rodríguez M.

Reservados todos los derechos. Este libro no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización.

Presidente de la Academia : Luis Eduardo Mora-Osejo
 Director de Publicaciones : Santiago Díaz-Piedrahita
 Comité Editorial : Eduardo Brieva Bustillo
 Período 1994 - 1996 : Gonzalo Correal Urrego
 : Hernando Dueñas Jiménez
 : Paulina Muñoz de Hoyos
 : Gerardo Pérez Gómez
 : Víctor Samuel Albis González

"Convenio Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia y la tecnología "Francisco José de Caldas" (COLCIENCIAS)- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B)- Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (INDERENA)-UNIVERSIDAD JAVERIANA (proyecto COLCIENCIAS No. 1203-05-013-87)"

ISBN: 958-9205-20-6 (Volumen)
 ISBN: 958-9205-19-4 (Obra completa)

Clasificación Dewey: 574.5 D66
 Materias: 1. Limnología 2. Laguna de Chingaza (Colombia) 3. Laguna de Chuza (Colombia) 4. Páramos I.

Autoedición e Impresión:
 EDITORA GUADALUPE LTDA.
 Apartado 29765 - Tel.: 269 07 88, Santa Fe de Bogotá, D.C.
 Impreso en Colombia/Printed in Colombia

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	9
CARTA DE PRESENTACION	10
PROLOGO	11
RESUMEN	12
CAPITULO I	
INTRODUCCION	13
A. ANTECEDENTES	15
1. TRABAJOS PARA COLOMBIA	15
B. MARCO TEORICO	17
1. FUNDAMENTO	18
a. Cyanophyceae (Nostocophyceae)	18
b. Chlorophyceae	19
c. Euglenophyceae	20
d. Dinophyceae	20
e. Bacillaryophyceae	20
f. Chrysophyceae	21
2. FITOPLANCTON	21
3. PERIFITON	24
4. APLICACIONES PARA COLOMBIA	26
a. Provincia de alta montaña tropical	26
b. Provincia andina	28
c. Provincia de tierras bajas	29
d. Provincia costera	29
C. MATERIALES Y METODOS	30
1. SITIOS DE MUESTREO	30
2. FASE DE CAMPO	30

	Pág.
<i>a. Estudio del fitoplancton</i>	30
<i>b. Estudio de perifiton</i>	34
<i>c. Análisis físico-químico</i>	36
3. FASE DE LABORATORIO	37
<i>a. Estudio de fitoplancton y perifiton</i>	37
4. PROCESAMIENTO DE DATOS	38
<i>a. Análisis de agrupamiento</i>	38
<i>b. Ordenación</i>	39
CAPITULO II	
LAGUNA DE CHINGAZA	41
A. DESCRIPCION AREA DE ESTUDIO	41
B. RESULTADOS	47
1. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS	47
2. FITOPLANCTON	64
<i>a. Composición y variación</i>	64
3. ALGAS DEL PERIFITON	67
<i>a. Composición</i>	67
<i>b. Variación espacio temporal</i>	70
<i>c. Diversidad</i>	73
C. DISCUSION	73
1. CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA	73
2. FITOPLANCTON	75
3. ALGAS DEL PERIFITON	78
4. DIVERSIDAD	80
5. RELACIONES ENTRE LAS CARACTERISTICAS FISICAS QUIMICAS Y ALGAS DEL PERIFITON	81
6. MODELO CONCEPTUAL DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA ESTRUCTURA Y DINAMICA DE LAS ALGAS DEL PERIFITON	83
CAPITULO III	
EMBALSE DE CHUZA	85
A. DESCRIPCION AREA DE ESTUDIO	85
B. RESULTADOS	89
1. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS	89
2. FITOPLANCTON	102
<i>a. Composición</i>	102
<i>b. Diversidad</i>	109
C. DISCUSION	109
1. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS	109
2. CARACTERISTICAS BIOLÓGICAS (FITOPLANCTON)	112
3. VARIABILIDAD ESTACIONAL DEL FITOPLANCTON	115
4. DIVERSIDAD	116
5. MODELO PRELIMINAR DEL FITOPLANCTON	118

	Pág.
CAPITULO IV	
SINTESIS FINAL	121
CAPITULO V	
ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS ACUATICOS DE PARAMO EN COLOMBIA	131
BIBLIOGRAFIA	133
ANEXO No.1 Matriz de asociación (coeficiente de correlación) entre los parámetros físico-químicos estudiados de Chingaza	147
ANEXO No.2 Lista de especies del fitoplancton encontradas en la laguna de Chingaza	148
ANEXO No.3 Lista de familias, géneros y especies de algas perifíticas encontradas en la laguna de Chingaza	151
ANEXO No.4 Composición de especies epilíticas y epifíticas encontradas en la laguna de Chingaza en marzo y agosto de 1989	154
ANEXO No.5 Matriz de asociación (coeficiente de correlación) entre los parámetros físico-químicos estudiados en el embalse de Chuza	155
ANEXO No. 6 Lista de familias, géneros y especies de algas fitoplanctónicas encontradas en el embalse de Chuza ..	156
ANEXO No. 7 Tipos de comunidades de los organismos pertenecientes al fitoplancton del embalse de Chuza	158
INDICE DE TABLAS	159
INDICE DE FOTOGRAFIAS	160
INDICE DE FIGURAS	161

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS) y a la Universidad Javeriana por la financiación otorgada para la realización de este trabajo. A la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por asumir la publicación del mismo.

Igualmente al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del ambiente (INDERENA) y a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B), en especial a los doctores Carlos Castaño, José Libardo Rodríguez y Santiago Gaviria, por el apoyo logístico y la colaboración durante la fase de campo.

A la Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS) del Departamento de Biología de la Universidad Javeriana por su respaldo académico y humano.

Extendemos nuestra gratitud al Dr. Ramón Margalef de la Universidad de Barcelona por la lectura crítica del texto y sus valiosos aportes, al Dr. Carlos E. Bicudo del Instituto Botánico de Sao Paulo-Brasil, quien revisó el manuscrito correspondiente al fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza. Al Dr. Luis E. Mora Osejo, profesor titular del Departamento de Biología de la Universidad Nacional quien leyó críticamente lo relacionado con el perifiton de la laguna, y posteriormente el texto completo de esta obra. Igualmente a los profesores Henry Y. Bernal y Orlando Vargas de Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS) quienes corrigieron el texto, especialmente lo relacionado con el fitoplancton y caracterización físico-química del embalse de Chuza. Al profesor Santiago Duque de la Estación Científica del Amazonas (Universidad Nacional) por la lectura y corrección del texto final.

Al Dr. Sven Zea (Invemar-Universidad Nacional) y al geólogo Germán Rondón por la ejecución de los programas y orientación del trabajo estadístico.

Finalmente agradecemos al profesor Udo Schmidt-Mumm (Universidad Javeriana) y al señor Germán Quitiaquéz, por su valiosa colaboración en el trabajo de campo. Igualmente a la Academia de Ciencias exactas Físicas y Naturales por asumir la publicación de este estudio.

PRESENTACION

En la última década el estudio de las aguas continentales experimentó grandes cambios y avances, como consecuencia de la toma de conciencia de que el agua es un recurso finito y un elemento fundamental en la organización ecológica, social y económica.

Con base en el último argumento, desde 1988 se planteó la necesidad de desarrollar estudios en lagunas de páramo, cuya estructura y dinámica eran desconocidas, a pesar de constituir reservorios primarios de agua de consumo.

Esperamos que los resultados que aquí presentamos sirvan como aporte a la limnología tropical y en especial al conocimiento de la ecología acuática de Colombia

Los autores

PROLOGO

Barcelona, Agosto 17 de 1994

Sudamérica es un continente sumamente inspirador para el naturalista y el ecólogo. La vegetación de los grandes espacios, la fauna que se encuentra en ellos, principalmente insectos y vertebrados, han encontrado en todo tiempo admiradores curiosos. Sin embargo hay otro tipo de ambientes que parecen ofrecer menores promesas de novedad, como los lagos de alta montaña y sus pobladores microscópicos que a veces han arrastrado una fama casi inmerecida de cosmopolitas. Es bueno que de vez en cuando alguien se asome a estos aspectos casi inéditos de la naturaleza sudamericana. Este es un trabajo serio que se ocupa de algunos de los aspectos menos conocidos que acabo de mencionar; es una aproximación que sugiere una línea de investigación novedosa. Yo estoy casi convencido que diferencias locales en la composición de las aguas, incluyendo los oligoelementos, podrían iniciar interesantes líneas de trabajo, no desprovistas de interés práctico, pues se sabe que los pequeños lagos de alta montaña son como antenas detectoras de las lluvias ácidas, un riesgo que afortunadamente parece no existir todavía en el continente, pero que se ve venir, de manera que estamos en el momento oportuno de enfocar algún plan de trabajo de gran interés. Espero que este trabajo encontrará una continuación natural en sucesivas actividades de los autores y de otras personas que se unan a ellos.

Ramón Margalef
Departamento de Ecología
Universidad de Barcelona

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados del estudio limnológico de dos sistemas acuáticos de alta montaña tropical, la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza, ubicados en el Parque Nacional Natural Chingaza (Cordillera oriental Colombiana), al oriente de la ciudad de Santafé de Bogotá.

De los resultados de los muestreos del fitoplancton, de las algas del perifiton, y de las mediciones de parámetros físicos y químicos, realizados entre 1989 y 1990, se concluyó que los sistemas acuáticos de alta montaña tropical se caracterizan, desde el punto de vista físico y químico, por tener aguas blandas, pH ácido y bajo contenido mineral, por lo cual se define como oligotróficos; así mismo, se encontró que al igual que en otros sistemas acuáticos tropicales de alta montaña, el nitrógeno se comporta como elemento limitante.

A pesar de la baja variación de la temperatura media mensual a lo largo del año, característica del trópico, se presentan cambios temporales en la dominancia de los grupos de algas, Dinophyceae, Chrysophyceae y Cyanophyceae, pertenecientes al fitoplancton del embalse de Chuza; de otro lado, en la laguna de Chingaza se observó el predominio de Desmidiaceae, Bacillariophyceae y Cyanophyceae en el fitoplancton y de Bacillariophyceae y Desmidiaceae dentro de las algas del perifiton. Al final, se plantean modelos de funcionamiento de estos sistemas y se hace un diagnóstico del estado actual de los sistemas acuáticos de páramo en Colombia y sus alternativas de manejo.

INTRODUCCION

La limnología, es una ciencia de síntesis, relativamente reciente que considera el estudio de las aguas continentales o epicontinentales, sus características físico-químicas, biológicas y la dinámica de los organismos.

La primera noción de ecosistema acuático la estableció FORBES (1815-1854) en su ensayo "El lago como un microcosmos", época en el cual los problemas de la biología pesquera y el suministro de agua potable impulsaban el desarrollo de los estudios de agua dulce.

Sin embargo, la monografía de FOREL (1892-1904), sobre el lago Léman, se considera como el inicio de la limnología moderna debido a que éste fue el primer estudio extenso de un lago. La apreciación de un lago como una entidad permitió el rápido avance en el campo de la limnología y en el de la biología de agua dulce. Esta concepción estimuló a NAUMANN (1891-1934) y THIENEMANN (1882-1960), quienes fueron los primeros en relacionar los lagos con las características fisiográficas de sus cuencas, creando la limnología regional. El enfoque comparativo de esta línea puso al descubierto la existencia de mecanismos internos que dan coherencia a cada masa de agua y proporcionan un eje de ordenación para varios tipos de lagos (oligotróficos y distróficos). NAUMANN y THIENEMANN propusieron en 1922 la creación de la Sociedad Internacional de Limnología (SIL), y enfatizaron en la limnología como una ciencia de síntesis y en la importancia del estudio de las aguas corrientes (ríos).

Paralelamente, el auge de la limnología en Norteamérica se debe a los trabajos de BIRGE (1851-1950), JUDAY (1871-1944) HUTCHINSON (1903-1991), quienes publicaron numerosos datos sobre los aspectos químicos, la composición del plancton y establecieron las bases para que LINDEMANN formulara los aspectos dinámico-tróficos de los ecosistemas acuáticos.

Gracias a estos pioneros y a RUTTNER, quien trabajó en Austria, la limnología se consolidó y extendió por toda Europa, Rusia y América, a partir de mediados del siglo XX, ganando mucho importancia en la actualidad.

El estudio de las aguas tropicales adquirió interés puesto que la tipología desarrollada en la región templada no podía ser aplicada a los cuerpos de agua tropicales, con mayor diversidad de organismos e incluso, con representantes que faltaban en las aguas templadas. Sin embargo, cabe recordar que los conceptos básicos de la limnología tropical partieron de los estudios en la región templada. THIENEMANN y RUTTNER organizaron la "Sunda Expedition" que recogió material en las aguas dulces del archipiélago IndoMalayo (1928-1929): a esto se suman otras investigaciones llevadas a cabo por las escuelas inglesas y norteamericanas, las cuales aportan un volumen grande de publicaciones sobre los lagos profundos y antiguos de África.

En algunos países de América Latina el desarrollo de la limnología ha sido lento, se ha puesto énfasis, básicamente, en el estudio de los grandes ríos y lagunas periféricas, debido en parte a su riqueza biótica excepcional (MARGALEF, 1983). En Colombia se han llevado a cabo estudios sobre la biología del plancton, la mayoría de los cuales incluyen listados de organismos a nivel de especies y dan una aproximación preliminar ecológica de los sistemas acuáticos: estos trabajos también aportan algunos elementos para entender su estructura y dinámica.

Paradójicamente, la ecología de los lagos de alta montaña tropical está relegada a un segundo plano a pesar de que la mayoría de estos sistemas se ubican en zonas de reserva natural y constituyen depósitos de aguas de consumo. Al respecto, cabe mencionar que tanto el embalse de Chuza como la laguna de Chingaza forman parte del sistema hidrológico de Chingaza, principal proveedor de agua al acueducto de la ciudad de Santafé de Bogotá.

Con el propósito de contribuir a llenar los vacíos de conocimiento, se realizó este trabajo. En primer lugar se determinaron taxonómicamente las especies del fitoplancton y las algas del perifiton. Luego se realizó el análisis, de su estructura y dinámica y de la distribución espacio-temporal teniendo en cuenta el comportamiento físico y químico de estos sistemas.

Este estudio forma parte del proyecto "Estudios Limnológicos del Parque Nacional Natural Chingaza" (DONATO, 1987), enmarcado dentro del programa de investigaciones para el desarrollo de la ecología y sistemática (BERNAL, ET AL., 1987), que ejecutó la Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS) del Departamento de Biología de la Pontificia Universidad Javeriana, durante el período comprendido entre septiembre de 1988 y diciembre de 1990.

A. ANTECEDENTES

El conocimiento de la estructura y comportamiento de los lagos tropicales ha tenido un gran impulso a partir de las tres últimas décadas, gracias a los estudios realizados en lagos de África, Asia y América (NILSSEN, 1984).

De acuerdo con los resultados de los estudios sobre ecosistemas lénticos neotropicales se distinguen, según su localización altitudinal y sus características funcionales, tres tipos de lagos; a saber:

- Lagos de tierras bajas: son sistemas que, en general, presentan características oligotróficas, con temperaturas altas y un pH bajo (SIOLI, 1967; HEGEWALD, ET AL. 1976; PRANCE, 1979; RAI & HILL, 1980; JUNK, 1980, 1984; MILLER, ET AL. 1984; TUNDISI, ET AL. 1984; UHERKOVICH, 1984; COLINVAUX, ET AL. 1984; DE OLIVEIRA, ET AL. 1986; PAYNE, 1986; BASTERRECHEA, 1988a).
- Lagos costeros: generalmente, estos lagos se encuentran sometidos a presión antropogénica alta, lo cual determina sus concentraciones iónicas altas (meso a eutróficas). Como ejemplo, podemos citar los lagos de la costa del Perú (HEGEWALD, ET AL. 1976), el lago Valencia en Venezuela (LEWIS & WEIBEZAHN, 1976; LEWIS & RIEHL, 1982), lagos de Guatemala (BRINSON & NORDLUE, 1975; BASTERRECHEA, 1988b), entre otros.
- Lagos de alta altitud (lagos de páramo y puna): De acuerdo con HUTCHINSON (1957) y LOFFLER (1964-1972), estos lagos se describen como oligotérmicos y de circulación frecuente por lo cual se clasifican como polimícticos fríos o cálidos según su posición altitudinal. A parte de esta característica, los trabajos realizados en lagos de páramo del Ecuador (COLINVAUX & STEINITZ, 1980; STEINITZ, ET AL. 1983, 1988; MILLER, ET AL. 1984; DE OLIVEIRA, ET AL. 1986), Venezuela (GESSNER, 1955; LEWIS & WEIBEZAHN, 1976) y de Costa Rica (HARGRAVES & VIQUEZ, 1981), en lagos de puna en Perú (HEGEWALD, ET AL. 1976, 1978, 1980) y en el lago Titicaca (RICHERSON, ET AL. 1977, 1986; RICHERSON & CARNEY, 1980; VINCENT, ET AL. 1984, 1985; THERIOT, ET AL. 1985; WURTSBAUGH, ET AL. 1985; CARNEY, ET AL. 1987), los definen como lagos con bajas concentraciones iónicas y de nutrientes.

1. TRABAJOS PARA COLOMBIA

Lagos: Dentro de los trabajos en ambientes dulceacuícolas en Colombia, pueden citarse los de MOLANO (1964), DUCHARME (1975), MIKKOLA & ARIAS (1976), RODRIGUEZ (1978), BJORK & GELIN (1980), AGUIRRE & RANGEL (1977), GAVIRIA (1983, 1984, 1989), MOLINA (1983), RUIZ (1984),

UNIVERSIDAD NACIONAL (1984), LEETVAAR (1985), MARQUEZ (1985), PEDRAZA (1985), ARIAS (1986), DONATO (1987, 1988), MARQUEZ & GUILLOT (1987), ROLDAN (1988), GALVIS, ET AL, (1989).

Los autores que se citan a continuación han efectuado en Colombia estudios sobre la biología y la taxonomía del fitoplancton: WETS (1914), TAYLOR (1935), GALAN (1956,1966), RAMIREZ & MACHADO (1982), COESEL (1985,1987), COESEL, ET AL, (1986, 1988), DONATO, ET AL, (1987), FLORES & QUIROZ (1986), DONATO (1987) y DUQUE & DONATO (1988).

Aunque para la zona tropical no se conocen estudios que traten sobre la comunidad del perifiton, en Colombia DUCHARME (1975) y MIKKOLA & ARIAS (1976), consideran que la productividad del perifiton es mayor que la del fitoplancton en las ciénagas de los planos inundables del río Magdalena.

Embalses: En Colombia es poco lo que se conoce acerca del funcionamiento de los embalses de alta montaña y de las tierras bajas. Los trabajos que se han efectuado no revelan propiamente la dinámica y estructura del fitoplancton y su relación con las variables físico-químicas en dichas masas de agua; sin embargo, vale la pena mencionar que VALDERRAMA (1984), propone una clasificación de los embalses dependiendo del piso térmico donde se ubiquen.

De acuerdo con esto, y siguiendo su posición altitudinal en el piso térmico cálido, MARQUEZ (1983) y DIAZ (1989), analizaron la sucesión ecológica e impacto ambiental del embalse de hidroprado. DUQUE & DONATO (1988) efectuaron una investigación del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado en el embalse de Betania (Huila) y GUERRERO (1989), adelantó un estudio limnológico en el embalse de Calima (Valle).

Entre los estudios realizados en el piso térmico templado se destacan trabajos preliminares del embalse de El Peñol (Antioquia), así como los realizados en la Represa de la Fe por ROLDAN, ET AL. (1984), RAMIREZ & MACHADO (1982). En la represa de Punchiná, HORTA (1985) analizó la estructura y sucesión de la comunidad fitoplanctónica en las diferentes etapas de llenado.

Finalmente, en el piso térmico frío se incluyen los embalses de Muña, donde BERNIER (1981) efectuó una investigación limnológica y ecológica; MOLINA (1983), realizó un estudio del fitoplancton del embalse de Sisga; en el embalse del Neusa DIAZ, ET AL (1984) y UCHIMA (1988), investigaron la biología de la trucha, su ambiente ecológico y las características bióticas y abióticas respectivamente. Para el embalse de Tominé (MARTIN, 1988), describió y analizó los aspectos limnológicos fundamentales.

De igual importancia son los informes presentados por la EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ (E.A.A.B)

(1983) y el HIMAT (1983), sobre aspectos generales de lagos y embalses de Colombia.

En el embalse de Chuza, típico para la alta montaña tropical, GAVIRIA (1983), llevó a cabo una evaluación limnológica preliminar destacando el carácter polimíctico del embalse, y la concentración de nutrientes baja (oligotrófica). En cuanto a la composición del plancton, este autor determinó 16 especies de algas entre las que se destacan *Chlorococcum* sp., *Volvox aureus*, *Euastrum didelta*, *Franceia tuberculata*, *Navicula radiosa* y 12 especies zooplanctónicas de las cuales *Bosmina coregoni*, *Macrocyclops albidus*, *Mesocyclops* sp. y *Diatomus* sp. Así mismo, para la laguna de Chingaza el autor presenta dentro de este mismo trabajo registros físico-químicos puntuales.

B. MARCO TEORICO

Desde el punto de vista ecológico, los sistemas acuáticos se conciben como conjuntos de subsistemas al interior de los cuales se desarrollan procesos biológicos y relaciones ecológicas que integrados entre sí y con el medio externo determinan el comportamiento total del ecosistema. El análisis de una comunidad puede llevarse a cabo bajo distintos puntos de vista tanto estructurales como dinámicos. Estructuralmente, la comunidad se define por las variaciones en la riqueza y la abundancia de las especies (ROBINSON & SANDGREN, 1984; ODUM & ODUM, 1980) y por su posición en un hiperespacio cuyas dimensiones son los factores del ambiente (MARGALEF, 1983). La estructura presenta patrones de variación espacio-temporales que determinan la dinámica de la comunidad.

El conocimiento de la composición específica o, aún mejor, de la estructura de las comunidades de fitoplancton y perifiton utilizado en los estudios ambientales y de ecología acuática permite visualizar las condiciones y los cambios ecológicos al interior de un medio acuático. En las zonas templadas, el perifiton es utilizado principalmente como bioindicador de contaminación en las aguas. Entre los trabajos realizados en este aspecto se pueden mencionar los de BRETTUM (1974); SLADECKOVA & SLADECEK (1977); SLADECKOVA, ET AL (1983); MARCUS (1980); HOAGLAND (1983); KLAPWIJK, ET AL (1983); LELAND & CARTER (1984) STEVENSON (1984); BLANCK (1985); LECLERCO & DEPIEREUX (1987); CROSSEY & LA POINT (1988); VYMAZAL (1988); WELCH, ET AL (1988).

En Colombia, es común el uso de estas comunidades como indicadores, aunque no siempre correcta; generalmente la información obtenida de los inventarios florísticos se utiliza para el cálculo de índices ecológicos, pretendiendo con ello, concluir acerca de la calidad del medio ambiente (DUQUE & DONATO, 1988a).

Los problemas de fondo podrían plantearse así: determinación correcta de los taxa, con los niveles genérico y específico; diferenciación en la composición de las comunidades entre las zonas altoandina y zonas de tierras bajas, producidas por las barreras biogeográficas y por la variación cíclica del régimen de lluvias y sequía.

Estas ideas conforman el marco conceptual de este trabajo, que no sólo busca resaltar estos aspectos, sino también la taxonomía de los principales grupos de algas de agua dulce, su ecología y algunas aplicaciones para el caso de Colombia.

1. FUNDAMENTO

Con el término "algas" se designa a un grupo heterogéneo de plantas inferiores no diferenciable por algún carácter diagnóstico del resto de plantas vivientes y fósiles de la tierra, por lo cual desde el punto de vista de la sistemática moderna se le considera un grupo artificial y no natural. La separación de las algas en clases se basa en aspectos bioquímicos, que principalmente se refieren al tipo de clorofila y de los pigmentos accesorios (WETZEL, 1981; DUQUE & DONATO, 1988a)

Las algas presentan una gran variación en sus aspectos morfológicos, reproductivos, bioquímicos, fisiológicos y ecológicos. Desde 1935 varios autores han formulado propuestas sobre la taxonomía de este grupo complejo en las categorías de división y de clase; TILDEN (1935), registra sólo 5 clases; SILVA (1980) (citados en BOLD & WYNNE, 1985) eleva el número de clases a 25 y BOLD & WINNE (1985) define un número intermedio de clases.

A continuación se describen las características más sobresalientes de las clases de algas principales a las cuales pertenecen las especies de algas que conforman las comunidades de fitoplancton y perifiton en los sistemas acuáticos epicontinentales.

a. *Cyanophyceae* (*Nostocophyceae*)

Es el único grupo de algas que, al igual que las bacterias, tiene una estructura celular procariota (carecen de núcleo, de mitocondrios, cloroplastos y membranas internas) y se consideran como los organismos responsables de la temprana acumulación de oxígeno en la atmósfera terrestre (BOLD & WYNNE, 1985); presentan además, una gran variedad de niveles de organización morfológica, pero siempre bajo la condición procariótica: unicelulares, coloniales, filamentosas ramificadas y no ramificadas (FRITSCH:1977). Dado que las características son difíciles de discernir por esa variación, la taxonomía moderna se basa en características bioquímicas y fisiológicas en cultivos axénicos (DUQUE & DONATO, 1988b).

Algunas cianofíceas tienen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico (N_2) y almacenar el nitrógeno orgánico. Además de la fotosíntesis oxigénica, en la cual el agua proporciona el poder reductor para la liberación de oxígeno, en las Cianofíceas se presenta la fotosíntesis anoxigénica. Como es bien sabido, en ella sólo participa el fotosistema I, donde el sulfuro, el azufre o el tiosulfato proporcionan el agente reductor. La fotosíntesis anoxigénica facultativa se presenta principalmente en ambientes cambiantes entre condiciones fotoaeróbicas y anaeróbicas (DARLEY,1987).

Las Cyanophyceae dominan bajo ciertas condiciones especiales (hipertrofia), y producen afloramientos ("blooms") que inhiben el desarrollo de organismos pertenecientes a otros grupos, por la excreción de toxinas causantes de alteraciones alelopáticas (SHAPIRO,1973). Esto tiene gran importancia ecológica, debido a las modificaciones que se producen en los ecosistemas acuáticos (mortalidad de peces). Otra adaptación favorable consiste en la capacidad de variar de profundidad por la presencia de vacuolos gasíferos (WALSBY,1977).

b. *Chlorophyceae*

Presentan gran variedad morfológica con una distribución limitada en su totalidad a las aguas dulces. Están representadas por cerca de 16 órdenes, 425 géneros y aproximadamente 6500 especies. Por esta razón constituyen uno de los principales grupos de algas, en términos de especies y de adaptaciones a los diferentes hábitats.

Desde el punto de vista ecológico, en aguas de un rango de salinidad amplio que va desde aguas oligotróficas hasta las aguas marinas y supersaturadas con solutos. Se presentan especies bénticas, planctónicas y de hábitats subaéreos.

Dentro del orden Conjugales, el grupo de la familia Desmidiaceae presenta el más alto número de especies, pertenecientes a diferentes tipos de comunidades (planctónicas, meroplanctónicas y bénticas). La presencia de Desmidias está correlacionada, generalmente, con bajas concentraciones de calcio (calcíforas de acuerdo con COESEL, 1983b) o de calcio y magnesio, como se constató en la Laguna de Chingaza y en el embalse de Chuza. En cuerpos de agua con rocas de origen ígneo, es decir, aguas de concentración iónica y salinidad bajas. Se debe resaltar que en este grupo se presentan especies que colonizan ambientes de diferente trofia (COESEL.ET AL.,1988).

Algunos autores atribuyen la riqueza de las desmidias en sistemas de alta montaña a que ellas son esfagnófilas, es decir, viven en ambientes de turbera con alto material húmico y pH bajo (DUQUE & DONATO, 1988b)

c. *Euglenophyceae*

Las Euglenofíceas son principalmente organismos unicelulares, flagelados, la mayoría fotosintetizadores, aunque algunos carecen constante o eventualmente de clorofila, por lo cual son heterótrofos facultativos o heterótrofos obligados, bien sea osmotróficos o fagotróficos (FRITSCH, 1977; HUTCHINSON, 1957).

La mayoría de las especies fotosintetizadoras estudiadas requieren por lo menos una vitamina y complementan su nutrición autótrofa con alcoholes o ácidos orgánicos simples; muchas de ellas, inclusive son incapaces de utilizar el NO_3^- como fuente de nitrógeno. Así, no es de extrañar su presencia en ambientes ricos en amonio, y en materia orgánica en descomposición (BOLD & WYNNE, 1985; MARGALEF, 1978).

d. *Dinophyceae*

Este grupo incluye los dinoflagelados, organismos biflagelados, unicelulares, presentes en aguas marinas, estuarinas y dulces. Al lado de especies fotosintetizadoras, ocurren especies heterótrofas diferenciadas en distintos patrones; saprofílicas, parasíticas, simbióticas y holozoicas (BOLD & WYNNE 1985). Las dinofíceas pueden vivir en ambientes pobres en nutrientes, pero también en sitios con alto contenido de materia orgánica, proveniente de la descomposición de la vegetación acuática (MARGALEF, 1983; DUQUE & DONATO, 1988b).

e. *Bacillariophyceae*

Las diatomeas, junto con las desmidiáceas, son los grupos de mayor riqueza de especies en el fitoplancton de agua dulce (DUQUE & DONATO, op cit). La característica distintiva de las diatomeas es la presencia de una pared de sílice decorada con hileras de poros, hendiduras, engrosamientos, divisiones internas y, en ocasiones, prominencias o espinas (ROUND, 1984). La pared celular o frústulo consta de dos partes, la una superpuesta a la otra a manera de una caja de petri, el elemento mayor o parte superpuesta recibe el nombre de epivalva y el menor el de hipovalva (FRITSCH, 1977).

De acuerdo con la simetría de las valvas las diatomeas se dividen en dos órdenes: Centrales de simetría radial y Pennales de simetría bilateral. El primer orden se encuentra generalmente asociado al ambiente planctónico mientras que los Pennales son de orden litoral-béntico, por la capacidad de sujetarse a superficies vivas o muertas a través de un pedúnculo o por moverse en el sedimento debido a la presencia de rafé (hendidura longitudinal especial de la pared celular) (DARLEY, 1987). Este grupo tiene una gran valencia ecológica aspecto que le permite tener representantes en diferentes condiciones ecológicas (oligotróficas hasta hipertróficas).

f. *Chrysophyceae*

Dentro de las crisofíceas abundan las formas flageladas, tanto unicelulares como coloniales; solamente unas pocas carecen de flagelos. De las especies conocidas solo un pequeño porcentaje es de agua dulce, mientras que la mayoría se presenta en aguas duras y en épocas en que la temperatura es baja (SMITH, 1955). Al igual que otros grupos, además de los requerimientos normales de elementos inorgánicos, las crisofíceas necesitan para su desarrollo de algunas vitaminas como la tiamina y la biotina; sin embargo, parece que pueden sobrevivir en ambientes pobres en fósforo (p.e. Dinobryon) (DUQUE & DONATO 1988b), aunque muchas de las crisofíceas son muy sensibles a los cambios ambientales producidos bien sea por condiciones estacionales o modificaciones en la calidad del agua.

2. FITOPLANCTON

Las clases de algas anteriormente citadas presentan un espectro de variación tanto en las formas de vida como en los niveles de organización, que incluyen aspectos evolutivos y ecológicos (FRISCH, 1977; MARGALEF, 1983). Desde el punto de vista filigenético se postula que el hábitat planctónico se alcanzó en varias ocasiones, lo cual permitió que la radiación adaptativa a los ambientes limnéticos se produjera por presiones de selección (REYNOLDS, 1984). Los procesos de selección que dieron lugar a las diferentes formas de vida permiten concluir que las características que no cambian fácilmente como son las propiedades morfológicas, mecánicas y fisiológicas de las células, en cuanto representan las estrategias más favorables para la supervivencia. Con base en estas apreciaciones, MARGALEF (1978) elaboró un modelo conceptual y descriptivo del funcionamiento del fitoplancton que explica la segregación de las distintas categorías en el medio acuático.

Según este autor, existen dos estrategias para competir con efectividad, denominadas "r" y "K"; estas estrategias están fijadas evolutivamente en el genotipo de las especies, por lo cual son relativamente rígidas en el sentido de que los individuos (o poblaciones) de una especie no pueden cambiar de estrategia en cualquier momento según lo que más convenga en cada situación.

En el fitoplancton, los representantes tipo de estas dos estrategias son las diatomeas (estrategias "r") y los dinoflagelados de células planas (estrategia "K"). Las primeras tienen tasas de renovación alta, por lo cual se desarrollan en medios ricos en nutrientes. Sin embargo, la rigidez del cuerpo y la forma les produce una sedimentación rápida, lo que les implica salir de la zona fótica. En los medios turbulentos dichas especies son capaces de mantener una población importante en la zona iluminada gracias a una alta tasa de reproducción, a pesar del efecto dispersivo de la turbulencia. El desplazamiento de los organismos por el efecto de la turbulencia tiene un mayor peso que el debido a la gravedad (sedimentación) uniformándose en cierta

medida las posibilidades de desplazarse en cualquiera de las tres direcciones del espacio. Por la misma razón, las poblaciones de dinoflagelados se verían dispersadas en un medio turbulento y sucumbirían al no poder compensar dicho efecto mediante una alta tasa de reproducción. Sin embargo, los dinoflagelados sobreviven en sistemas estratificados, aunque estos sean pobres en nutrientes, ya que poseen unos flagelos en continuo movimiento que les permite vencer la débil tendencia a sedimentar y a la vez renovar la delgada capa de agua más próxima al organismo, con lo que mantienen, el gradiente de nutrientes necesario en las proximidades de su pared exterior.

El esquema en el que están implícitos los conceptos de estrategias "r" y "K" y la disponibilidad de nutrientes en un medio más o menos turbulento puede ser utilizado para clasificar u ordenar los tipos de organismos a distintos niveles dentro del sistema o incluso a los tipos de ecosistemas. Es importante analizar un nuevo tipo de estrategia como es la selección A (adversidad), características de ambientes predecibles que permiten desarrollar organismos especializados de larga vida, capacidad de carga, diversidad y competencia interespecífica bajas (DESHMUKH, 1986).

Para comprender este modelo es necesario partir del concepto de "sucesión", es decir, la variación a lo largo del tiempo en la composición de la abundancia relativa de las especies en una comunidad. Dichos cambios, están sujetos a ciertas reglas, por ejemplo, el reemplazo de una especie pequeña por una grande o de las células móviles por no móviles (LEWIS, 1978). En los lagos en fase de transición se pueden presentar cambios en la concentración de los nutrientes, de altas a bajas, debido a factores tales como la disponibilidad de la luz y la estratificación (KALFF & KNOEHEL, 1978).

Por otra parte, el fitoplancton tiende a concentrarse o reunirse en manchas según se considere un eje vertical o un plano horizontal. La disponibilidad de la luz, la concentración de nutrientes y gases definen un gradiente vertical único (INFANTE, 1988). Este aspecto se evidencia perfectamente en los lagos de las zonas templadas, donde la estratificación obedece a la estacionaridad térmica anual y a los períodos de mezcla. De acuerdo con ROUND (1984) e INFANTE (1988), en los trópicos la estratificación del fitoplancton obedece a migraciones diarias estimuladas por la luz; de esta manera, se distinguen dos estratos, a saber, uno ubicado en las aguas superficiales o zona fótica y el otro en las aguas profundas o zona afótica. Ciertos organismos del fitoplancton con capacidad de desplazamiento mediante flagelos, contribuyen a la estratificación vertical de los sistemas, ya que pueden regular su posición mediante migraciones conspicuas en el día y dispersándose en la noche (MARGALEF, 1978; REYNOLDS, 1984).

Las variaciones en la distribución horizontal de las especies planctónicas están relacionadas con la interacción y la velocidad del viento, la estabilidad termal de la columna de agua, la entrada de afluentes en los lagos, el contenido de nutrientes y la turbulencia (MARGALEF, 1983; REYNOLDS, 1984).

Los cambios estacionales en la abundancia y la composición del fitoplancton puede presentarse a escalas temporales medidas en semanas, meses, o en el curso de un año, en donde las poblaciones se incrementan o disminuyen y las especies van siendo sustituidas unas por otras; en general, el ciclo anual se caracteriza por presentar fluctuaciones en la abundancia total de especies influidas principalmente por la disponibilidad de nutrientes. (MARGALEF, 1983; REYNOLDS, 1984).

En los lagos de las zonas templadas, con uno o más períodos de mezcla se conocen con exactitud los ciclos anuales de las variaciones en la abundancia y la riqueza de especies. Por el contrario, los lagos tropicales de alta montaña con condiciones ambientales relativamente constantes durante el año, se caracterizan más bien por presentar una variedad estacional baja debido a los cambios en la insolación y al poco efecto del régimen de estratificación estacional (FARNWORTH & GOLLEY, 1977; PAYNE, 1986; RICHERSON, ET AL, 1986).

Finalmente, para interrelacionar los factores que influyen en la dinámica, se plantea un modelo teórico (FIGURA No. 1) donde se resaltan variables tales como la disponibilidad de luz, precipitación, cambios de nivel y concentración de nutrientes, principalmente el nitrógeno y el fósforo. Estos elementos determinan la distribución horizontal y vertical del fitoplancton (MARGALEF, 1983; BAHAMONDE & CABRERA, 1983; REYNOLDS, 1984; ROUND, 1984).

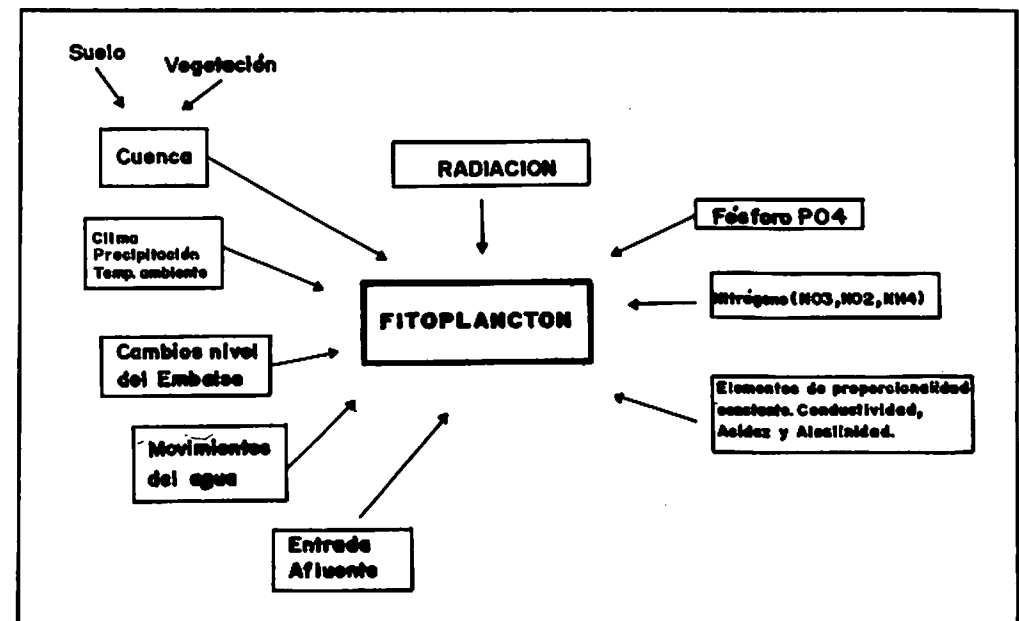


FIGURA No. 1. Relaciones entre las variables que influyen en la estructura y dinámica del fitoplancton en el embalse de Chuza.

3. PERIFITON

Las algas del perifiton conforman la comunidad que se desarrolla sobre un sustrato, tanto en ríos como en la zona litoral de las lagunas (WETZEL, 1981).

Según WETZEL (1981), las algas del perifiton presentan alta heterogeneidad espacial y temporal como respuesta a la variabilidad en los parámetros físicos y químicos de la zona litoral, mayor que en las aguas abiertas. Factores ambientales tales como la luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y los movimientos del agua, determinan el comportamiento y distribución de esta comunidad. Tales factores están, a la vez, directamente influidos por las características del medio, como se muestra en la FIGURA No. 2. Esta es una aproximación teórica a los elementos del medio circundante que actúan sobre la comunidad. En ella se resalta la importancia que tienen principalmente los siguientes aspectos:

- a- La zona litoral, donde la comunidad algal posee una extensa área de superficies disponibles para la colonización. Esto, sumado a las altas tasas de productividad de los macrófitos, determina que de esta zona provenga el aporte principal de materia orgánica para el sistema (FOERSTER & SCHLICHTING, 1965; WELCOMME, 1979; WETZEL, 1981; CARIGNAN & KALFF, 1982).
- b- Las condiciones climáticas (precipitación, temperatura, radiación).
- c- Las variaciones en el nivel de las aguas, que a la vez influyen en el comportamiento de las características físicas y químicas del agua.
- d- Los nutrientes (nitrógeno, sílice y fósforo), generalmente limitantes en la productividad de sistemas lénticos (MARGALEF, 1983) y los que determinan directamente la dinámica de la comunidad. (MARGALEF, 1983; REYNOLDS, 1984).

Las algas perifíticas se fijan y desarrollan sobre sustratos diferentes y se les denomina según la naturaleza de sustrato respectivo. A las algas que crecen sobre los sedimentos se les denomina epipélicas; sobre las rocas, epilíticas; sobre otras plantas, epífitas; sobre la superficie y cuerpo de animales, epizóicas; y sobre granos de arena, episámicas (WETZEL, 1981; ROUND, 1984).

Con respecto a la utilización de sustratos artificiales como técnica de muestreo y a la influencia que tales sustratos puedan tener en el desarrollo de la comunidad de algas, CASTENHOLZ (1960) y DOR (1970) (citados por DAVIES, 1976) encontraron que la composición de las comunidades que se desarrollan sobre sustratos artificiales es similar a la de las comunidades que crecen sobre sustratos naturales. Por el contrario, FOERSTER & SCHLICHTING (1965) y TIPPETT (1970) (citados por DAVIES, 1976) consi-

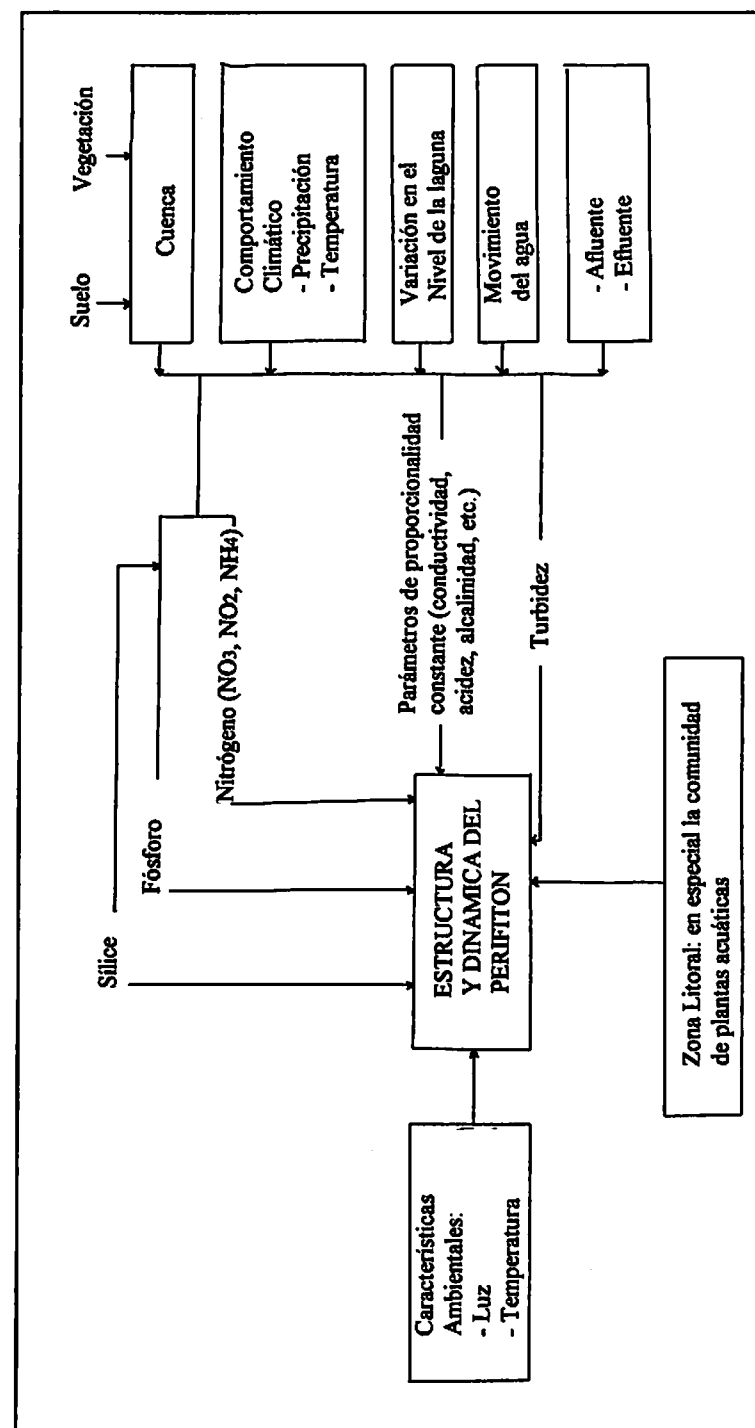


FIGURA No. 2. Esquema de las relaciones existentes entre las algas del perifiton y los parámetros físicos y químicos estudiados en la laguna de Chingaza.

deran que existen diferencias en el desarrollo del perifiton, según se trate de sustratos naturales o artificiales.

En este sentido, los macrófitos que crecen en la zona litoral de las lagunas o en los ríos, son un importante soporte físico para el desarrollo de la comunidad (CARIGNAN & KALFF, 1982).

4. APLICACIONES PARA COLOMBIA

Los ecosistemas acuáticos de Colombia pueden agruparse dentro de cuatro provincias geográficas, según la posición altitudinal, las características geográficas, biológicas y los aspectos limnológicos, a saber: Provincia de Alta Montaña Tropical (páramo), Provincia Andina, Provincia de Tierras Bajas, y Provincia Costera (DONATO, 1991) (véase FIGURA 2a).

Los ríos y las lagunas de las Provincias Andina y de Tierras Bajas, al igual que los sistemas acuáticos costeros, sufren deterioros de la calidad del agua y de las características estructurales debido a procesos de eutrofización, terrización, sobreexplotación pesquera y polución generados por actividades industriales y culturales.

Los sistemas acuáticos de Provincia de Alta Montaña, en cambio, si bien no experimentan los impactos anteriormente mencionados, no han sido objeto de estudio, hecho que los coloca paulatinamente en situación crítica debido a la utilización del recurso agua y como trampa de sedimentos (DONATO, 1991).

a. Provincia de alta montaña tropical

En esta provincia se agrupan los ecosistemas acuáticos de páramo; asentados en biótotos oligotróficos, sometidos a procesos naturales de terrización y que constituyen depósitos de agua de consumo. Generalmente, están localizados en zonas de reserva natural, lo cual implica que sus cuencas están protegidas al menos desde el punto de vista legal (DONATO, op cit).

Estudios realizados en la laguna de Chingaza y en el embalse de Chuza (Parque Nacional Natural Chingaza) y en la laguna de Chisaca (Páramo de Sumapaz), muestran bajas concentraciones de nutrientes en sus aguas y, por consiguiente, condiciones oligotróficas. En el fitoplancton predominan organismos de estrategia "K", entre otros, los Dinoflagelados (*Peridinium cinctum*, *P. limbatum*, *P. gatunense*), algunas Desmidiaceas (*Staurastrum tohopekaligense*, *S. brachiatum*, *Staurodesmus convergens*, *Hyalotheca islandica*, *Spondylosium planum*, *Gonatozygon aculeatum*, *Xanthidium antilopaeum*) y Diatomeas (*Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Surirella plana*) (DONATO, 1991 y GONZALEZ, 1995).

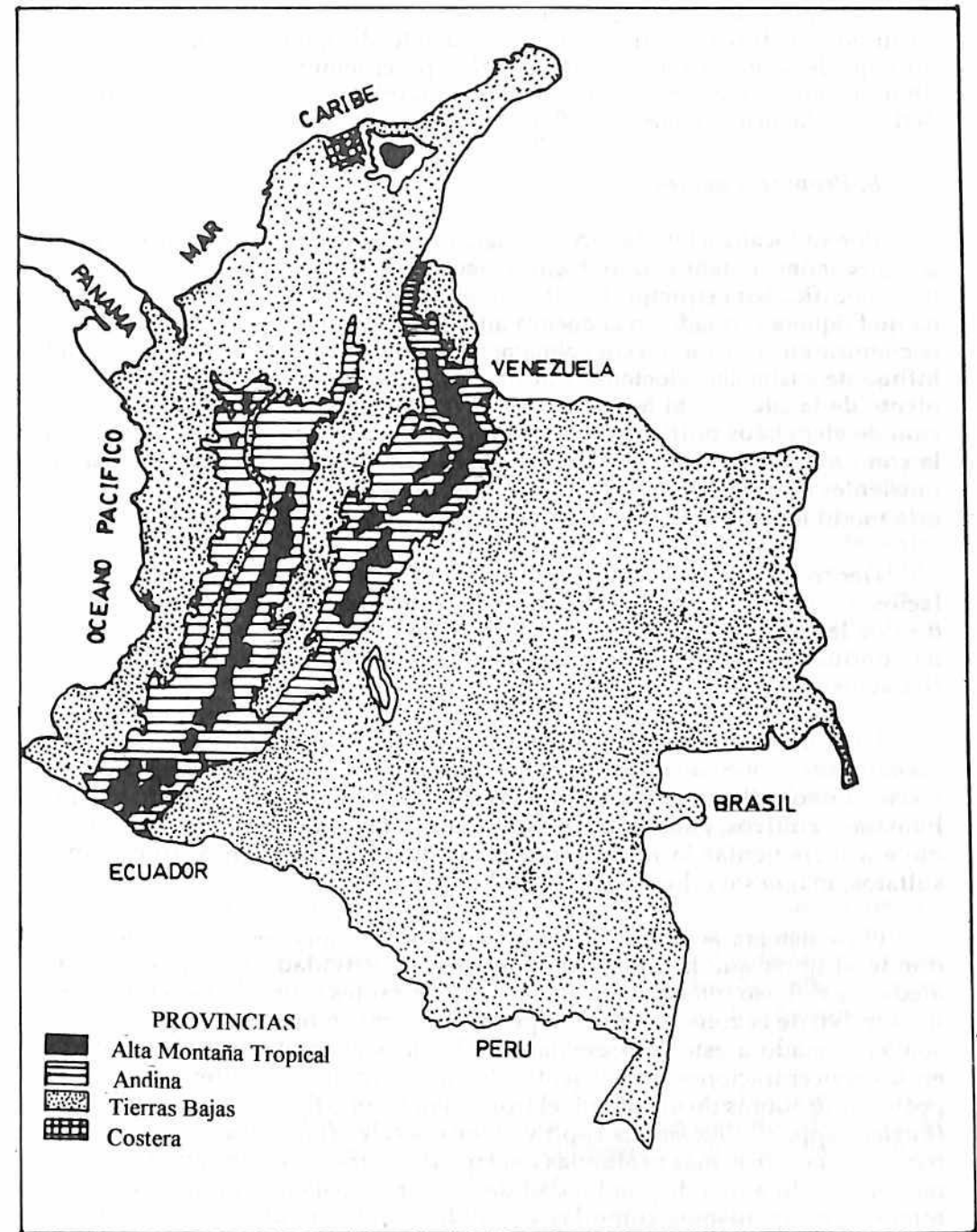


FIGURA 2a. Provincias geográficas de Colombia, según aspectos limnológicos.

Las aguas de estas lagunas presentan bajos valores de conductividad, alcalinidad y dureza. Se trata, por consiguiente, de aguas blandas y con grado bajo de mineralización. Como regla aparentemente general, el factor limitante en los lagos de alta montaña es el nitrógeno, cuyos aportes provienen de la cuenca (DONATO, 1991).

b. Provincia andina

Por su localización dentro de cuencas alteradas y de gran importancia socio-económica, tanto los ambientes lacustres como los fluviales se encuentran modificados estructuralmente. Un ejemplo de esta situación es la laguna de Fúquene, situada en la cuenca alta del Valle de Ubaté. Actualmente se encuentra en un proceso de colmatación y eutroficación, acelerado por el influjo de sustancias alóctonas (nitrógeno, fósforo, materia orgánica) proveniente de la cuenca. El fenómeno de eutroficación que implica la acumulación de elementos nutricionales en el sedimento favorece preferentemente a la comunidad de macrófitos del litoral, la cual dispone de esta reserva de nutrientes que le permite expandirse sobre las aguas libres de la laguna y de este modo incrementar el proceso de terrización.

Dentro de esta misma cuenca se encuentran lagunas como la de Palacios y Cucunubá donde el proceso de colmatación natural es acrecentado por la presión sobre terrenos para cultivos y para ganaderías, lo que ha conducido a su lenta desaparición (Cucunubá) o la colmatación total (Palacios)

Las condiciones físicas y químicas de la laguna de Fúquene, en especial las concentraciones de fósforo y el nitrógeno en forma de amonio, indican el efecto que sobre la laguna imprimen las actividades culturales (asentamientos humanos, cultivos, ganadería). A esto se suma, la erosión intensa que contribuye a incrementar la materia orgánica, turbidez y algunos iones como sulfatos, magnesio o hierro (DONATO ET AL, 1987).

Otro sistema acuático de interés en esta provincia es el lago de Tota, donde al igual que la laguna de Fúquene, la actividad agrícola en áreas aledañas y el uso intensivo de abonos y fertilizantes estimulan el crecimiento excesivo de la zona litoral, en especial las zonas someras y con pendientes suave. Sumado a esto se presentan condiciones anaeróbicas e incrementos en las concentraciones de nutrientes, lo cual permite la proliferación de especies indicadoras de un alto nivel trófico tales como *Egeria densa*, euglenales (*Euglena* spp., *Trachelomonas* spp.) y chlorococcales (*Pediastrum* sp.); sin embargo, en las áreas más profundas del lago (lago grande), el estado trófico es menor debido a una disponibilidad de nutrientes baja que permite el crecimiento de organismos como las Desmidiaceas (*Staurastrum planctonicum*, *S. quadrangulare*, *Desmidium cylindricum*, *Micrasterias radiosa*) y Dinoflagelados (*Peridinium cinctum*) (DONATO, 1991).

c. Provincia de tierras bajas

Los ecosistemas acuáticos epicontinentales de tierras bajas de Colombia presentan una estacionalidad marcada en el ciclo anual. Aspecto que se relaciona con el patrón de precipitación de la cuenca.

El paso de la zona de confluencia intertropical produce en nuestro país dos períodos: uno de lluvias o aguas altas y otro de sequía o de aguas bajas. Este cambio en el nivel de las aguas genera variaciones en la producción del ecosistema. Así, en la época de lluvias se favorece la entrada de agua del río a los planos inundables (lagunas) aumentando la turbidez, volumen y sólidos del sistema, produciéndose una disminución en la productividad. En el período de aguas bajas, los nutrientes ganados en el pasado período comienzan a recircular, permitiendo el aumento de la productividad (eutrofia). Esta variación de trofia en el ciclo anual entre dos extremos es lo que se conoce como Alotrofia (RAI & HILL, citados por PAYNE, 1986). Varias investigaciones comprueban como fluctúa la composición de las comunidades de fitoplancton (DUQUE & DONATO, 1988a); en la época de aguas bajas predominan organismos como las Chlorococcales (Chlorophyceae) y las Euglenophyceae debido al enriquecimiento de materia orgánica, de origen tanto autóctono como alóctono en este período (GALVIS ET AL, 1989). Posteriormente, al agotarse los nutrientes, los organismos dominantes son los Dinoflagelados (Dinophyceae) condicionados a vivir en ambientes muy pobres.

d. Provincia costera

La Ciénaga Grande de Santa Marta es el ejemplo más importante y constituye el complejo estuarino más afectado del país, desde el punto de vista socioeconómico y ecológico. Por esta razón ha merecido atención especial en programas de investigación y desarrollo (INVEMAR, 1989).

Como resultado de estos programas se pueden enunciar los siguientes problemas como los más importantes: hipersalinización, taponamiento de caños y la alta carga de sedimentos, proveniente del río Magdalena. Sumado a esto la sobreexplotación pesquera y la presión social, inciden directamente en la calidad del agua y en la desaparición gradual de los cinturones de manglar.

En este orden de ideas, es común encontrar aparte de la polución orgánica, problemas de contaminación química y metales pesados debido a la actividad industrial. En este sentido, la ciénaga de La Virgen y la bahía de Cartagena constituyen los ejemplos más claros.

Este cuadro de la situación general del recurso agua en Colombia, refleja el impacto del crecimiento económico, la destrucción de los recursos naturales y la ausencia de políticas institucionales, a pesar de ser uno de los países más

lluviosos del mundo con regiones naturales bien delimitadas geográficamente, conocidas por su excedente de agua y su biota (DONATO. Op cit).

Las Cianofíceas (*Anabaena spiroides*, *Oscillatoria tenuis*, *Merismopedia punctata*) y Clorofíceas (*Closterium* sp., *Eudorina* cf. *elegans*, *Pediastrum simplex*) y las Diatomeas (*Biddulphia mobiliensis*, *Coscinodiscus gigas*, *Cyclotella meneghiniana*) son algunas de las especies de fitoplancton más representativas en esta provincia (RONDON, 1991).

C. MATERIALES Y METODOS

1. SITIOS DE MUESTREO

Para el estudio de la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza, de acuerdo con las recomendaciones dadas por CASTAGNINO (1982) y SALAS (1983), y utilizadas en Colombia por DONATO ET AL (1986), se realizó una salida preliminar, con el objeto de reconocer el área de estudio y fijar de esta manera las estaciones de muestreo, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: oxígeno disuelto (O_2), dióxido de carbono (CO_2), pH, conductividad y abundancia de especies del fitoplancton para el embalse de Chuza. En la laguna de Chingaza, además de los parámetros anteriores, se consideraron valores de turbidez (SLADECKOVA, 1962) ortofosfatos (DONATO, 1987) y como parámetro biológico se consideró la diversidad de especies (ROBINSON & SANDREN, 1984).

Para el embalse de Chuza se tomaron en consideración los parámetros anteriores, así como la morfología del embalse y se establecieron tres estaciones para el cubrimiento total de la masa de agua. La estación 1 corresponde a la cola larga del embalse donde desemboca el río Chuza, la estación 2 ubicada en la parte media en el sitio conocido como compuertas y la estación 3 localizada justo al frente de la presa Golillas.

Para la laguna de Chingaza se definieron 5 estaciones. La estación 1 corresponde a la salida del río Frío, las estaciones 2 y 4 son zonas colindantes con bosque, la estación 3 está localizada en la desembocadura del río Frío y la estación 5 es de aguas libres.

2. FASE DE CAMPO

a. Estudio del fitoplancton

Para el análisis cualitativo del fitoplancton se colectaron las muestras con una malla de 50 μm de criba. Las muestras se fijaron con formol al 4% y ácido acético al 70%. (SCHWOERBEL, 1975).



FOTO 1. Estaciones de muestreo en la laguna de Chingaza. Salida del río Frío y zona de aguas libres (Estaciones 1 y 5)



FOTO 2. Estación No. 2 de muestreo en la laguna de Chingaza. Zona adyacente con bosque.

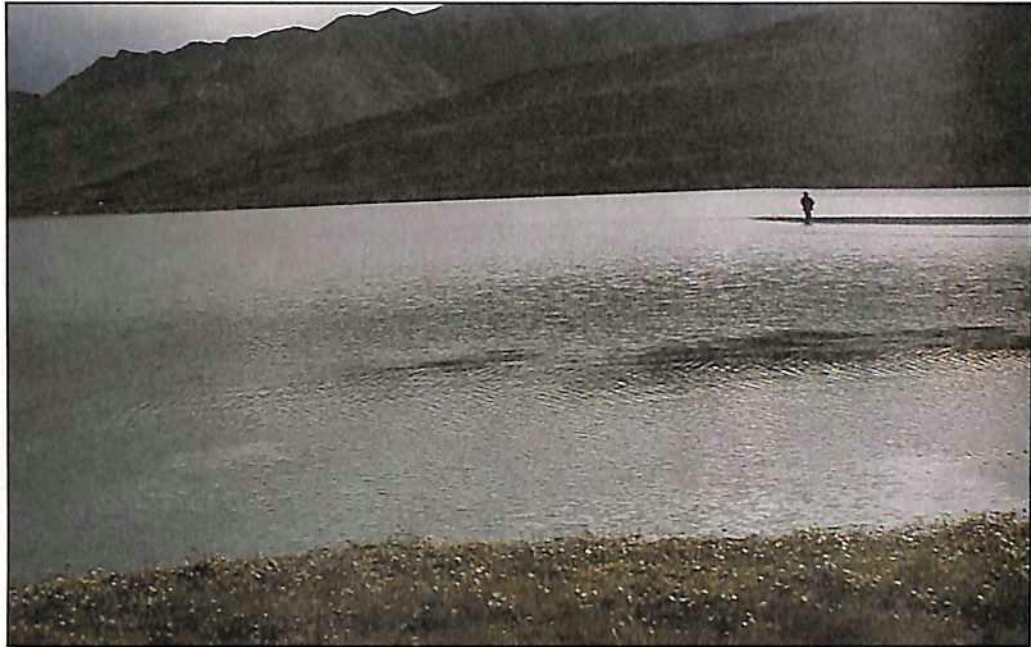


FOTO 3. Estación No. 3 de muestreo en la laguna de Chingaza. Entrada del río Frío.



FOTO 4. Estación No. 4 de muestreo en la laguna de Chingaza. Zona adyacente con bosque.



FOTO 5. Estación No. 1. Desembocadura del río Chuza en el embalse de Chuza.



FOTO 6. Estación No. 2. Parte Media o Compuertas en el embalse de Chuza.



FOTO 7. Estación No. 3. Presa Golillas en el embalse de Chuza

Para el análisis cuantitativo se tomaron las muestras con una botella muestreadora horizontal (Van Dorn) de un litro de capacidad, a veinte centímetros, un metro, y adicionalmente para el embalse de Chuza, a tres y cinco metros de profundidad. Las muestras se fijaron con lugol (0,5 ml. de la solución por cada 100 ml. de la muestra) (LUND, ET AL, 1958; SCHWOERBEL, 1975; VOLLENWEIDER, 1974).

b. Estudio de perifiton

Para el estudio de las microalgas perifíticas se aplicó la técnica de colonización en placas artificiales. Se utilizaron placas acrílicas de 12 x 5,5 cm, las que se montaron en pares con la ayuda de varillas de hierro recubiertas con papel metálico y cinta de enmascarar para evitar su oxidación: los montajes se sostuvieron, por medio de cáñamo encerado, a troncos y piedras dentro del agua. Las dimensiones, posición y disposición de las placas se esquematizan en la FIGURA No. 3.

Las placas se ubicaron en los sitios de muestreo a una profundidad aproximada de 5-10 cm, simulando lo mejor posible las condiciones de los sustratos naturales (macrófitos y rocas). De acuerdo con SLADECKOVA (1962) y WETZEL (1981), en este tipo de estudios, los sustratos artificiales deben estar colocados verticalmente para eliminar en parte el problema de

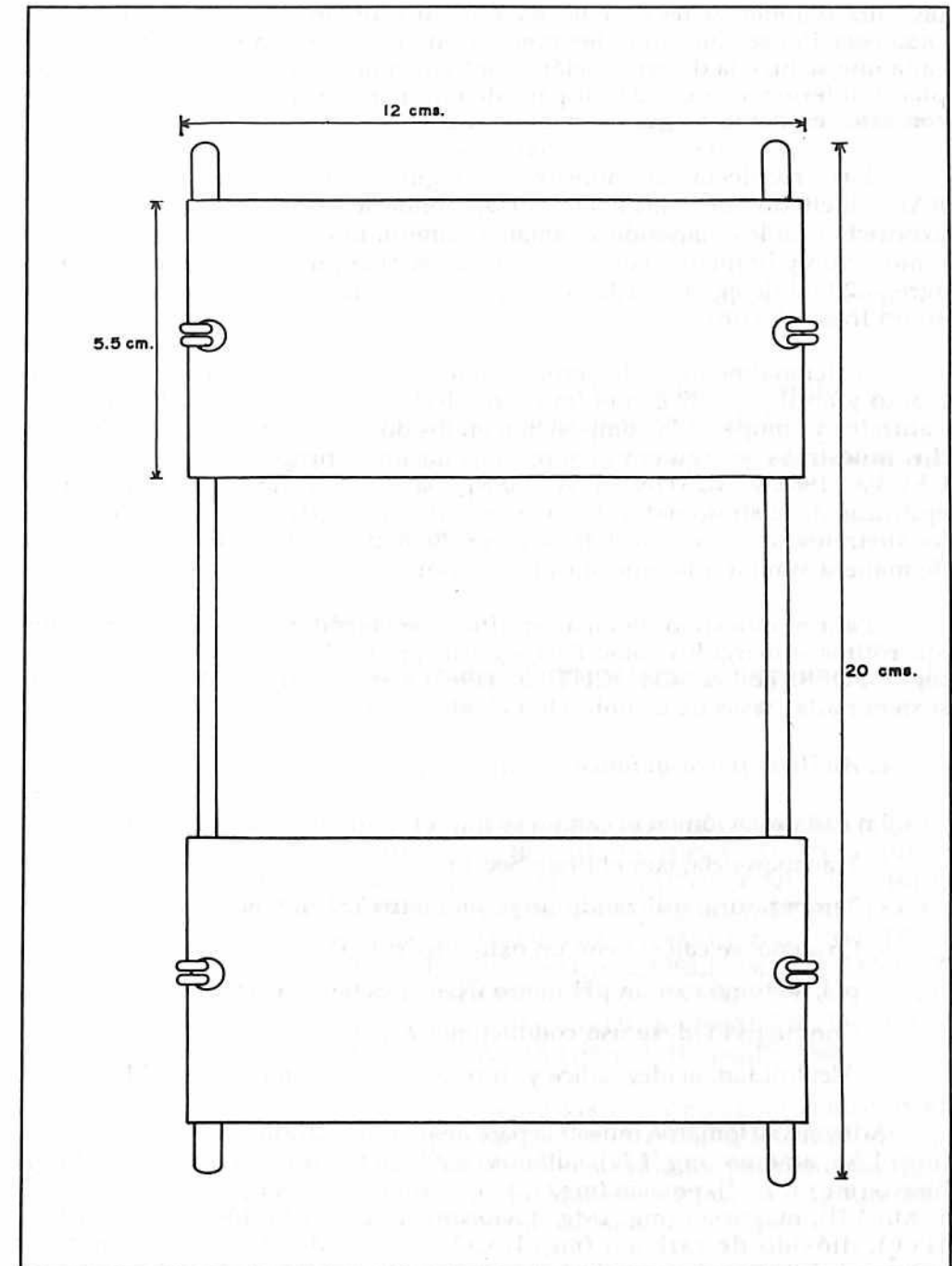


FIGURA No. 3. Diseño de las placas de colonización de perifiton.

una alta sedimentación y de la caída de otros organismos planctónicos. En cada estación se colocaron dos montajes de placas; en la placa superior de cada uno se hizo la determinación cuantitativa de las algas, mientras que las placas inferiores se utilizaron para determinar cualitativamente las algas; con esto se intentó asegurar un mejor muestreo.

Para recolectar las muestras se siguió el método de SEDGWICK-RAFTER citado por (GREESON, 1979), donde se recomienda un tiempo de exposición de las placas de 2 semanas; cumplido este tiempo las placas se removieron y limpiaron con una espátula. A cada muestra de perifiton se le agregó 20 ml de agua destilada y se fijó con 0.2 ml de lugol, conservándola en un frasco oscuro.

Adicionalmente se hicieron 2 muestreos paralelos a este trabajo en marzo y abril de 1989 con el fin de recolectar algas perifíticas de sustratos naturales y comparar la composición en los dos tipos de sustratos. En estos dos muestreos se siguieron las recomendaciones propuestas por (SLADECKOVA, 1962 y AUSTIN ET AL, 1981) para recolectar algas epilíticas y epifíticas de sustrato natural: con ayuda de una espátula se removieron de los sustratos, se colocaron en frascos con 20 ml de agua y se fijaron con lugol de manera similar a la especificada anteriormente.

Para el muestreo de algas epifíticas se consideraron básicamente los macrófitos sumergidos como *Potamogeton* spp. y *Myriophyllum* spp., ya que según FOERSTER & SCHLICHTING (1965) y WETZEL (1981) estos parecen sostener altas tasas de colonización algal.

c. Análisis físico-químico

En cada estación en el campo se midieron los siguientes parámetros:

- Transparencia, con el disco Secchi.
- Temperatura, utilizando un termómetro YSI modelo 33.
- Oxígeno, se calculó con un oxímetro YSI 57
- pH, se tomó con un pH-metro CG-818 Schott Gerate.
- Conductividad, se usó conductímetro YSI 33.
- Alcalinidad, acidez, sílice y dureza con una batería Aqua-Merck®

Además, se tomaron muestras para análisis de nitratos (mg/1.N), nitritos (mg/1.N), amonio (mg/1.N), sulfatos (mg/1.SO₄), ortofosfatos (mg/1.PO₄), hierro (mg/1. Fe⁺⁺), potasio (mg/1. K⁺), sodio (mg/1. Na), manganeso (mg/1. Mn VII), magnesio (mg/1Mg⁺⁺), cloruros (mg/1. Cl⁻), fósforo total (mg/1PO₄), dióxido de carbono (mg/1. CO₂), y turbidez (Unidades nefelométricas). Estos análisis se efectuaron dentro de las siguientes 24 horas a su recolección, en el laboratorio de aguas del Departamento de Ingeniería Am-

biental de la Universidad Nacional y en los Laboratorios de Química de la Universidad Javeriana teniendo en cuenta los métodos recomendados por la A.P.H.A.(1986).

Cabe anotar que todas las muestras se refrigeraron a una temperatura de 4 °C, y se conservaron en la oscuridad (CASTAGNINO, 1982; SALAS, 1983).

Para encontrar el valor de saturación de la solubilidad del O₂ disuelto. Se utilizó la fórmula:

$$S_x = S_{px} / 760 \text{ (según GOLTERMANN \& CLYMO, 1971)}$$

donde:

- S_x es la solubilidad de O₂ a la presión P_x y a la temperatura de los sistemas a estudiar (laguna de Chingaza, embalse de Chuza).
- S es la solubilidad de O₂ a una presión de 760 mm para la temperatura media de los cuerpos de agua.
- P es la presión sobre los sistemas a estudiar.

3. FASE DE LABORATORIO

Se llevó a cabo en el Laboratorio de Limnología del Departamento de Biología de la Universidad Javeriana.

a. Estudio de fitoplancton y perifiton

Para la determinación de las algas se utilizaron las claves de HUBER-PESTALOZZI (1938-1972), KRIEGER & BOURELLY (1956), HUSTED (1959); VAN-HEURCK (1962), DESIKACHARY (1968), YACUBSON (1956, 1969, 1974, 1979-1981, 1984, 1986), PRESCOTT (1962, 1973), ASPREY, ET AL. (1964), BICUDO & BICUDO (1970), LACOSTE DE DIAZ (1980a, 1980b, 1981), TELL (1980), TRACANNA (1980), COESEL (1979, 1981, 1982, 1983, 1985), FERNANDEZ (1983), PARRA, ET AL. (1982a, 1982b, 1982c, 1983), RIVERA, ET AL (1982), STEINITZ-KANNAN, ET AL. (1982, 1988), RIEHL & INFANTE (1987), DE OLIVERA, ET AL. (1986), MATOS & PARRA (1986), WILLIAMS (1988).

Para facilitar la determinación de las diatomeas se removió el protoplasma siguiendo la técnica propuesta por HASTLE & FRIXELL (1970). A cada muestra se agregó ácido sulfúrico concentrado, permanganato de potasio y ácido oxálico; se centrifugó repetidas veces hasta que el contenido vivo celular de cada frústulo se oxidó completamente.

Para el análisis cuantitativo se utilizó un microscopio invertido PhotoZoom Bausch & Lomb.

Las cámaras se construyeron con tubos de PVC de 2 cm de diámetro, adheridos a láminas porta-objetos por medio de silicona. El llenado de las mismas se realizó de acuerdo con las recomendaciones dadas por LUND ET AL. (1958), SCHWOERBEL (1975) y MARGALEF (1983). Las microfotografías se hicieron con ayuda de un microscopio Nikon Optihot FX-35A.

Es importante considerar un conteo superior a 100 individuos de las especies más representativas. Para el cálculo del error standard se empleó la fórmula original de Student (LUND, ET AL 1958) que se expresa de la siguiente manera.

$$F_{\max} = 2 \times \frac{100}{n}$$

donde n representa el número de individuos por conteo, con un límite de confiabilidad de 0.95.

Debido a la alta densidad de individuos perifíticos presentes en cada muestra, el volumen utilizado para los conteos (1ml) garantiza el número de individuos requeridos para asegurar un conteo significativo. Para efectuar la determinación cuantitativa, se tomaron muestras por separado de cada una de las placas de colonización y se realizó el conteo respectivo. Los resultados de los conteos se expresan en números de individuos por área de superficie, de acuerdo con la fórmula:

$$\frac{\text{total células Perifiton}}{\text{cm}^2 \text{ de superficie}} = \frac{\text{No células ml} \times \text{vol. total de muestra}}{\text{Area total de la placa (cm}^2\text{)}}$$

(Modificada de GRESSON, 1979).

4. PROCESAMIENTO DE DATOS

La simplificación de los datos para facilitar su manejo, se basó en los métodos de ordenación y clasificación (CLIFFORD & STEPHENSON, 1975; MATTEUCCI & COLMA, 1982; CRISCI & LOPEZ, 1983; ZAVALA, 1986; PLA, 1986; FEISENSTEIN, 1988).

a. Análisis de agrupamientos

Consiste en dividir el sistema multidimensional en compartimientos, donde se ubican los puntos que presentan mayor similitud entre sí (MATTEUCCI & COLMA, 1982).

Método 1 : La matriz de datos primarios físicos y químicos pertenecientes a aguas profundas del embalse de Chuza, se transformó mediante la utilización del Log (n+1), con excepción de los valores de pH y temperatura

(°C). Posteriormente la matriz transformada se analizó mediante un índice de similitud y sobre esta matriz secundaria de similitud se realizó un análisis de conglomerados (cluster) mediante la estrategia U.P.G.M.A. que se expresó gráficamente en un dendrograma (FIGURA No. 39)

Método 2 y 3 : A la matriz de datos primarios tanto de las 66 muestras de fitoplancton como de las 62 para perifiton se les aplicó el procedimiento anterior, con la salvedad que para estos casos, se utilizó el coeficiente de correlación cofenética y sobre esta matriz de correlación se realizó un análisis de conglomerados utilizando el índice semicuantitativo de Bray-Curtis.

b. Ordenación

Consiste en reducir el número de ejes de variación, simplificando el espacio multidimensional hasta obtener un sistema que contenga la mayor parte de la variación en unos pocos ejes, en los cuales se recupera la máxima cantidad de información (CLIFFORD & STEPHENSON, 1975; MATTEUCCI & COLMA, 1982).

Método 1: Se utilizó el método de Análisis de Componentes Principales, a partir de la matriz de datos primarios de las muestras físicas y químicas de aguas superficiales para el embalse de Chuza, previamente estandarizadas el cual se les aplicó el índice de correlación producto-momento de Pearson.

Método 2 : Para el análisis e interpretación de los datos físicos, químicos y del fitoplancton y perifiton de la laguna de Chingaza, se utilizó la técnica de coordenadas principales, utilizando (PCORD). Cada una de las matrices de los datos primarios, fueron previamente transformadas en log (n+1), posteriormente la matriz transformada se analizó mediante un coeficiente de asociación de Bray-Curtis y sobre estos datos se aplicó la técnica de Análisis de Coordenadas Principales utilizando para ello el subprograma "Principal Coordinate Analysis" (PCORD), del paquete estadístico bioΣtat.

Además de los análisis descritos, para la taxocenosis de los lagos del fitoplancton y perifiton se determinó la diversidad mediante la aplicación del índice de Shannon-Weaner, que indica la estructura de la comunidad resultado de las diferentes formas de interacción entre los elementos del sistema (MARGALEF, 1983). Dicha fórmula contiene dos componentes a saber:

- Riqueza de especies y proporción de las abundancias relativas de los individuos dentro de cada especie, dicha fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$H = -\sum Ni/N \log_n Ni/N$$

donde :

H = Es la diversidad expresada en Bits de información, el rango de este valor oscila de 1 a 5 para comunidades naturales (MARGALEF, 1980, 1983; FLOS, 1984)

N_i = Número total de individuos de la especie i

N = Número total de individuos encontrados en la muestra.

CAPÍTULO II LAGUNA DE CHINGAZA

A. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Chingaza está ubicada a 85 km al este de Santafé de Bogotá, en la vertiente este de la cordillera oriental, a 4°32' N y 73°45' W y a una altura de 3.265 m.s.n.m. y forma parte del Parque Nacional Natural Chingaza, el cual tiene un área de 50.374 Ha y se encuentra en jurisdicción de los departamentos de Cundinamarca y Meta; el parque comprende además las cuencas de los ríos Siecha, Guavio y Guatiquía, este último formado por las corrientes de los ríos Chuza, La Playa y río Frío (INDERENA, 1986).

La laguna está formada por la corriente represada del río Frío, tiene un área aproximada de 8.8 Ha, su cuenca de drenaje es de 2.118 Ha; el volumen embalsado es de 8'800.000 m³ aproximadamente y su profundidad media es de 17 m (GAVIRIA, 1983).

En la zona se ha podido comprobar la existencia de paleo-paisajes existentes desde el terciario determinados por afloramientos del mismo período, los cuales han sido modelados y modificados por los períodos glaciares e interglaciares ocurridos durante el cuaternario. Estos períodos originaron los arcos de erosión y las morrenas comunes en el área. Es así como la laguna de Chingaza es de origen glaciar y se encuentra rodeada por una morrena frontal en forma de media luna, de 0.8-1.5 km de longitud y dos morrenas laterales separadas por el río Frío, de 1.5 y 2 km de longitud respectivamente (ORTIZ Y RUBIO, 1979).

Según FRANCO (1982), el sector de la laguna está constituido hacia el sur por las capas de la laguna de Chingaza (paleozoico) y hacia el norte por la parte media del grupo Cáqueza (mesozoico) que se encuentra sobre el macizo de Quetame. Este macizo proviene de la transformación de las rocas cambro-ordovicianas durante el desarrollo del geosinclinal caledoniano que dio origen a la cordillera oriental. De acuerdo con ARISTIZABAL Y CASTANEDA (1983) la formación Cáqueza consta de pizarras algo metamorfoseadas, intercaladas con areniscas duras y cuarcitas.

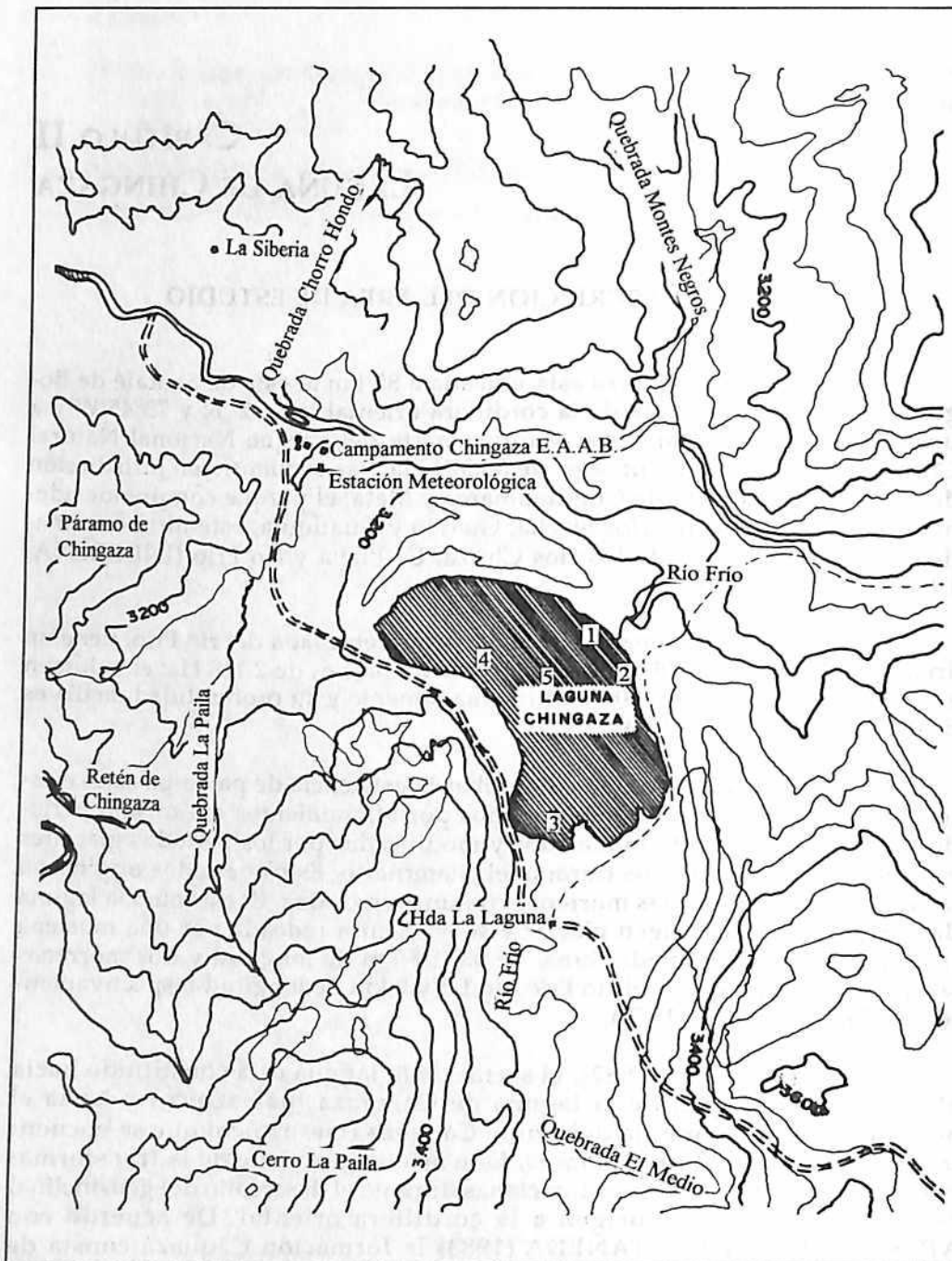


FIGURA No. 4. Mapa de la laguna de Chingaza, indicando las estaciones de muestreo.

Las capas de la laguna de Chingaza se encuentran en forma discordante sobre el macizo de Quetame y están compuestas por una secuencia de conglomerados de filitas, pizarras y cuarzos de 50 m de espesor.

Los suelos en los alrededores de la laguna son el resultado de la interacción de clima y vegetación, como factores principales y el material parental y relieve como factores secundarios. Los procesos más importantes son la pérdida y transformación que se reflejan en las propiedades químicas de los suelos de páramo.

Estos suelos son Isomésicos (con temperatura media entre 8-15 °C), Udicos (la humedad almacenada más la precipitación son iguales a la evapotranspiración) a Perúdicos (la humedad almacenada más la precipitación exceden la evapotranspiración) y Acuicos (con saturación de agua en algunas épocas del año) a Perúcicos (definitivamente pantanosos). Químicamente son suelos ácidos, con capacidad catiónica de cambio alta, bases totales bajas, pobres en saturación de calcio y fósforo, alta saturación de aluminio y muy ricos en carbón orgánico (FRANCO, 1982).

Una alta proporción de los suelos pertenece al orden Inceptisoles y en menor proporción a los órdenes Entisoles e Histosoles. Los Inceptisoles, de mayor cobertura, pertenecen al suborden Tropepts en relieves planos, y en zonas quebradas se encuentran suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas. Los Entisoles, representados por el suborden Fluvets se encuentran en la planicie de inundación del río La Playa. De los Histosoles se encuentra el suborden Hemist, localizado en relieves planos en los valles de las quebradas.

Según FRANCO (1982), en los alrededores de la laguna se desarrollan los siguientes tipos fisionómicos de vegetación:

- Pajonales característicos de páramos andinos dominados por *Calamagrostis effusa*, donde se encuentran las siguientes unidades fisionómicas:

Calamagrostis effusa y *Espeletia grandiflora*
Calamagrostis effusa y *Swallenochloa tessellata*

- Enclaves de bosque alto-andino dominados por *Drimys granatensis* y *Weinmannia fagaroides*, con las siguientes unidades fisionómicas:

Bosque con *Drimys granatensis* y *Weinmannia fagaroides*
 Bosque de ribera con *Ageratina tinifolia*
 Chuscal con *Swallenochloa tessellata*

- Matorral de páramo representado por formas arbustivas y nanófilas con las unidades fisionómicas:

Arcytophyllum nitidum
Aragoa abietina

Hypericum goyanesii
Senecio nitidus

- Vegetación de pantano en la ribera de la laguna, con las unidades fisionómicas:

Comunidad de *Ranunculus flagelliformis*
Comunidad de *Carex acutata*
Comunidad de *Carex jamesonii*
Comunidad de *Carex bonplandii*
Comunidad de *Cyperus aff. rufus*

La laguna de Chingaza también sirve como hábitat temporal o permanente a varias especies de aves como el pato migratorio *Anas flavirostris* y el pato aguja *Egretta sp.*, entre otros, lo mismo que una gran diversidad de insectos, microflora y fauna flotante que son de importancia vital dentro de la dinámica ecológica del cuerpo de agua (INDERENA, 1986). En el fondo de la laguna, adheridas a piedras, se encuentran esponjas de agua dulce, pertenecientes a la familia Espongidae; también es muy abundante un pequeño bivalvo del género *Sphaerium*, importante en la alimentación de la única especie piscícola que se encuentra en la laguna, la trucha *Salmo gairdnerii*.

Según CARREÑO Y RAMIREZ (1979), el clima de la región está determinado por la influencia de los vientos alisios del sureste, que produce un régimen de precipitaciones unimodal, con un solo período de lluvias, entre mayo y agosto (más del 60% de las lluvias totales del año), y otro relativamente seco entre diciembre y febrero.

En este fenómeno la influencia de los vientos alisios se manifiesta en razón de la época del año en la que se presenta, pues el pico máximo de lluvias coincide con un traslado de la zona de convergencia intertropical hacia el hemisferio boreal. El promedio de precipitación anual para la laguna es de 1.680 mm.

La temperatura promedio de la zona fluctúa entre 7-10 °C y el período de invierno puede durar hasta 8 meses continuos de abril a noviembre. Las diferencias de temperatura del mes más frío no alcanzan los 5 °C. El rango de variación de la amplitud térmica diaria va desde los 25 °C para los meses de diciembre a febrero hasta los 13 °C para los meses de junio a agosto. Según la clasificación climática de Koeppen, el área de la laguna presenta un clima frígido de tundra (ETH) (INDERENA, 1986).

El comportamiento de temperatura y precipitación se ve corroborado con los datos de precipitación media para un período de 25 años (1966-1990) y temperatura media para un período de 5 años (1986-1990), obtenidos por la E.A.A.B. (FIGURAS Nos. 5 y 6).

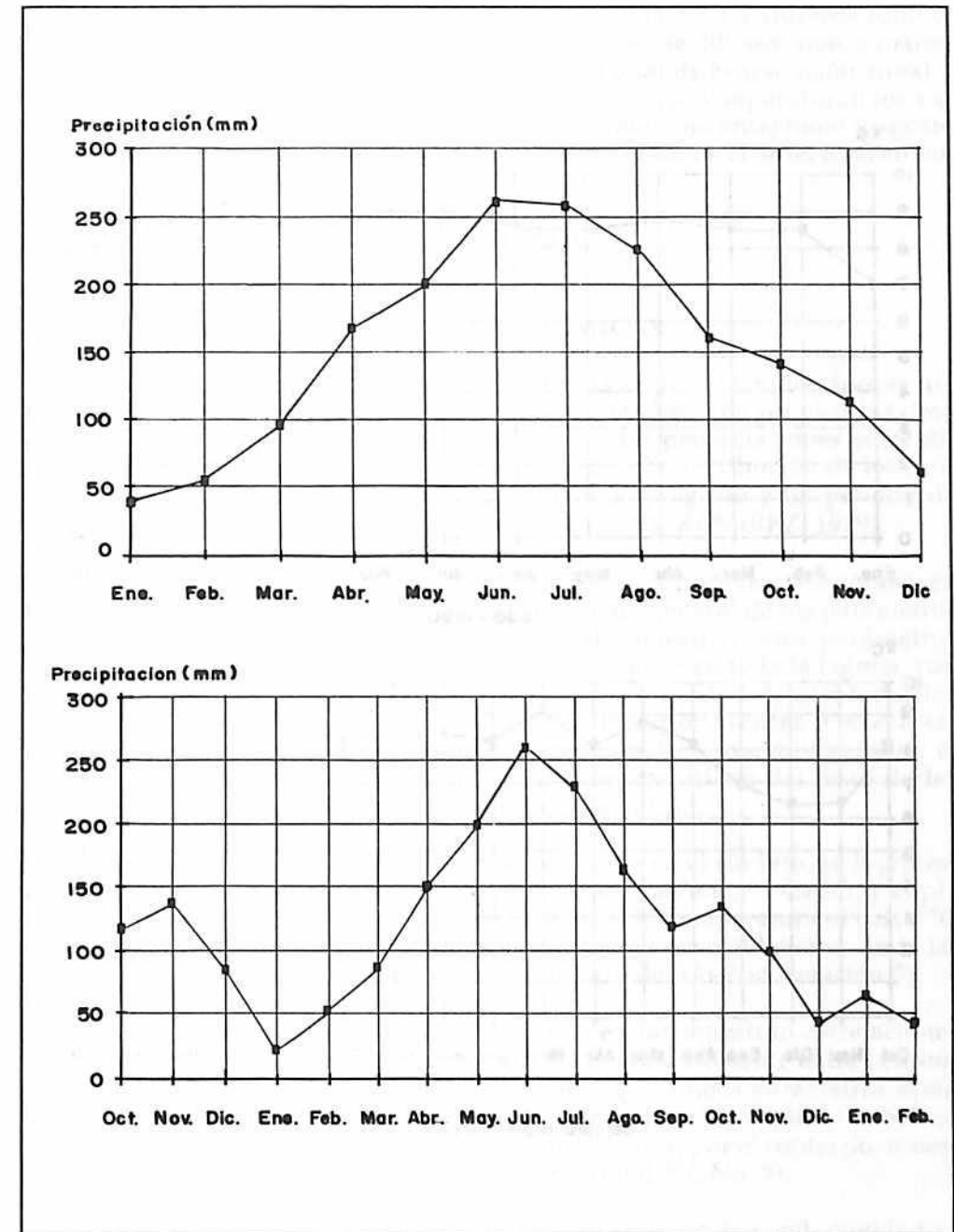


FIGURA No. 5. Valores de precipitación media para un período de 25 años (1966-1990) y precipitación media para el período de muestreo (octubre 1988-febrero 1990). Laguna de Chingaza.

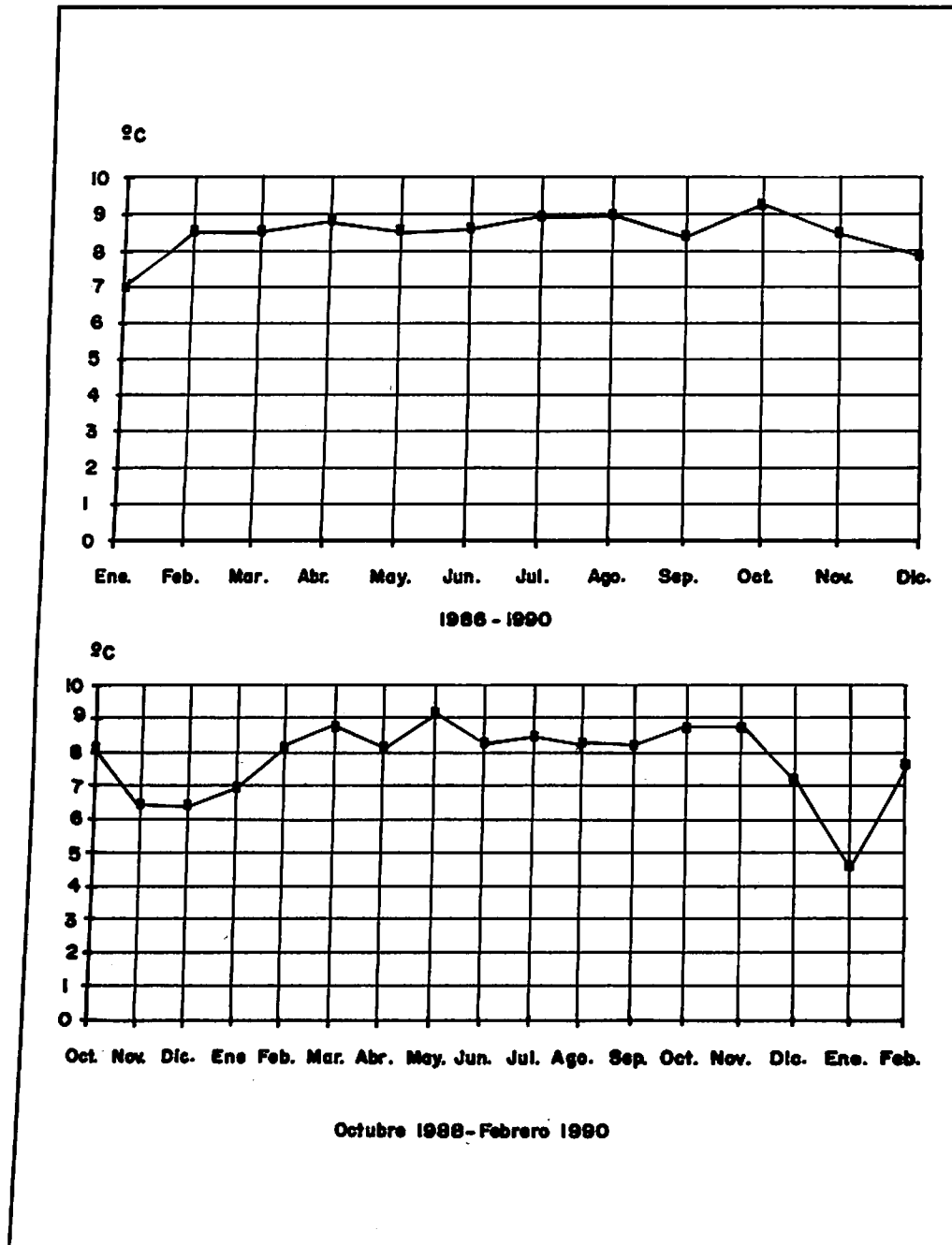


FIGURA No. 6. Valores de temperatura media para 5 años (1986-1990) y para el período de estudio. Laguna de Chingaza.

La humedad del ambiente es alta para toda la zona y durante todo el año se mantiene entre 85-90%. La evaporación es de 500-600 mm anuales. Los valores más altos están entre el 40-50% del total de evaporación anual y se presentan de diciembre a febrero (meses con mayor temperatura); los valores mínimos de evaporación corresponden al intervalo entre junio y agosto (meses con las temperaturas más bajas) con cifras entre 11-21% del total anual.

B. RESULTADOS

1. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

Climáticamente, en la laguna de Chingaza se presentan dos épocas definidas: una estación lluviosa entre abril y noviembre, con un pico máximo entre mayo y agosto y una estación con menores precipitaciones entre diciembre y marzo. De manera similar, se presenta la distribución de los caudales, con un período de aguas altas entre junio y agosto y un período de aguas bajas entre diciembre y marzo (CARREÑO & RAMIREZ, 1979).

Como se observa en la FIGURA No. 7, estas variaciones temporales en la precipitación influyen sobre el comportamiento general de los parámetros físicos y químicos; así, en todos los meses de muestreo estos parámetros tienen un comportamiento relativamente homogéneo en toda la laguna, con excepción del mes de agosto cuando ocurre una variación de casi todos los valores con la separación de muestras correspondientes a ese mes. Adicionalmente, se observa como en la estación 3 en marzo y octubre, el comportamiento de los factores físicos y químicos difiere del resto de las estaciones, como consecuencia de la influencia del río.

De acuerdo con el análisis puntual realizado en el río Frío, se logró establecer que los valores de dureza varían entre 26 y 76 mg/l CaCO_3 y el pH entre 7.0 y 7.5, siendo mayores que en la laguna. La temperatura es casi 2°C menor que en ella. Estas características inciden en las condiciones de la laguna en la estación correspondiente a la llegada del río Frío (estación 3).

En la FIGURA No. 8 se agrupan los factores que muestran correlaciones positivas. En ella puede apreciarse la alta correlación existente entre la dureza y la conductividad; así mismo, es evidente que ambos parámetros están definidos por la variación en las concentraciones de calcio, sodio y en menor grado, sulfatos y potasio (TABLA No. 1). Los cloruros, por el contrario, muestran una correlación negativa con la dureza (FIGURA No. 9).

Otro parámetro correlacionado positivamente con la conductividad es la alcalinidad (FIGURA No. 10, TABLA No. 2, ANEXO No. 1), lo cual indica que esta última es debida básicamente a la presencia de iones bicarbonato en el medio.

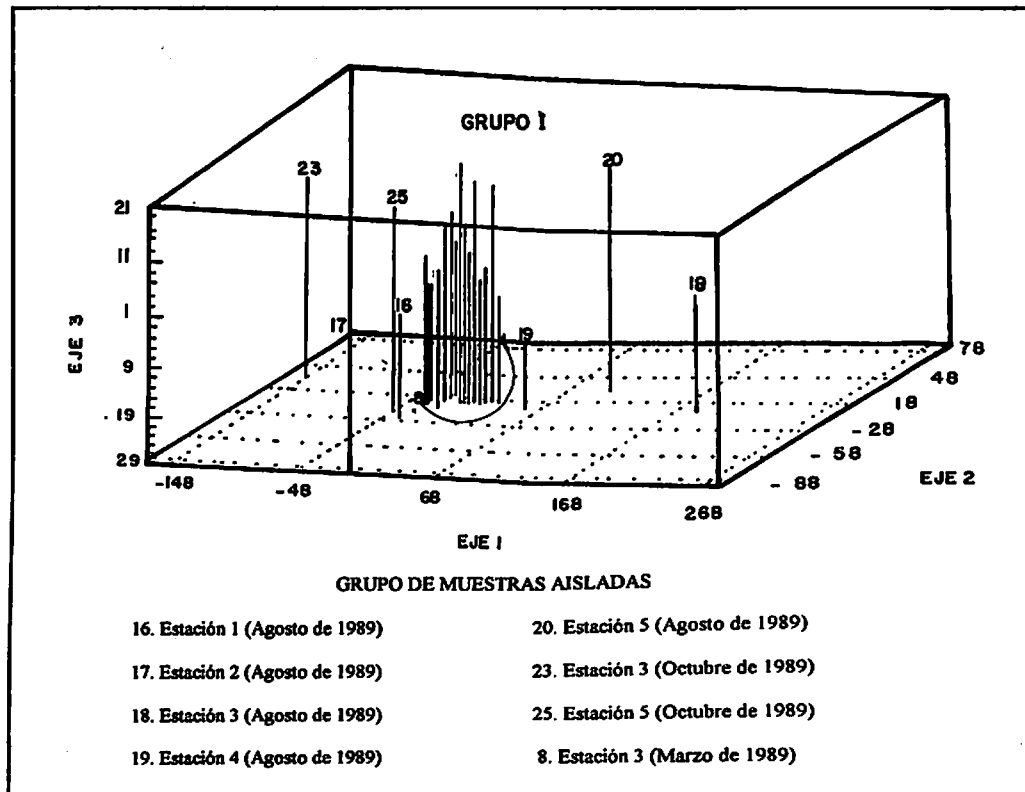


FIGURA No. 7. Análisis de coordenadas principales para los parámetros físicos y químicos estudiados en la laguna de Chingaza.

Los cationes a los cuales se atribuye la alcalinidad de la laguna son calcio y sodio y en menor medida magnesio (TABLA No. 3). Esto resalta el papel preponderante que cumple la cuenca en la baja mineralización y aporte de estos iones a la laguna. Puesto que la alcalinidad está directamente relacionada con el mecanismo amortiguador del sistema carbónico-carbonatos, puede suponerse que una variación en los valores de este parámetro determine las variaciones de pH; sin embargo, en la laguna de Chingaza factores como CO_2 y acidez total influyen de manera más directa en los cambios de pH (FIGURAS Nos. 11, 12, TABLA No. 4). Como es lógico suponer, alcalinidad y acidez tienen correlación negativa (FIGURA No. 9) mientras el CO_2 muestra una correlación positiva con aquella.

Dos de los nutrientes necesarios para el desarrollo de las algas, son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). Para RICHERSON, ET AL (1986) y WURTSBAUGH (1985), los lagos de alta montaña tropical reflejan una limitación de nitrógeno. El comportamiento y los valores de la relación atómica

TABLA No. 1
Valores de sulfatos (mg/l SO_4) y cloruros (mg/l Cl) para la laguna de Chingaza (octubre 1988-febrero 1990).

FECHA	ESTACION	SULFATOS (mg/l SO_4)	CLORUROS (mg/l Cl)
Octubre/ 88	1	5	1.0
	2	4	0.5
	3	5	0.5
	4	4	0.5
	5	4	0.5
Marzo/89	1	6	0.5
	2	6	0.5
	3	9	0.5
	4	6	0.5
	5	6	0.5
Junio/89	1	4	0.5
	2	4	0.5
	3	4	0.5
	4	4	0.5
	5	4	0.5
Agosto/89	1	2	0
	2	1	0
	3	2	0
	4	4	0
	5	3	0
Octubre/89	1	5	0.5
	2	5	0.5
	3	7	1.0
	4	5	0.5
	5	5	0.5
Febrero/90	1	5	1.0
	2	5	0.5
	3	4.6	0.5
	4	5	0.5
	5	5	1.0

TABLA No. 2
Valores de alcalinidad y dureza en mg/l CaCO₃ y conductividad en μ S/cm en la laguna de Chingaza (octubre/88 - febrero/90)

FECHA	ESTACION	ALCALINIDAD (mg/lCaCO3)	DUREZA (mg/l CaCO3)	CONDUCTIVIDAD (uS/cm)
Octubre/88	1	20	24	44
	2	18	24	43.5
	3	20	26	45.8
	4	20	28	45
	5	20	26	42.2
Marzo/89	1	26	34	51
	2	26	28	48
	3	40	40	84
	4	24	28	50
	5	26	28	50
Junio/89	1	22	24	43
	2	20	24	41
	3	22	22	41
	4	22	24	43
	5	22	24	43
Agosto/89	1	18	24	40
	2	14	12	24
	3	16	16	31
	4	18	22	41
	5	18	22	39
Octubre/89	1	20	26	36
	2	20	26	37
	3	34	40	72
	4	18	26	39
	5	18	26	38
Febrero/90	1	24	30	47
	2	24	32	43
	3	60	88	155
	4	22	30	48
	5	24	30	40

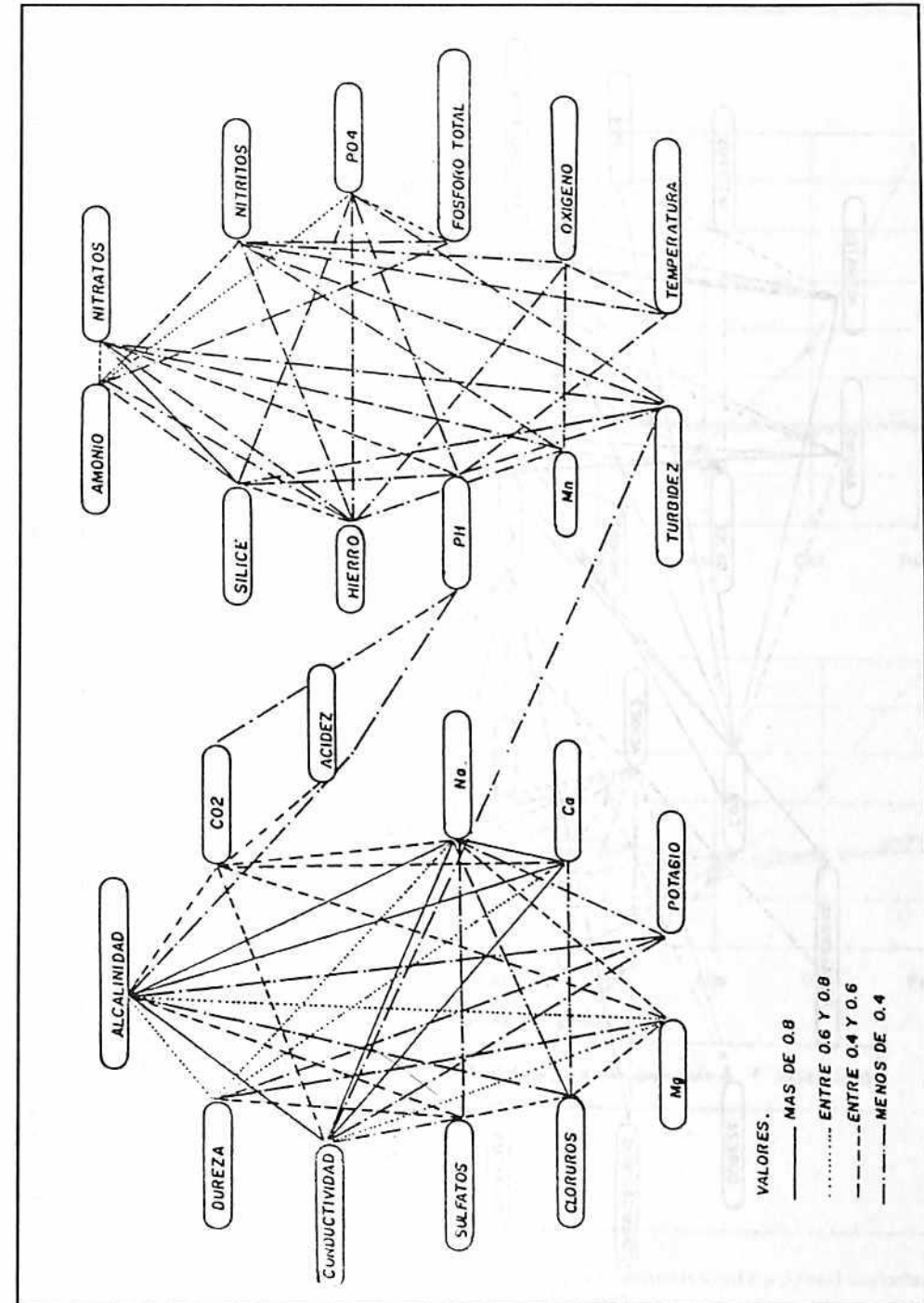


FIGURA No. 8. Red de correlaciones estadísticas positivas entre variables físicas y químicas de la laguna de Chingaza.

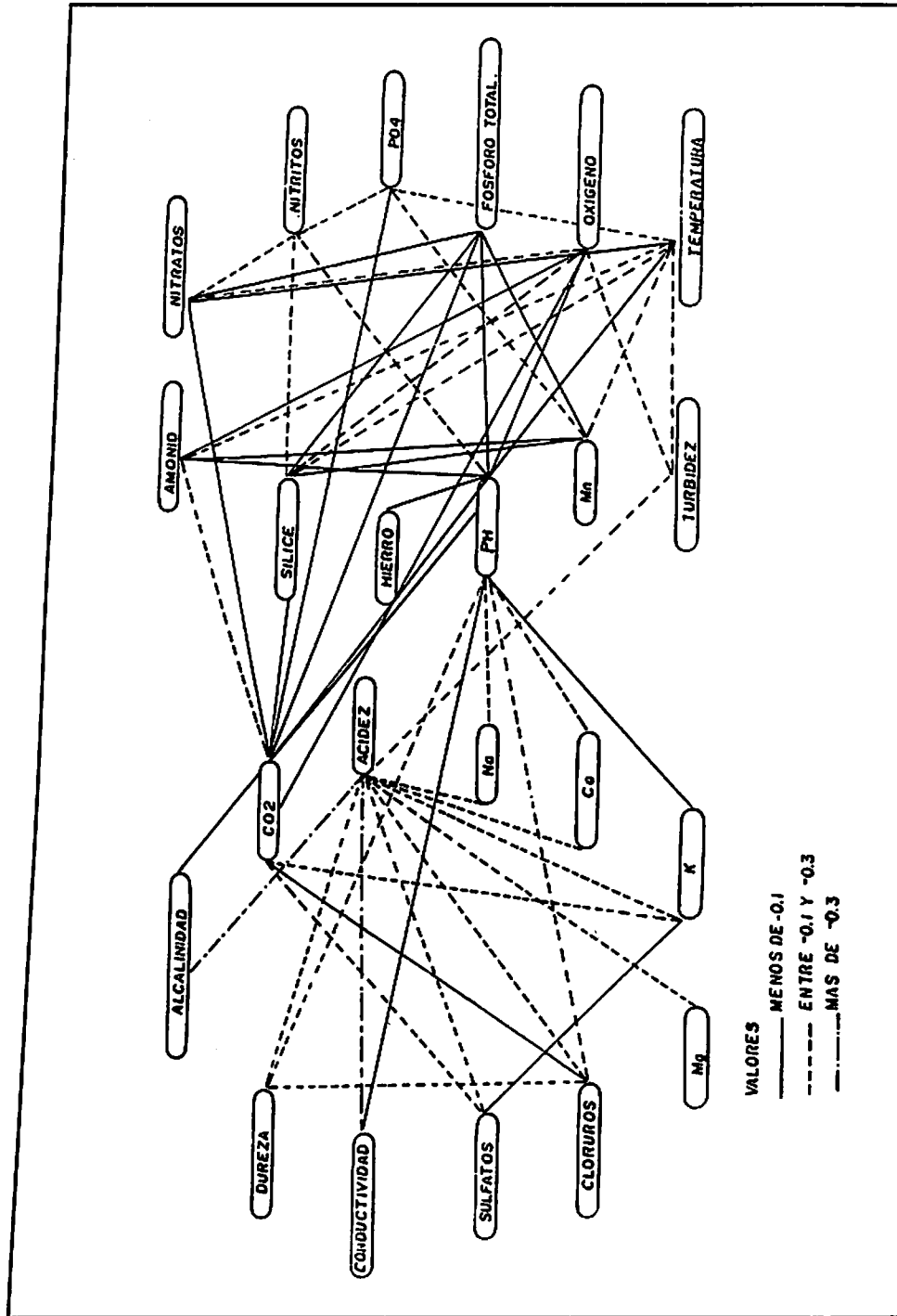


FIGURA No. 9. Red de correlaciones estadísticas negativas entre variables físicas y químicas de la laguna de Chingaza.

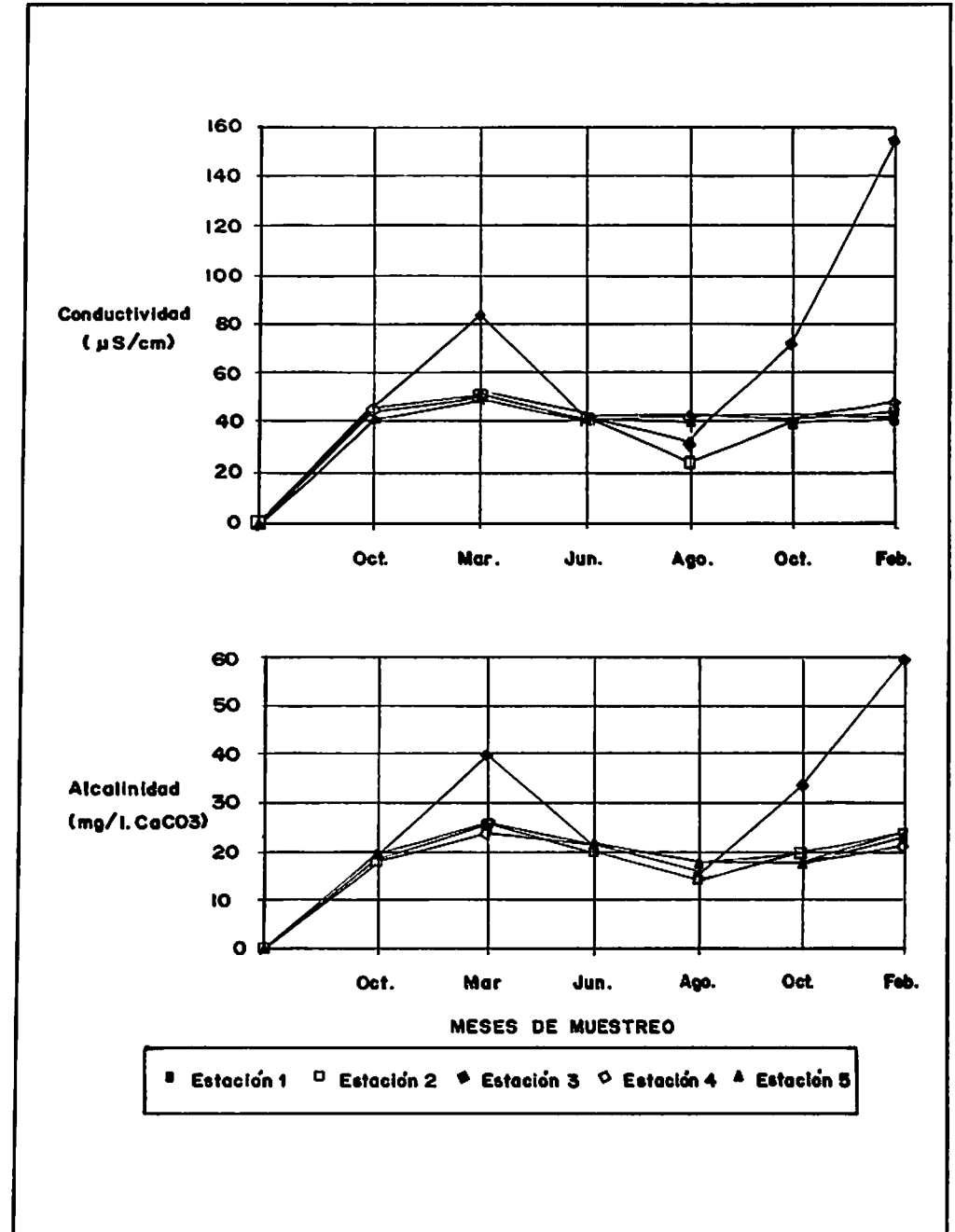


FIGURA No. 10. Valores de alcalinidad (mg/l CaCO_3) y conductividad ($\mu\text{S/cm}$) encontrados en la laguna de Chingaza.

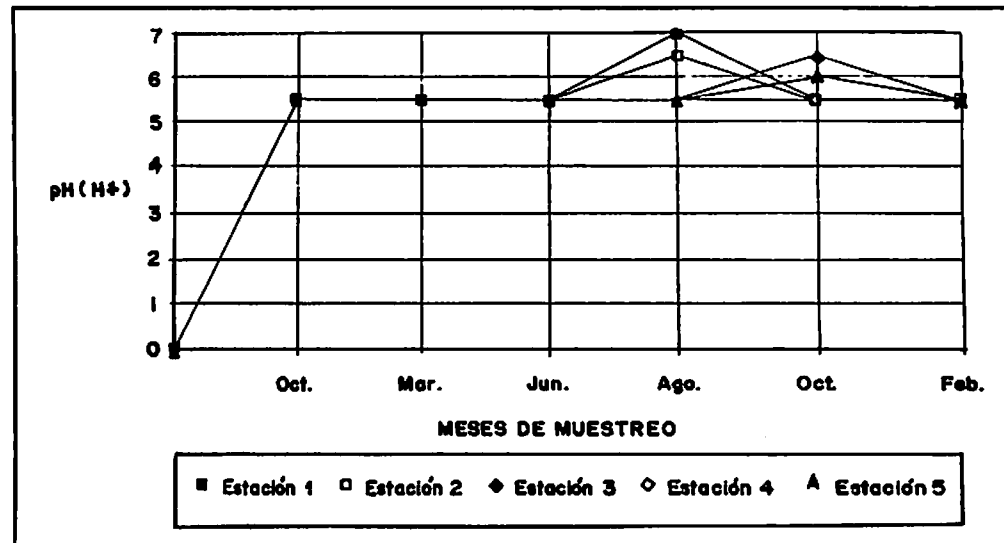


FIGURA No. 11. Valores de pH encontrados en la laguna de Chingaza.

nitrógeno/fósforo (TABLA No. 5) en la laguna parecen presentar dicha característica; el nitrógeno sólo aparece disponible en el medio en marzo, agosto y octubre, contrario al ortofosfato que aparece en todos los meses de muestreo (FIGURAS Nos. 13 y 14).

El valor de saturación de oxígeno para la laguna de Chingaza es de 7.08 mg/l; como se observa en la FIGURA No. 15 y en la TABLA No. 6, la laguna presenta a lo largo del muestreo valores de sobresaturación debido en parte al efecto del viento, por su posición topográfica al final de una cuenca estrecha, circundada por relieves abruptos y a la actividad fotosintética de su zona litoral. Aunque las concentraciones son muy uniformes, para el mes de agosto se presentan condiciones de subsaturación, como consecuencia del aporte de materia orgánica y del proceso de descomposición, aspecto que se refleja, también en el aumento de amonio encontrados.

Como es de esperar, los valores de turbidez (FIGURA No. 16) muestran una relación notable con la precipitación e indican el aporte de material en suspensión que llega a la laguna procedente de la cuenca del río Frío.

Otros elementos relacionados directamente con la actividad biótica son los cationes hierro, manganeso y sílice (FIGURA No. 17). Para sistemas oxigenados como la laguna de Chingaza, las concentraciones de estos elementos son bajas.

TABLA No. 3
Concentración de iones (Na, K, Ca, Fe, Mg) durante el período de estudio en la laguna de Chingaza.

FECHA	ESTACION	Na (mg/Na)	K (mg/LK)	Ca (mg/l CaCO ₃)	Fe (mg/l Fe)	Mg (mg/l CaCO ₃)
Octubre/88	1	0.6	0.2	16	0.42	8
	2	0.38	0.1	18	0.4	6
	3	0.50	0.1	18	0.42	8
	4	0.46	0.1	16	0.45	12
	5	0.52	0.2	16	0.5	10
Marzo/89	1	0.4	0.1	20	0.05	14
	2	0.4	0.1	20	0.05	8
	3	0.8	0.2	34	0.3	6
	4	0.4	0.1	20	0.05	8
	5	0.4	0.1	20	0.05	8
Junio/89	1	0.5	0.4	18	0.15	6
	2	0.6	0.2	18	0.15	6
	3	0.5	0.3	16	0.15	6
	4	0.6	0.2	16	0.15	8
	5	0.5	0.4	18	0.15	6
Agosto/89	1	0.3	0.1	18	0.2	6
	2	0.2	0.1	10	0.25	2
	3	0.6	0.2	14	0.6	2
	4	0.5	0.1	18	0.2	4
	5	0.3	0.1	16	15	6
Octubre/89	1	0.33	0	16	0.18	10
	2	0.33	0	16	0.2	10
	3	0.67	0.2	32	0.2	8
	4	0.33	0.1	16	0.2	10
	5	0.33	0	16	0.2	10
Febrero/90	1	0.5	0.1	20	0.08	10
	2	0.5	0	22	0.08	10
	3	1.5	0.15	60	0.4	28
	4	0.5	0	20	0.08	10
	5	0.5	0.1	21	0.08	10

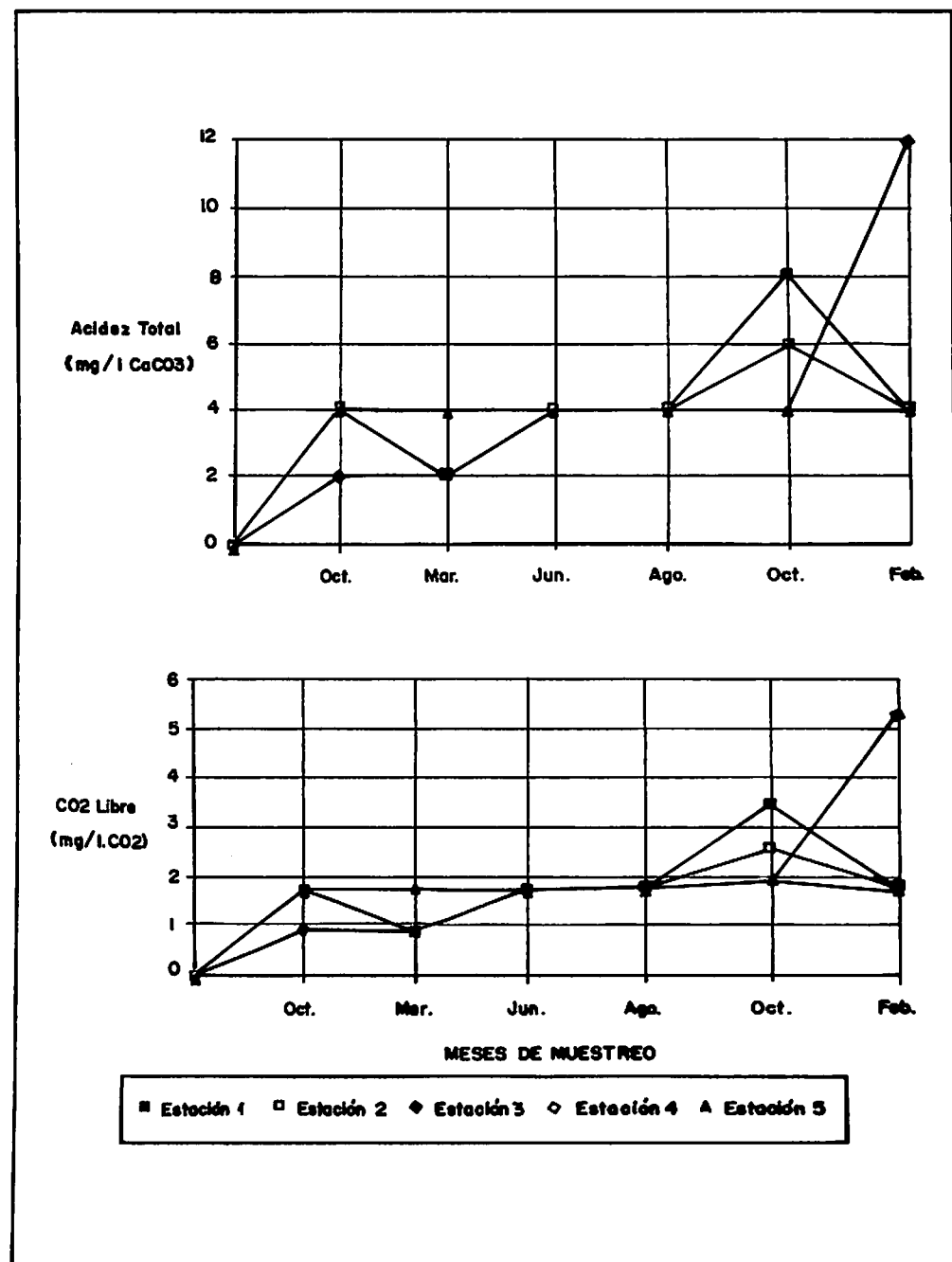


FIGURA No. 12. Valores de CO₂ (mg/l CO₂) y acidez total (mg/l CaCO₃) encontrados en la laguna de Chingaza.

TABLA No. 4
Valores de acidez (mg/l CaCO₃), CO₂ (mg/l CO₂) y pH (H⁺) en la laguna de Chingaza (octubre 1988-febrero 1990).

FECHA	ESTACION	ACIDEZ (mg/l CaCO ₃)	CO ₂ (mg/l CO ₂)	pH (H ⁺)
Octubre/88	1	2	0.88	5.5
	2	4	1.76	5.5
	3	2	0.88	5.5
	4	4	1.76	5.5
	5	4	1.76	5.5
Marzo/89	1	2	0.88	5.5
	2	2	0.88	5.5
	3	2	0.88	5.5
	4	2	0.88	5.5
	5	4	1.76	5.5
Junio/89	1	4	1.76	5.5
	2	4	1.76	5.5
	3	4	1.76	5.5
	4	4	1.76	5.5
	5	4	1.76	5.5
Agosto/89	1	4	1.8	7.0
	2	4	1.8	6.5
	3	4	1.8	5.5
	4	4	1.8	5.5
	5	4	1.8	5.5
Octubre/89	1	8	3.5	5.5
	2	6	2.6	5.5
	3	4	1.9	6.5
	4	4	1.9	5.5
	5	4	1.9	6.0
Febrero/90	1	4	1.8	5.5
	2	4	1.8	5.5
	3	12	5.3	5.5
	4	4	1.8	5.5
	5	4	1.8	5.5

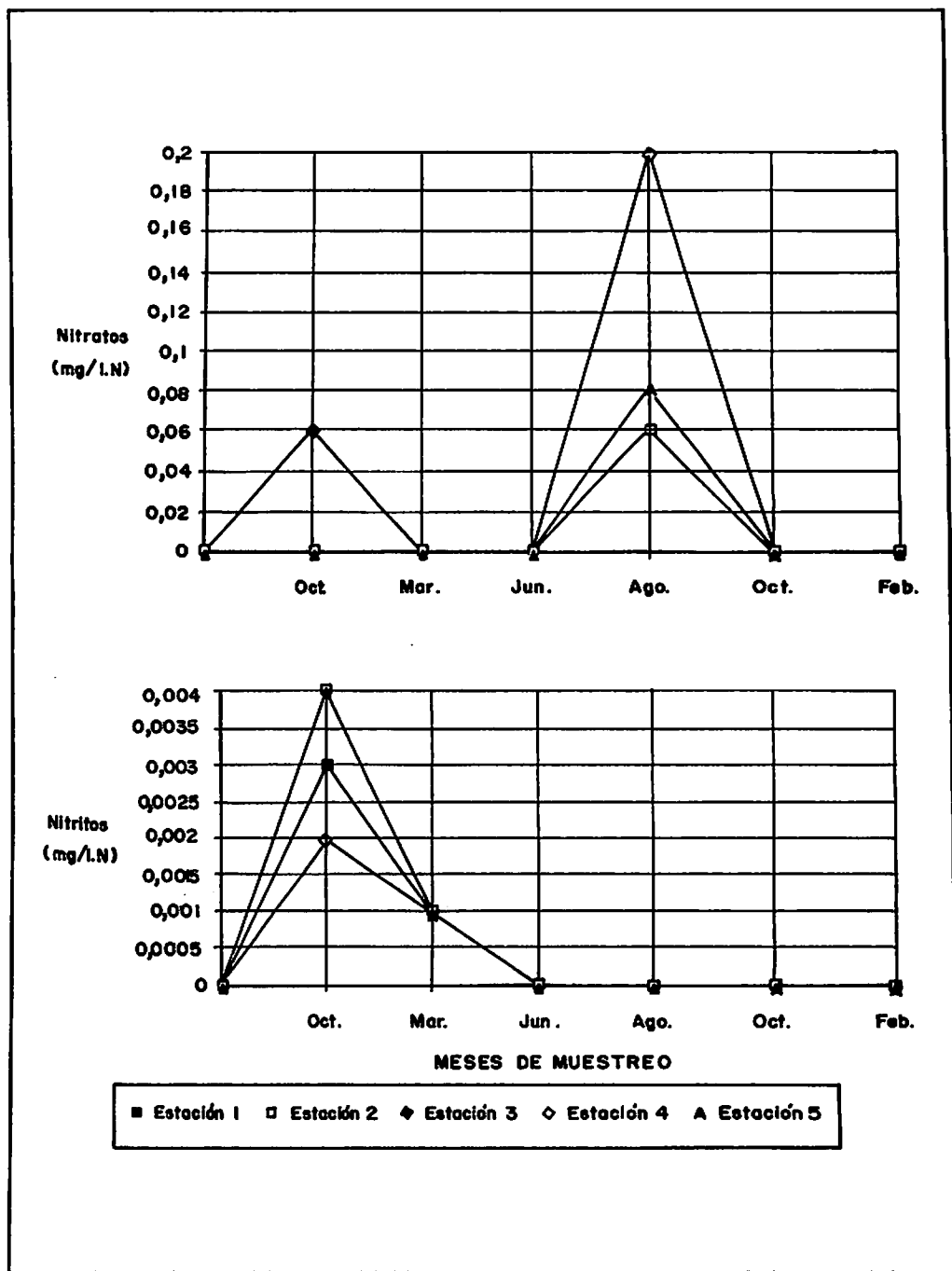


FIGURA No. 13. Valores de nitritos y nitratos (mg/l N) para la laguna de Chingaza.

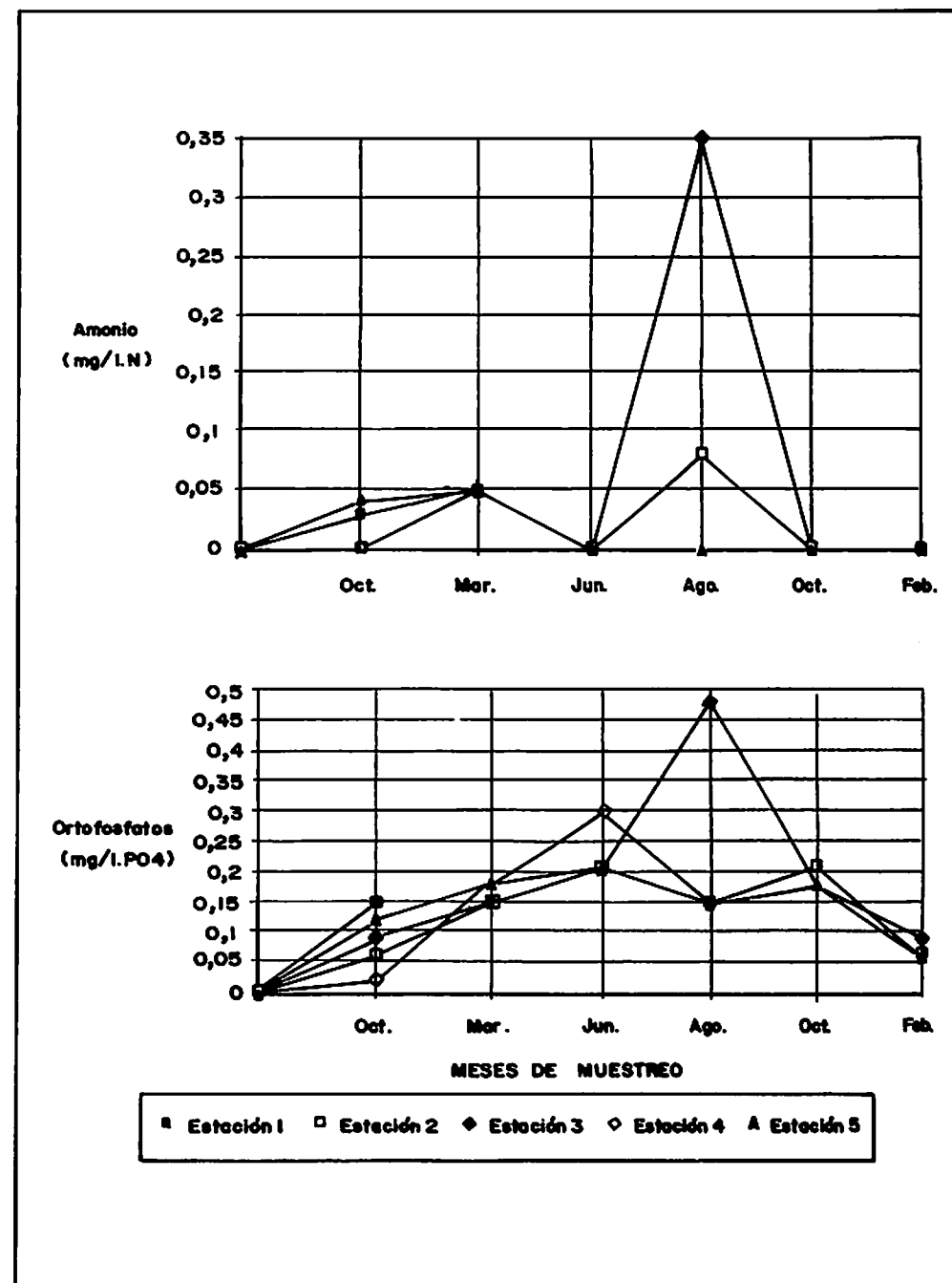


FIGURA No. 14. Amonio (mg/l N) y ortofosfatos (mg/l PO₄) encontrados en la laguna de Chingaza.

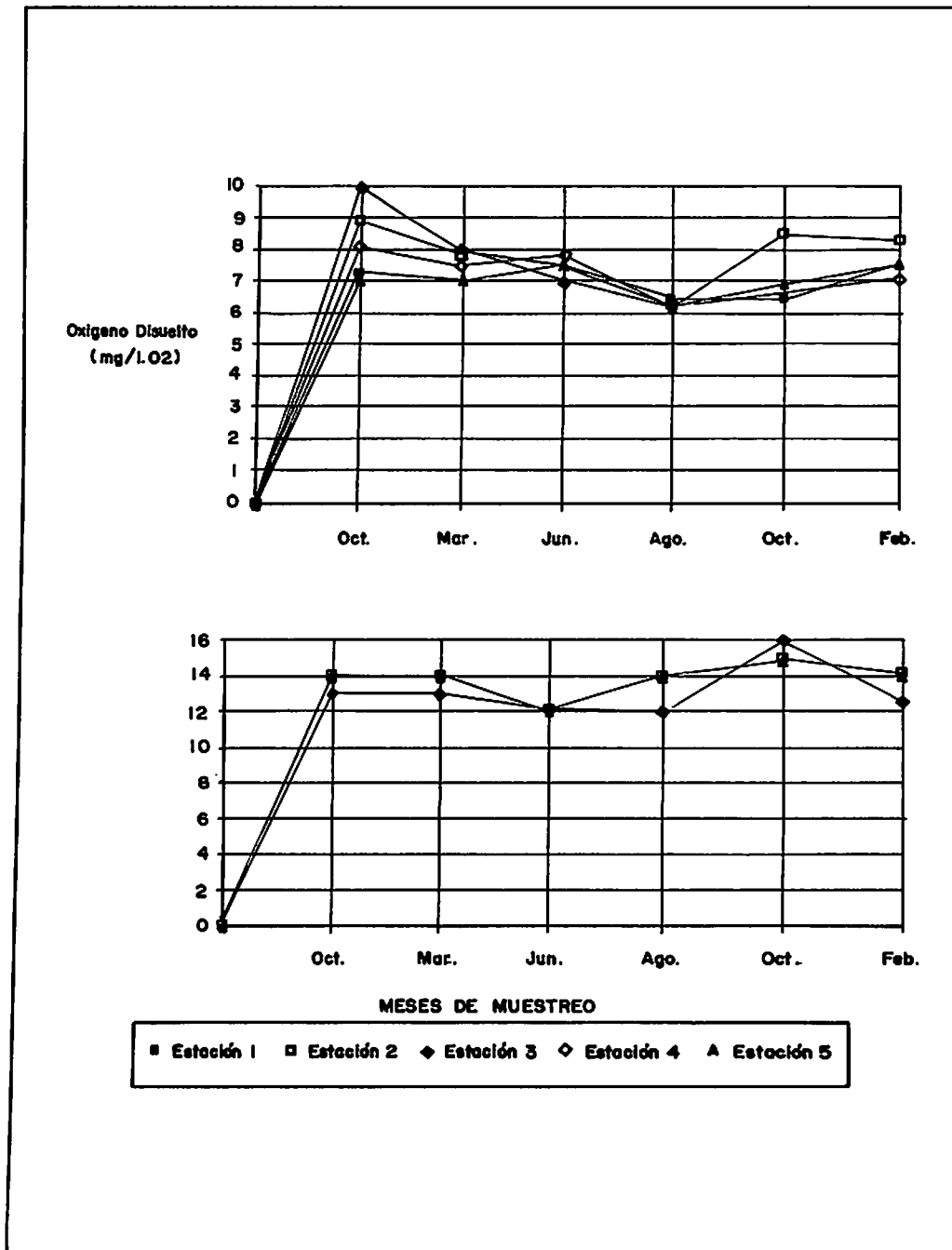


FIGURA No. 15. Valores de oxígeno disuelto (mg/l O₂) y temperatura (°C) en la laguna de Chingaza.

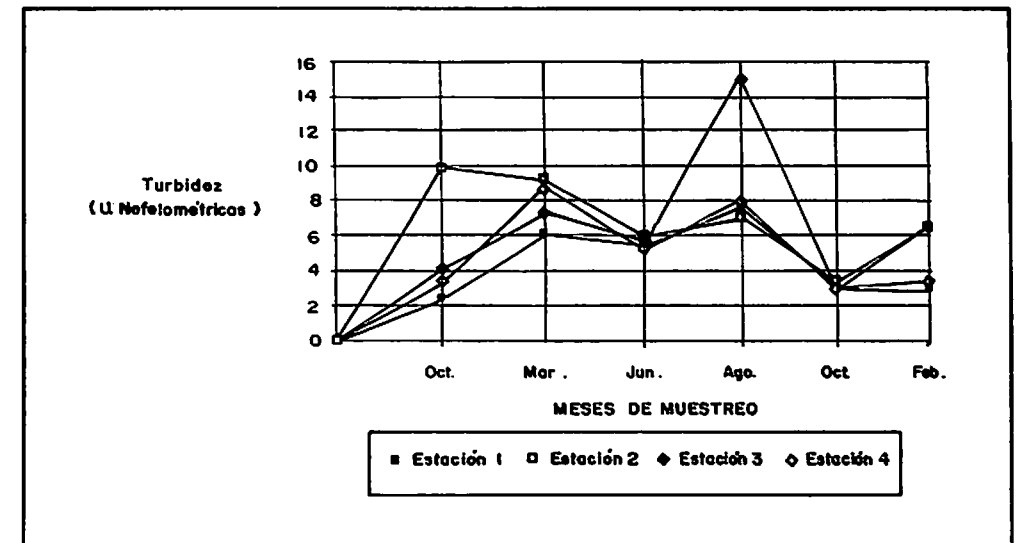


FIGURA No. 16. Valores de turbidez (U. nefelométricas) para la laguna de Chingaza.

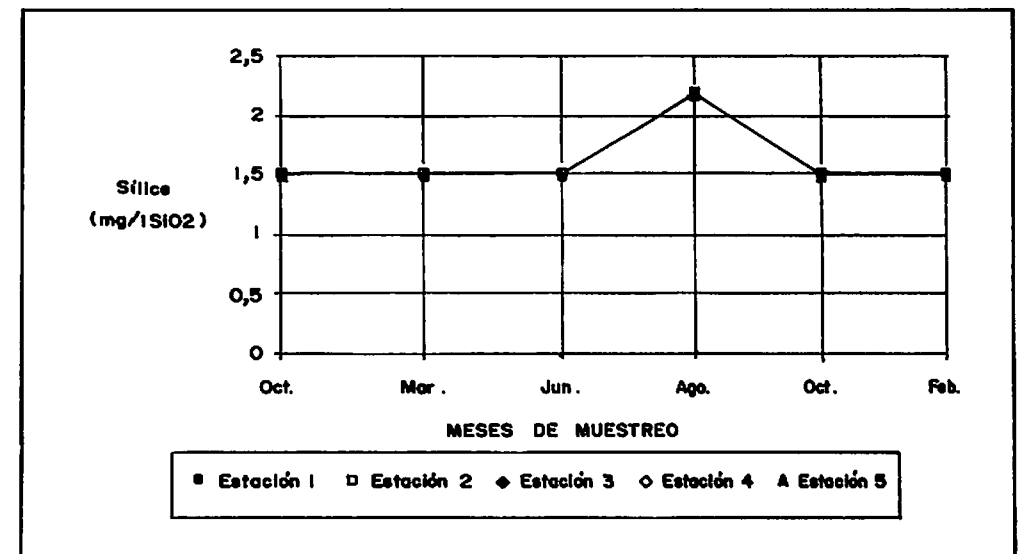


FIGURA No. 17. Valores de sílice (mg/l SiO₂) para la laguna de Chingaza.

TABLA No. 5

Valores de la relación N/P encontrados en la laguna de Chingaza durante el período de estudio.

Relación Nitratos-Ortofosfatos (ug. At/l)

FECHA	ESTACION 1			ESTACION 2			ESTACION 3			ESTACION 4		
	N	P	N/P	N	P	N/P	N	P	N/P	N	P	N/P
Octubre	0	1.5	0	0	0.6	0	0.9	0.09	0	0	0.2	0
Marzo	0	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0
Junio	0	2.2	0	0	2.2	0	0	2.2	0	0	3.1	0
Agosto	3.2	1.5	2.1	0.9	1.5	0.6	1.2	5	0.24	3.	1.5	2.1
Octubre	0	1.8	0	0	2.2	0	0	1.8	0	0	1.8	0
Febrero	0	0.6	0	0	0.6	0	0	0.9	0	0	0.6	0

Relación Nitritos-Ortofosfatos (ug. At/l)

FECHA	ESTACION 1			ESTACION 2			ESTACION 3			ESTACION 4		
	N	P	N/P	N	P	N/P	N	P	N/P	N	P	N/P
Octubre	0.06	1.5	0.04	0.08	0.6	0.13	0.04	0.09	0.44	0.04	0.2	0.2
Marzo	0.02	1.5	0.01	0.02	1.5	0.01	0.02	1.5	0.01	0.02	1.5	0.01
Junio	0	2.2	0	0	2.2	0	0	2.2	0	0	2.2	0
Agosto	0	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0	0	1.5	0
Octubre	0	1.8	0	0	2.2	0	0	1.8	0	0	1.8	0
Febrero	0	0.6	0	0	0.6	0	0	0.9	0	0	0.6	0

TABLA No. 6

Valores de oxígeno disuelto (mg/l O₂) y temperatura (°C) para la laguna de Chingaza durante la época de estudio.

FECHA	ESTACION	OXIGENO (mg/l O ₂)	TEMPERATURA (°C)
Octubre/88	1	7.3	14
	2	8.9	14
	3	10.0	13
	4	8.1	14
	5	7.0	14
Marzo/89	1	7.0	14
	2	7.9	14
	3	8.0	13
	4	7.5	14
	5	7.0	14
Junio/89	1	7.5	12.1
	2	7.4	12.1
	3	7.0	12.1
	4	7.8	12.1
	5	7.5	12.1
Agosto/89	1	6.4	13.9
	2	6.2	13.9
	3	6.2	12
	4	6.2	13.9
	5	6.2	13.9
Octubre/89	1	6.4	14.9
	2	8.5	14.9
	3	6.7	16
	4	6.7	14.9
	5	6.9	14.9
Febrero/90	1	7.6	14.1
	2	8.3	14.1
	3	7.1	12.5
	4	7.1	14.1
	5	7.6	14.1

Con base en lo expuesto, la laguna de Chingaza se define como oligotrófica, de aguas ácido-blandas, baja mineralización, limitada por nitrógeno y dependiente de los aportes de la cuenca.

2. FITOPLANCTON

a. Composición y variación espacio-temporal

Para el período de estudio, se registraron 53 especies fitoplanctónicas, que se resumen en el ANEXO No. 2.

El análisis PCORD, realizado con base en la composición cuantitativa del fitoplancton (FIGURA No. 18), permite diferenciar dos grupos, los cuales de cierto modo reflejan la uniformidad en la composición de esta comunidad a lo largo de todo el muestreo, el papel fundamental que cumple el río Frío y la respuesta del fitoplancton a la influencia de las condiciones climáticas, especialmente la época de máxima precipitación en la laguna de Chingaza.

En el Grupo I, se reúnen la mayoría de estaciones correspondientes a los muestreos de octubre/88, marzo/89 y enero/90. En estas fechas la laguna se caracterizó por la estabilidad de las condiciones hidrológicas, físicas, químicas y por el predominio de *Closterium* sp. (Desmidiaceae).

El Grupo II, reúne las estaciones pertenecientes al mes de octubre; para esta época la composición del fitoplancton con relación a los anteriores muestreos presenta un cambio en la estructura y abundancia. Las condiciones físicas y químicas presentes en este mes dan paso al predominio de *Oscillatoria* sp., desplazando a las desmicias, las cuales se convierten en formas codominantes durante este muestreo.

La respuesta "tardía" a la época de máxima precipitación reafirma el papel fundamental que ésta cumple en la conformación estructural de la comunidad de fitoplancton.

Por otra parte, el dendrograma obtenido a partir de la matriz de asociación de Bray-Curtis, permite diferenciar cinco agrupaciones las cuales pueden explicarse por la abundancia y la forma de vida de las especies que las constituyen. En este dendrograma (FIGURA No. 19) se separan grupos ecológicamente importantes y grupos de significación ecológica baja:

Grupo I, reúne especies planctónicas dominantes en el período de estudio. Así por ejemplo, *Closterium* sp. es la especie predominante numéricamente en los muestreos de octubre/88, marzo/89, junio/89, agosto/89 y enero/90. Igual ocurre con *Oscillatoria* sp., la cual aparece en alta proporción una vez la laguna experimenta cambios estructurales en la composición del fitoplancton en el mes de octubre.

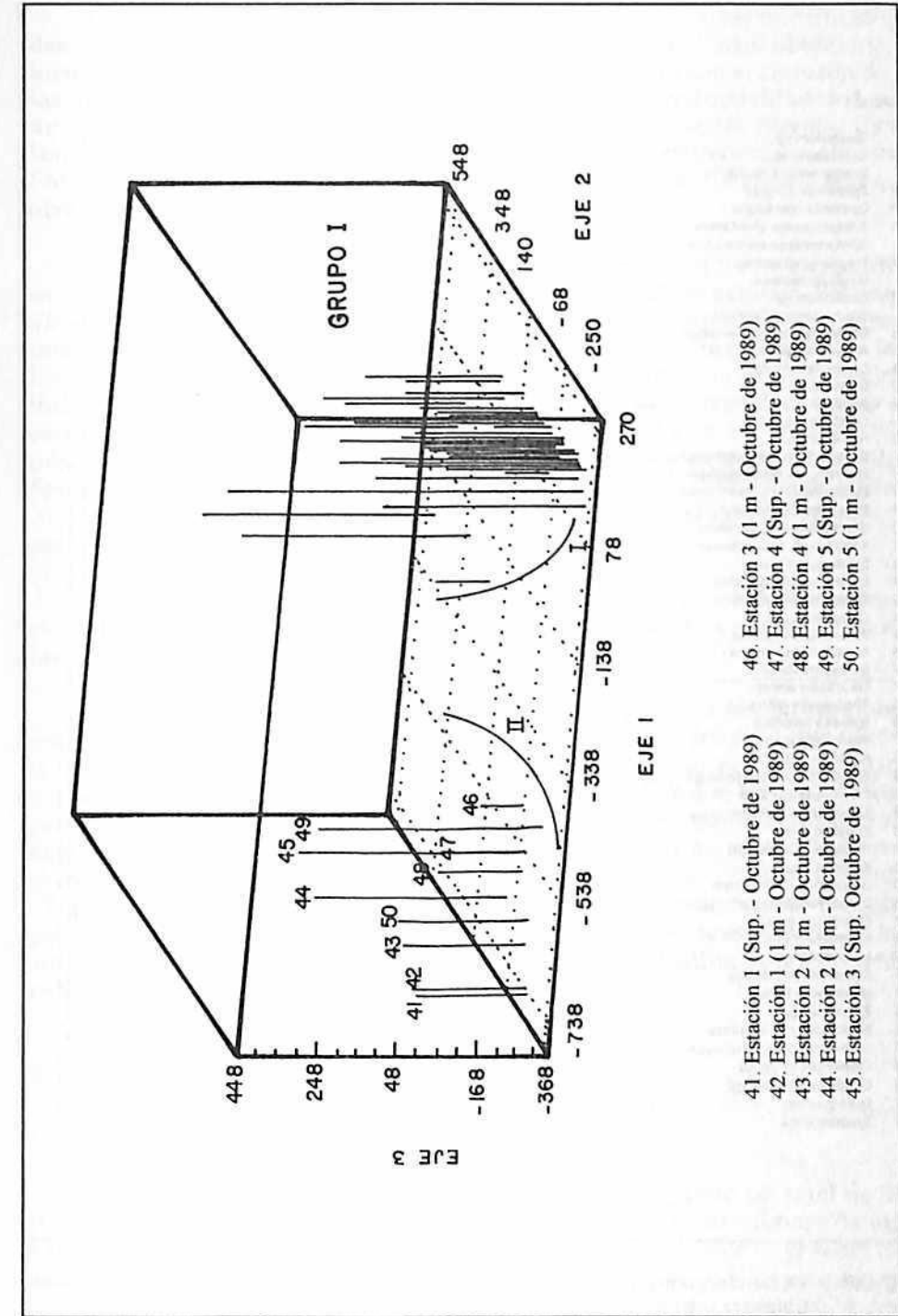


FIGURA No. 18. Análisis de Coordenadas Principales (PCORD) entre muestras de fitoplancton en la laguna de Chingaza.

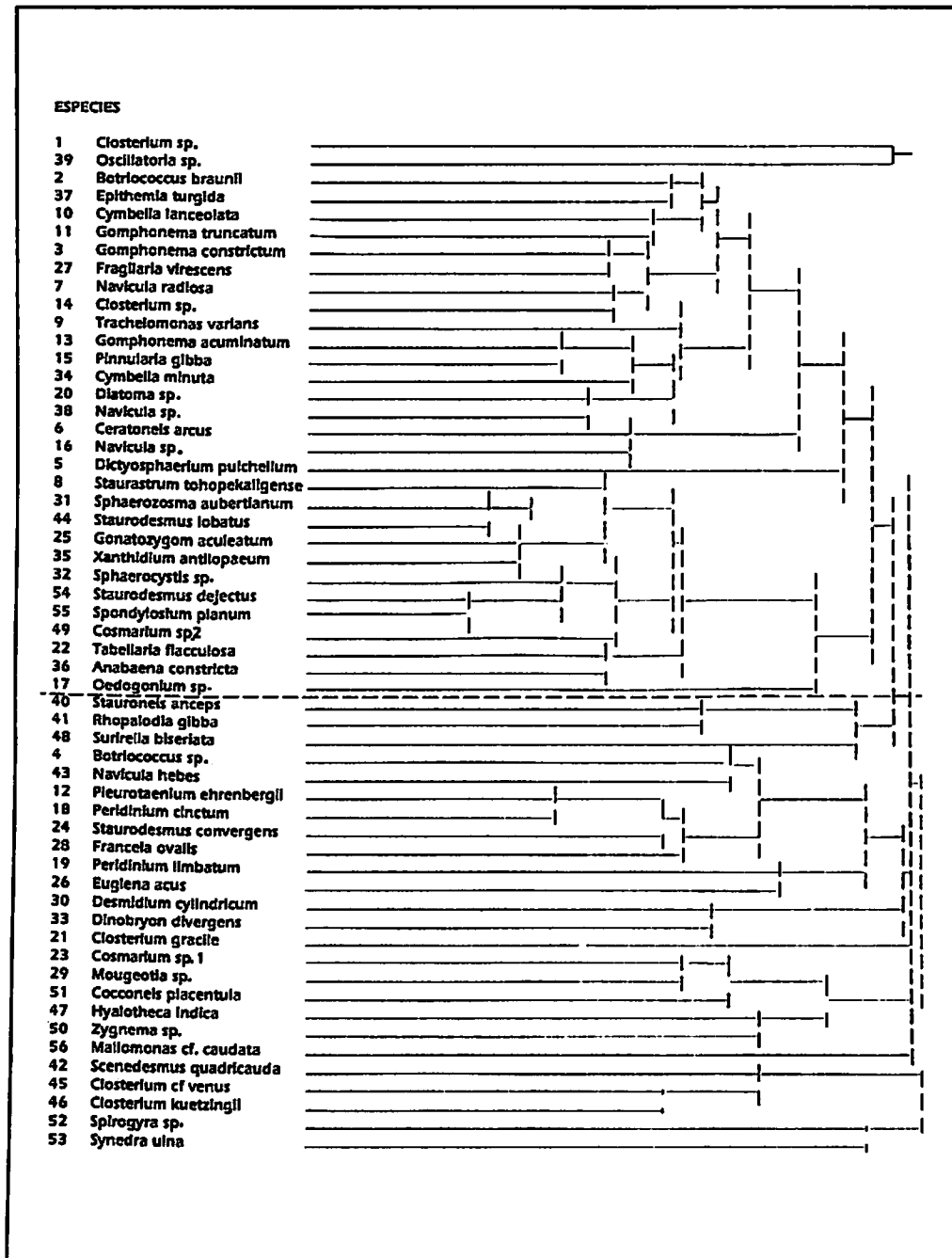


FIGURA No. 19. Dendrograma de asociación entre especies de fitoplancton de la laguna de Chingaza, a partir del coeficiente de asociación de Bray-Curtis.

Grupo II, está constituido especialmente por especies perifíticas que se desarrollan en la zona litoral. De acuerdo con los resultados obtenidos, estas formas de vida son codominantes y conforman junto con el cinturón de plantas acuáticas los elementos más conspicuos en la productividad de los lagos de alta montaña. Se destacan especies como *Epithemia turgida*, *Cymbella lanceolata*, *C. minuta*, *Gomphonema truncatum*, *G. constrictum*, *G. acuminatum*, *Fragilaria virescens*, *Navicula radiosa*, *Pinnularia gibba*, *Ceratoneis arcus*, entre otras.

Grupo III, reúne especies de desmicias de origen tico y euplanctónico, asociadas a plantas acuáticas tales como *Myriophyllum quitense*, *Potamogetum illionensis*, *Ranunculus limoselloides* y *Nitella flexilis*; estas especies presentan una constancia numérica baja y están excepcionalmente presentes en la zona litoral y en aguas libres de la laguna. La mayoría de estas especies son indicadoras de aguas de carácter oligotrófico y están correlacionadas con el cambio en la composición y abundancia que ocurre en octubre/90. Las desmicias más sobresalientes en este grupo son *Staurastrum tohopekaligense*, *Sphaerosoma aubertianum*, *Staurodesmus lobatus*, *Gonatozygon aculeatum*, *Xanthidium antilopaeum*, *Staurodesmus dejectus*, *Spondylosium planum*, entre otras.

En síntesis, estos grupos reflejan la importancia ecológica de las especies, las formas de vida y los hábitats predominantes y son de gran importancia para la producción de la laguna.

La segunda parte del dendrograma corresponde a las agrupaciones denominadas "raras", las cuales complican el análisis, debido a que únicamente se registraron en uno o máximo en dos muestreos y generalmente corresponden a la zona litoral o la entrada del río Frío a la laguna. El Grupo IV, reúne las diatomeas lólicas *Stauroneis anceps*, *Rhopalodia gibba*, *Surirella biseriata*, y el Grupo V incluye especies planctónicas como *Pleurotaenium ehrenbergii*, *Desmidium cylindricum*, *Dinobryon divergens*, *Peridinium limbatum*, *Closterium gracile*, *Hyalotheca mucosa*, *Scenedesmus quadricauda*, etc, especies perifíticas como *Navicula hebes*, *Cocconeis placentula*, *Synedra ulna*, *Mougeotia sp.*, *Zygnema sp.*, *Sphroggyra sp.* y *Euglena acus*, ésta última perteneciente a la comunidad del neuston.

3. ALGAS DEL PERIFITON

a. Composición

En el transcurso del período de estudio se registró un total de 62 taxa de algas perifíticas (ANEXO No. 3). El taxon con mayor número de especies encontrado fue Bacillariophyceae (diatomeas) que excede el 41% del total de especies perifíticas, seguido por Chlorophyceae con el 37% y en último término Cyanophyceae, Crysophyceae y Euglenophyceae con el 22% restante.

Las diatomeas también fueron las más abundantes durante casi todo el período de estudio.

La composición de la comunidad es bastante homogénea en los cuatro puntos de muestreo; sin embargo, se presentan diferencias en la abundancia de individuos de cada especie. De acuerdo con el dendrograma de asociación obtenido a partir del coeficiente de Bray-Curtis (FIGURA No. 20), se establecieron 6 grupos que se explican a continuación:

Grupo 1: Especies dominantes: dentro de este grupo están incluidas las especies típicamente perifíticas *Cymbella lanceolata*, *Fragilaria virescens*, *Epithemia turgida*, *Tabellaria flocculosa*, *Navicula* sp., *Closterium* sp. y *Oedogonium* sp., que a lo largo de todo el año de muestreo aparecieron en un alto número. Son especies con tendencia acidofílica, es decir, que se distribuyen en aguas con pH menor que 7 (CHARLES, 1985). Las correlaciones entre las especies de este grupo son bajas o negativas, debido a que la tendencia al aumento de alguna de ellas implica la disminución del resto. En otras palabras, durante cada muestreo sólo una de ellas es altamente dominante.

Grupo 2: reúne especies con abundancias intermedias; está compuesto por 4 subgrupos, que se reúnen bajo uno solo. En éste se encuentran no sólo especies típicas del perifiton sino que además coexisten una serie de individuos accidentalmente posados sobre los sustratos. Es así como aparecen organismos pertenecientes al neuston (*Trachelomonas volvocina*, *Euglena acus*, *Dynobryon divergens*) y al euplancton (*Botriococcus braunii*, *Oocystis* sp., *Ankistrodesmus falcatus*, *Sphaerosoma aubertianum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Xanthidium antilopaeum*, *Spondylosium planum*, *Hyalotheca mucosa*, *Anabaena constricta*, *Staurastrum sebalidii*, *Staurodesmus* sp.).

Grupo 3: especies con baja abundancia de individuos: según la FIGURA No. 20, el grupo está formado por 3 especies poco abundantes, *Closterium subulatum*, *Closterium kuetzingii* y *Trachelomonas* sp.

Grupos 4, 5 y 6: especies muy raras o de aparición puntual durante el estudio: cada grupo está representado por una sola especie y los tres presentan como característica común que la especie solo aparece en un muestreo en la estación 4. Las tres especies (*Rhopalodia gibba*, *Trachelomonas hispida* y *Eunotia flexuosa*) son características de ambientes meso-eutróficos (STEINITZ-KANNAN, ET AL. 1988, WHITMORE, 1989). Además, *R. gibba* está adaptada a ambientes altos en fósforo y bajos en nitrógeno (FAIRCHILD & LOWE, 1984).

La utilización de los sustratos artificiales de colonización como técnica para muestrear el perifiton parece proporcionar una buena aproximación a la comunidad real; según los resultados obtenidos, de las 21 especies de algas encontradas sobre sustratos naturales (ANEXO No. 4), 19 fueron colectadas también sobre las placas de colonización. Por otra parte, 11 especies (*Cymbella lanceolata*, *C. minuta*, *Navicula* sp., *Melosira* sp., *Closterium* sp.,

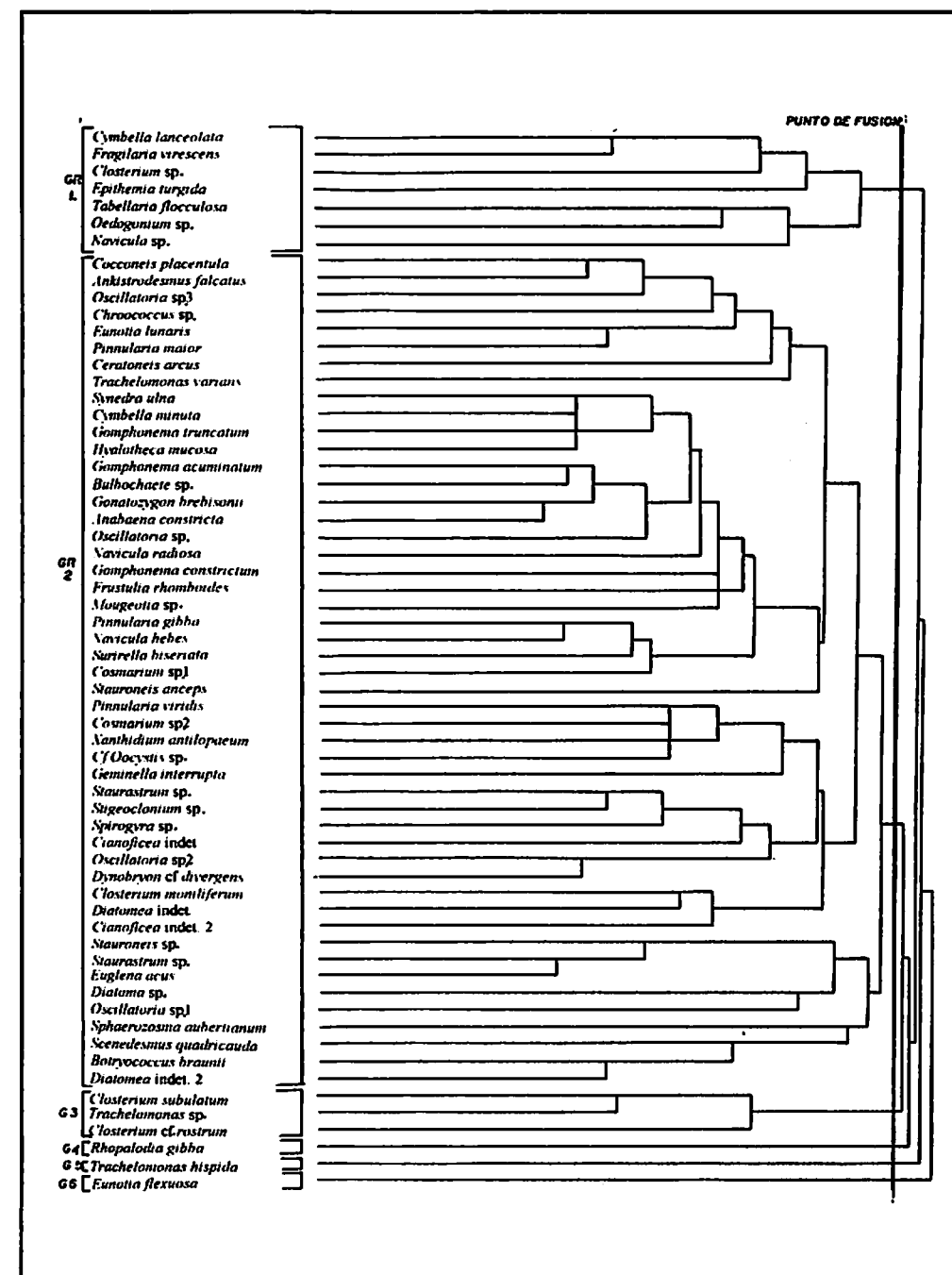


FIGURA No. 20. Dendrograma de asociación entre especies perifíticas a partir del coeficiente de Bray-Curtis.

Gomphonema acuminatum, *Epithemia turgida*, *Synedra ulna*, *Fragilaria virescens*, *Diatoma* sp. y *Pinnularia gibba*), fueron encontradas tanto sobre macrófitos y troncos (epifiton) como sobre sustratos rocosos (epiliton).

b. Variación espacio-temporal

La distribución de organismos perifíticos en la zona litoral de la laguna de Chingaza muestra una homogeneidad espacial relativa; sin embargo, el número de individuos varía entre estaciones de la laguna y de un mes de muestreo a otro. Según el Análisis de coordenadas principales (PCORD) (FIGURA No. 21), las estaciones se reúnen en tres grupos, definidos por el número de individuos encontrados en cada una. Es así como el Grupo 1, comprende las estaciones que muestran las abundancias más bajas (menos de 400 individuos/cm²) y representa la estación de muestreo 1 en octubre/88 y 89 y febrero/90 y la estación 2 en octubre/88 y junio/89. El Grupo 2, reúne las estaciones con mayor abundancia (más de 1800 individuos/cm²) que corresponden en su gran mayoría a la estación de muestreo 3, además, de la estación 2 en octubre/89 y febrero/90. El tercer grupo está formado por el resto de estaciones que tienen abundancia intermedia. Esta diferencia en la abundancia se explica como consecuencia de las características de la zona litoral de la laguna.

En este sentido, se puede resaltar el hecho que la estación 1 muestra la abundancia más baja y de manera contraria la estación 3 -entrada del río Frío- presenta los valores máximos. Si bien las estaciones 2 y 4 son del litoral que limita con el bosque, tienen entre sí diferencias marcadas en sus características físicas; mientras en la primera predominan ampliamente los macrófitos (*Myriophyllum quitense*, *Potamogeton illinoensis*, *P. paramoanus*, *Nitella flexilis*, *Ranunculus limoselloides*, entre otros), la segunda es esencialmente rocosa y presenta una intervención antrópica mayor por su cercanía a zonas de pastizales. Estas diferencias determinan que la estación 2 tenga variaciones definidas en los valores de abundancia de especies, mientras que la estación 4 aparece más homogénea durante el año (FIGURA No. 22).

Además de la distribución espacial, este estudio permitió definir un patrón de variación temporal en la comunidad del perifiton. Como se observa en la FIGURA No. 23, durante el transcurso del año aparece una alternancia entre la dominancia de diatomeas y desmidias.

Es así como durante el año, las diatomeas *Cymbella lanceolata*, *Fragilaria virescens*, *Tabellaria flocculosa*, *Epithemia turgida* y *Navicula* sp. predominan en todas las estaciones; sin embargo, en dos épocas definidas, octubre/88 y agosto/89 la desmidia *Closterium* sp. aumenta en todas las estaciones. En octubre/89 se presenta un predominio de diatomeas provenientes de la estación 4. No obstante, en el resto de estaciones *Closterium* sp. sobresale por encima de las diatomeas. En la FIGURA No. 22, están representadas las variaciones numéricas de las especies dominantes.

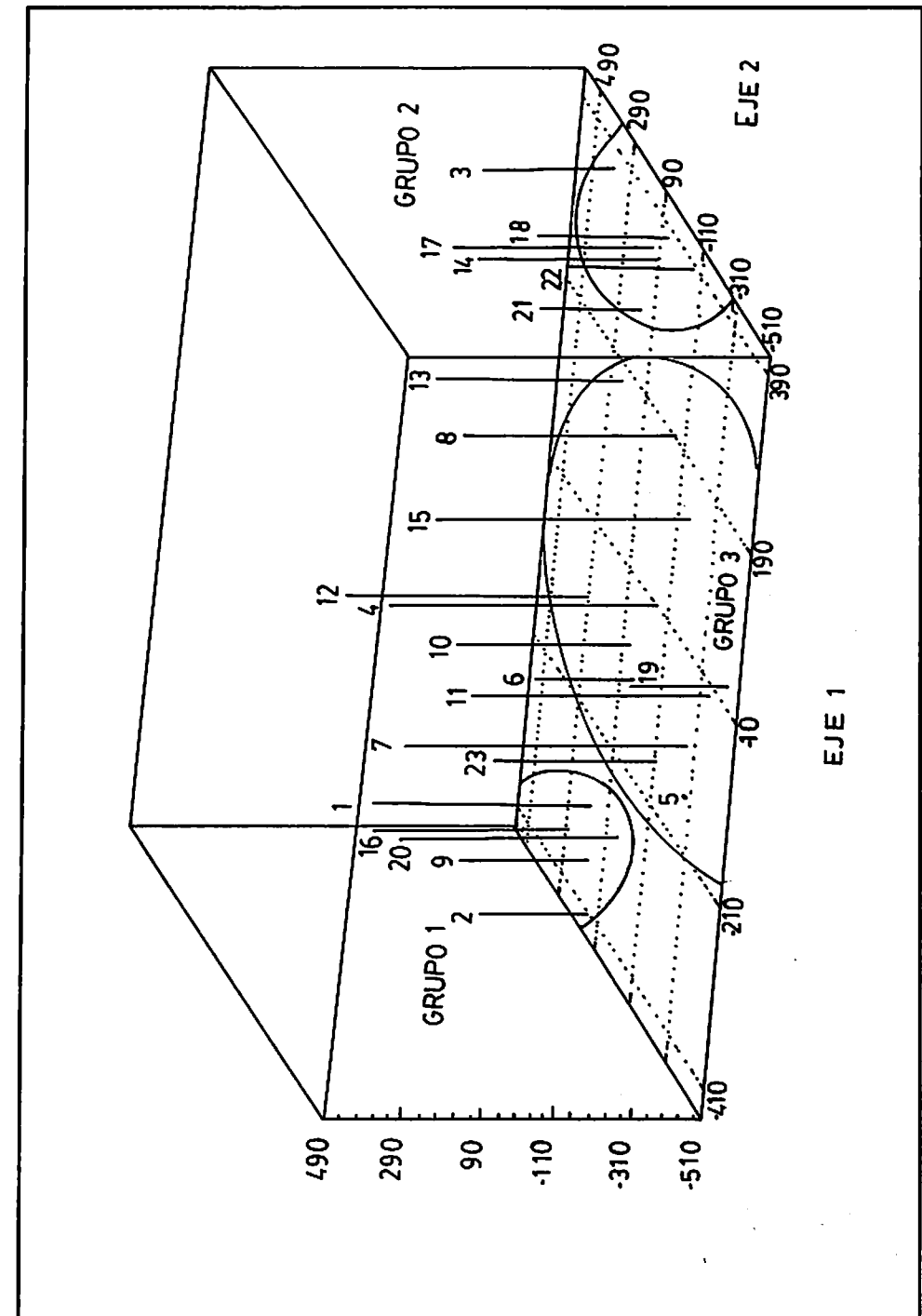


FIGURA No. 21. Análisis de coordenadas principales para las algas del perifiton de la laguna de Chingaza.

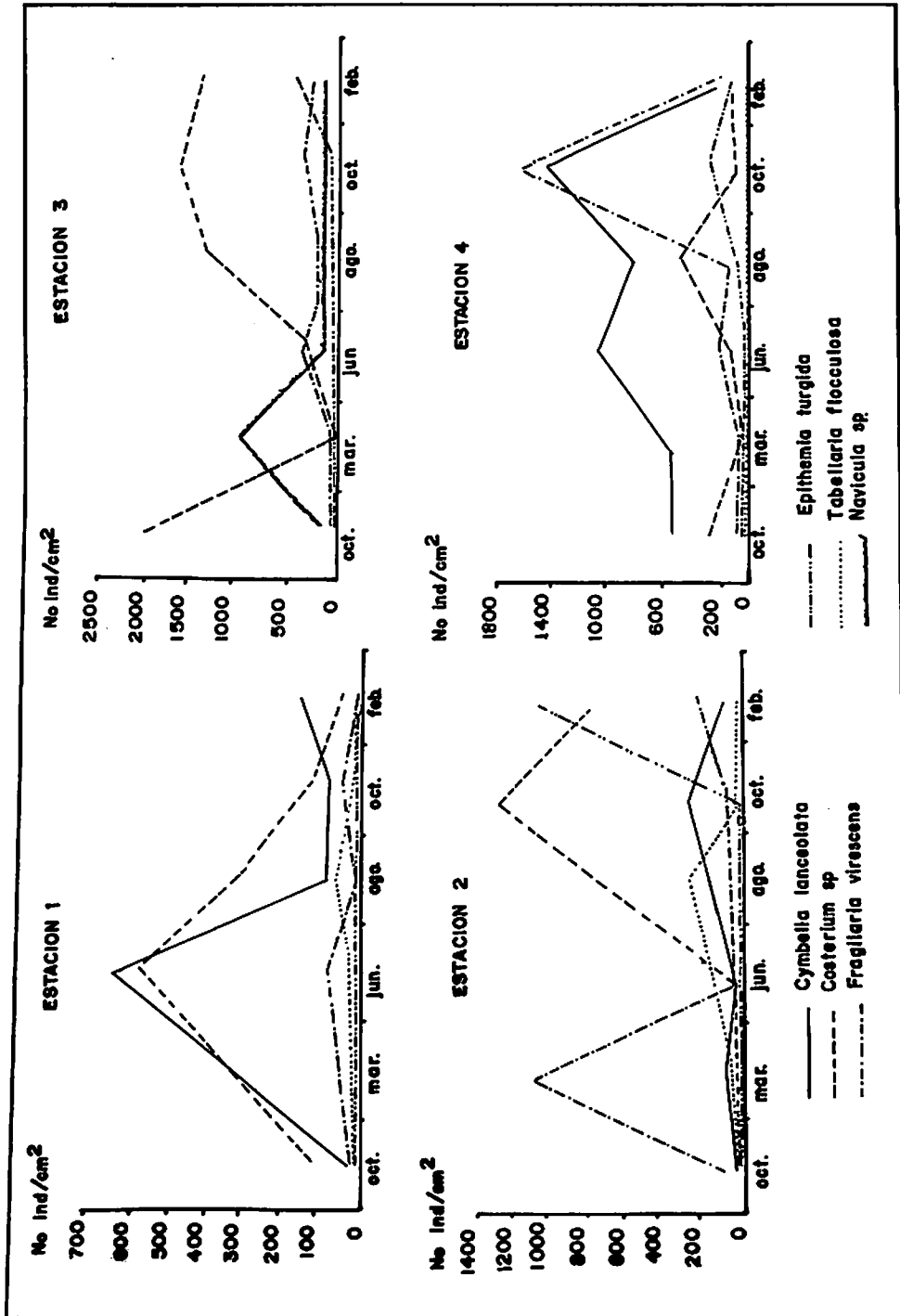


FIGURA No. 22. Variación de las principales especies de algas perifíticas en cada estación de muestreo en la laguna de Chingaza.

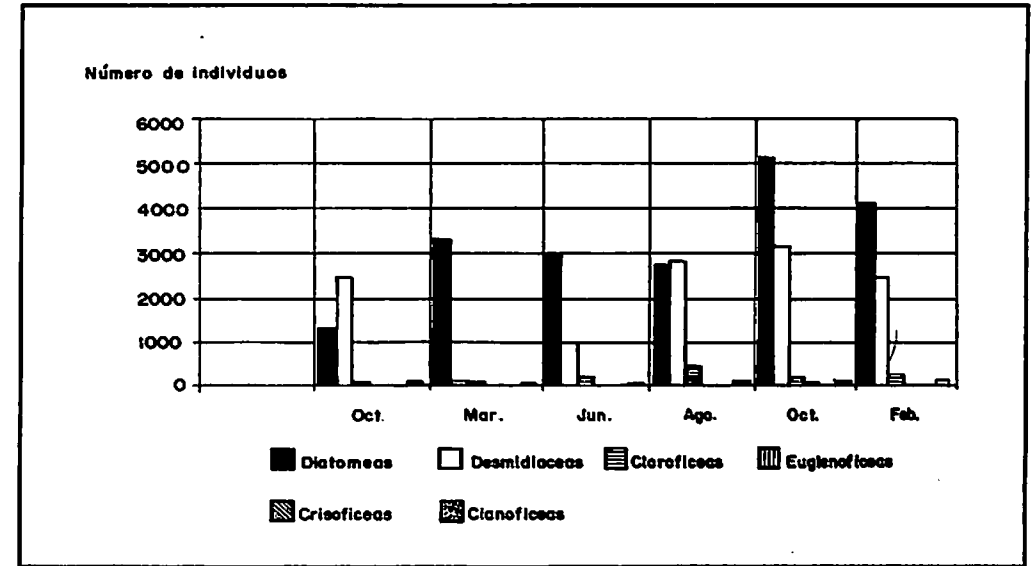


FIGURA No. 23. Valores de abundancia de individuos de los diferentes grupos de algas perifíticas.

c. Diversidad

Los valores de diversidad hallados en cada estación a lo largo del año reflejan el patrón de comportamiento complejo de la comunidad (FIGURA No. 24) como consecuencia de la gran cantidad de factores bióticos y abióticos que sobre ella actúan y que se discutirán más adelante.

Aunque no aparece una clara diferenciación espacio-temporal en los valores de diversidad, puede observarse que la estación 1-ubicada en la salida del río Frío- presenta valores que están entre los más altos y constantes de la comunidad. Los valores de diversidad en todas las estaciones son bajos; según MARGALEF (1983), para un ecosistema oligotrófico se esperan valores superiores a 3; sin embargo, para las algas del perifiton de la laguna los valores de diversidad en todas las estaciones son menores que éste.

C. DISCUSION

1. CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA

Desde el punto de vista de las características físicas y químicas, la laguna de Chingaza, presenta condiciones oligotróficas, con concentraciones

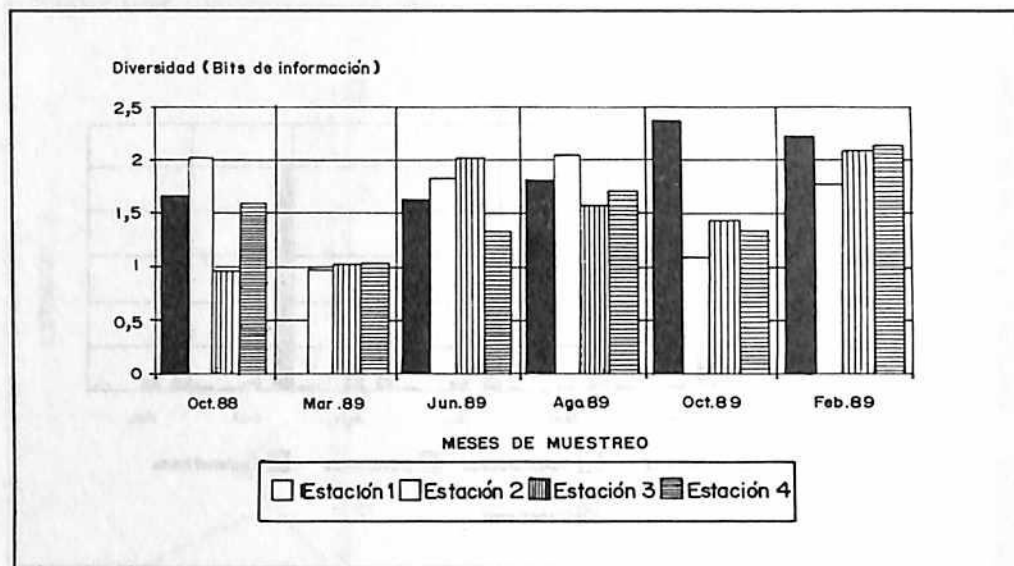


FIGURA No. 24. Valores de diversidad (índice de Shannon - Weaner) para las algas del perifiton de la laguna de Chingaza.

iónicas bajas, lo cual se explica por la baja solubilidad del material parental así como por las temperaturas bajas. Esta situación es común para los lagos de alta montaña como los presentes en el Ecuador (STEINITZ KANNAN, ET AL, 1983; MILLER, ET AL, 1984), Venezuela (LEWIS & WEIBEZAHN, 1976; MATOS & PARRA, 1986), Perú (HEGEWALD ET AL, 1976; RICHERSON ET AL, 1986; RICHERSON & CARNEY, 1988), Costa Rica (HARGRAVES & VIQUEZ, 1981), Colombia (LOFFLER, 1964, 1972; GAVIRIA, 1983; DONATO 1990).

Para MELACK (1979), en el trópico existen tres patrones de variación ambiental: lagos con variación estacional, lagos con fluctuación diaria y lagos con cambios abruptos entre las asociaciones algales.

Desde el punto de vista de la variación estacional, NILSSEN (1984), VICENT, ET AL. (1985), PAYNE (1986), CARNEY, ET AL. (1987), RICHERSON, ET AL. (1986), RICHERSON ET AL (1988), establecieron que en el trópico se presentan fluctuaciones intraanuales que, si bien son menos definidas que en las zonas templadas, sí determinan modificaciones en las características físicas y biológicas del sistema.

Para la laguna, el patrón estacional climático, definido por la época de mayor precipitación (junio-octubre), se convierte en el eje ordenador de las condiciones físicas, químicas y biológicas; de acuerdo con los resultados anteriormente expuestos, la laguna de Chingaza se incluye en el patrón "A"

(MELACK, 1979) para los lagos tropicales. Según este patrón, la laguna se caracteriza en principio por la constancia física y química a lo largo del muestreo, interrumpida únicamente en los meses de máxima precipitación cuando los parámetros de proporcionalidad constante caen a sus valores más bajos como resultado del efecto de dilución, iniciando como respuesta un nuevo proceso de sucesión fitoplanctónica.

Por otra parte, las descargas del río Frío magnifican la variación estacional, ya que como ocurre en la mayoría de ríos tropicales (PAYNE, 1986), presenta un ciclo anual, determinado por el patrón de lluvias, acentuado por el tamaño pequeño de su cuenca. A la influencia del río puede atribuirse el aumento del CO₂, ortofosfatos y calcio en épocas en las que el resto de la laguna de Chingaza tienen valores más bajos.

La laguna de Chingaza, al igual que otros lagos tropicales (MASSEY, 1981; VINER, 1982; VINCENT, ET AL, 1985; WURTSBAUGH ET AL, 1985; HENRY, ET AL, 1978), presenta una relación nitrógeno-fósforo baja, y al parecer la baja concentración de nitrógeno es el principal limitante para la productividad primaria. Como lo indican los resultados, la dinámica del fósforo depende del reciclamiento interno (sedimentos), pero principalmente de aportes de la cuenca (lavado, quemas, erosión); en cambio el nitrógeno depende básicamente de procesos endógenos ligados desde su fijación en situaciones de fuerte estratificación (octubre), hasta los aportes derivados tanto de la descomposición de la materia orgánica ocurrida en la zona litoral (nivel bajo de la laguna), como los procedentes del sedimento y las pérdidas por desnitrificación.

Es importante resaltar que la variación de fosfatos y nitrógeno es también consecuencia de la incorporación de estos nutrientes a las comunidades acuáticas de la zona litoral (plantas y perifiton), que además constituyen el sector más representativo y productivo de la laguna de Chingaza.

2. FITOPLANCTON

Como ocurre en la laguna de Mucubají (MATOS & PARRA, 1986), la laguna de Chingaza presenta un ritmo monomodal en la abundancia de fitoplancton, coincidiendo el máximo número de organismos con el período de lluvias y el mínimo con el período seco. (FIGURA No. 25). Este aspecto coincide con la variación de nivel en las aguas de la laguna (Aproximadamente 1.5 m) y que afecta principalmente a la zona litoral en la época de bajas precipitaciones, incidiendo en las comunidades del perifiton y fitoplancton asociadas a ella. Como se observa, en la FIGURA No. 26 las estaciones situadas en el cinturón litoral (2 y 4), presentan la abundancia de organismos más alta, de tal manera que las condiciones locales de este hábitat dependen de factores externos que influyen en las dos comunidades.

Para el período de lluvias, el río Frío arrastra a la laguna nutrientes procedentes tanto de la cuenca de captación como de los procesos de des-

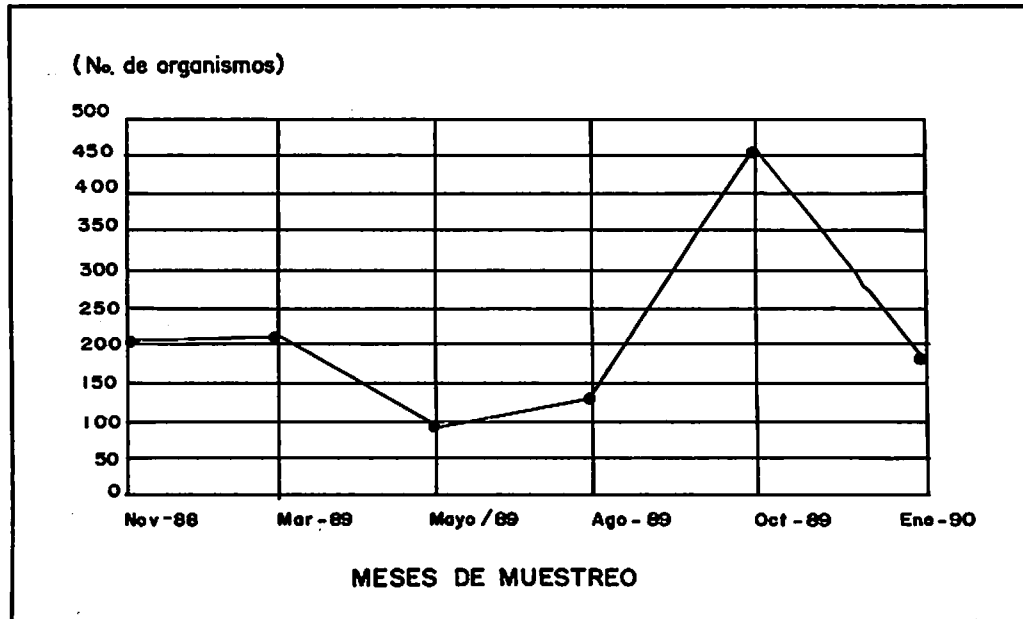


FIGURA No. 25. Variación en la abundancia del fitoplancton en la laguna de Chingaza.

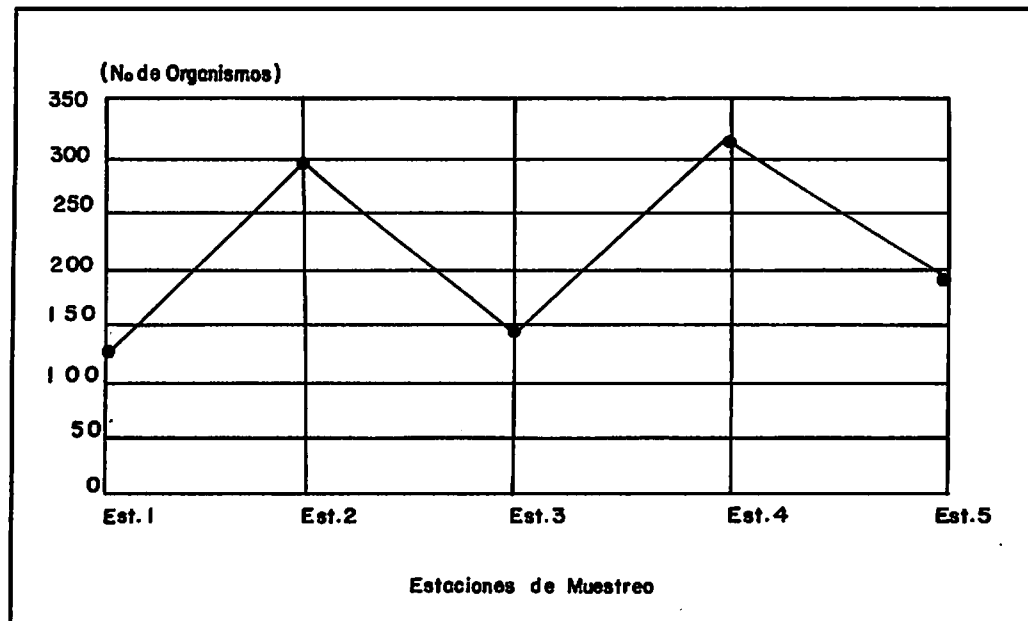


FIGURA No. 26. Variación en la abundancia media de especies entre las estaciones de muestreo en la laguna de Chingaza.

composición, incrementando el contenido de estos en las aguas de la laguna, además, al retornar el nivel promedio de sus aguas, activa el crecimiento del cinturón litoral.

La laguna presenta tres grupos de algas dominantes (FIGURA No. 27), cada uno de los cuales se favorece bajo una determinada condición física, química e hidrológica. Por un lado, las concentraciones bajas de electrolitos, especialmente de calcio, y las condiciones ácido-oligotróficas generadas por ambientes de turbera favorece el desarrollo de desmicias (WETZEL, 1981; COESEL, 1987). Especies como *Desmidium cylindricum*, *Staurostrum tohopekaligense*, *Xanthidium antilopaeum*, *Spondylosium planum*, *Staurodesmus lobatus*, *Cosmarium* sp., *Closterium* sp., se asocian a plantas acuáticas como *Myriophyllum* sp., *Potamogeton illinoensis*, *P. paramoanus* y *Eleocharis* sp.

Para el mes de octubre, cuando la estratificación es pronunciada y las formas de nitrógeno están ausentes, aumenta el número de *Oscillatoria* sp. (Cyanophyceae). La baja importancia de los fijadores de nitrógeno en la laguna a pesar de la constante deficiencia de nitrógeno (baja relación N:P) se explica, al igual que ocurre en los lagos Titicaca, Valencia y Jacaratinga (RICHESON, ET AL, 1986; LEWIS, 1987; HENRY, ET AL, 1978), por las intensidades lumínicas fuertes, las cuales inhiben la fijación de nitrógeno superficial (FOGG, 1971). Para el mes en mención, un incremento en la fija-

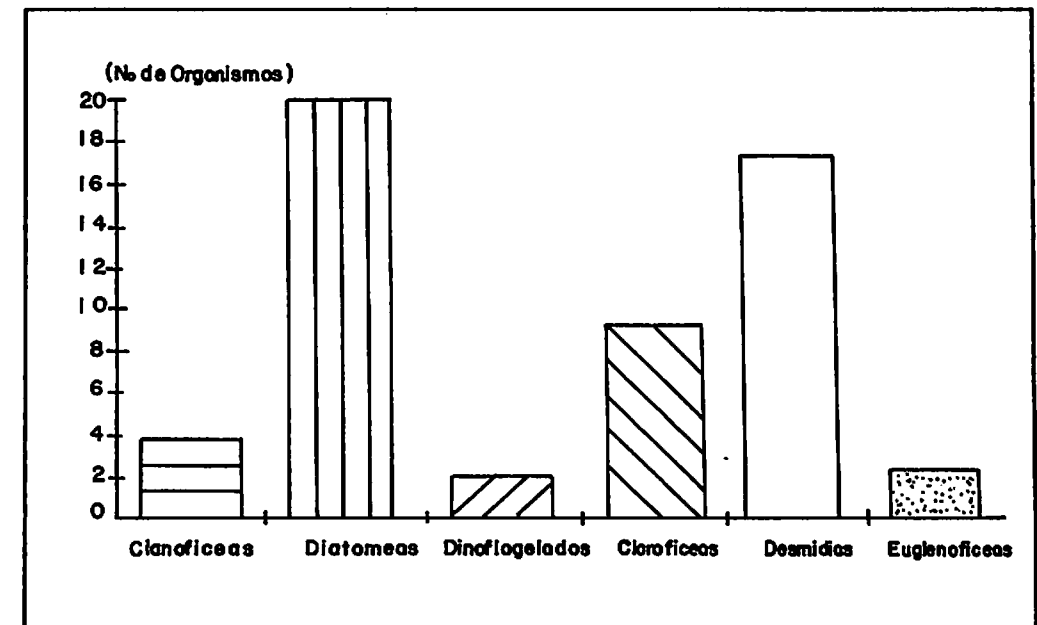


FIGURA No. 27. Histograma de los principales grupos de algas fitoplanctónicas encontrados en la laguna de Chingaza.

ción de nitrógeno puede tener lugar, cuando aumenta la nubosidad y disminuye la intensidad de la radiación lumínica y ultravioleta, aspectos que inciden en la productividad de estos ecosistemas acuáticos de alta montaña. Bajo estas circunstancias y después de la circulación profunda que se presenta en el mes de junio, se inicia una secuencia sucesional en la laguna con predominio de esta cianoficea (*Oscillatoria* sp.).

El otro grupo representativo de la laguna son las diatomeas, las cuales conforman principalmente la comunidad del perifiton. Es así como durante todo el muestreo especies como *Cymbella lanceolata*, *C. minuta*, *Tabellaria flucculosa*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria virescens*, predominan en la laguna, mientras que las diatomeas lólicas como *Navicula* sp., *Surirella linearis*, *Ceratoneis arcus*, *Synedra ulna*, se presentan cuando son arrastrados por el río Frío en el período de lluvias.

Finalmente, la composición y diversidad del fitoplancton (valores que van desde 0,1864 a 2,48) reflejan los cambios climáticos y la interacción que existe entre la baja temperatura y la limitación de nutrientes. Estos factores, junto a la intensa radiación permiten establecer formas cosmopolitas típicas de sistemas acuáticos de alta montaña (GESSNER, 1955; LOFFLER, 1972; STEINITZ KANNAN, ET AL, 1983; RICHERSON, ET AL, 1977).

3. ALGAS DEL PERIFITON

Como se consignó en los resultados, esta comunidad está compuesta por organismos perifíticos provenientes de dos hábitats: rocas y macrófitos sumergidos (*Potamogetum illinoensis*, *P. paramoanus*, *Myriophyllum quitense*, *Nitella flexilis*, *Ranunculus limoselloides*, *R. nubigenus*, *Juncus ecuadoriensis*, *Juncus* spp., *Carex acutata*). Las algas perifíticas, en su mayoría diatomeas y clorofíceas filamentosas, están acompañadas por especies pertenecientes a otras comunidades, que por diversas causas, se posan accidentalmente sobre el sustrato.

Según lo exponen ROOS (1983) y ROUND (1984), el hecho que las diatomeas predominen de un modo tan evidente se debe a la capacidad que ellas tienen de desarrollarse en hábitats bénticos. Este medio ofrece un amplio espectro de microhábitats disponibles para la colonización, sujetos a las condiciones ambientales, físicas, químicas y biológicas más variables que en aguas abiertas (WETZEL, 1981). Todas estas características actúan como factores seleccionadores del tipo de organismos que crecen en los sustratos. Es así como las especies perifíticas desarrollan estrategias de crecimiento que les permiten afrontar exitosamente las condiciones del medio.

Consecuentemente, con lo anterior, dentro de la comunidad de la laguna de Chingaza, aparecen definidas dos estrategias de crecimiento: la primera, desarrollada por diatomeas que mediante secreciones mucilaginosas se

adhieren al sustrato; dentro de este grupo, pueden diferenciarse las diatomeas de la familia Naviculaceae, que por poseer rafé tienen además la posibilidad de moverse sobre el sustrato (MARGALEF, 1983; ROUND, 1984). En éste grupo están algunas de las especies predominantes como *Epithemia turgida*, *Fragilaria virescens*, *Navicula* sp. y *Tabellaria flucculosa*.

La segunda estrategia reúne las especies que poseen pedúnculos o pies, con los cuales se adhieren al sustrato. Como ejemplo podemos citar las diatomeas *Cymbella lanceolata*, *C. minuta*, *Gomphonema truncatum*, *G. acuminatum*, *G. constrictum* y las clorofíceas filamentosas *Oedogonium* sp., *Bulbochaete* sp., *Stigeoclonium* sp., etc.

Por otra parte, si bien la mayoría de especies perifíticas o accidentales se definen como indicadoras de condiciones oligotróficas, paralelamente, se encontraron especies como *Scenedesmus quadricauda*, *Ankistrodesmus falcatus*, *Trachelomonas hispida*, *T. volvocina*, *Trachelomonas* sp., *Euglena acus*, *Rhopalodia gibba*, *Eunotia flexulosa*, *Oscillatoria* spp., *Chroococcus* sp., y *Anabaena constricta*, indicadoras de condiciones eutróficas.

Las especies encontradas muestran una distribución cosmopolita lo cual coincide con las afirmaciones de STEINITZ KANNAN, (1983) y MATOS & PARRA (1986) en el sentido que las algas en estos ecosistemas de páramo generalmente no presentan endemismos - como sucede en lagunas de tierras bajas - debido a que por encima de los 2.500 m.s.n.m sobreviven las especies cosmopolitas que tienen una mayor capacidad de adaptación a las condiciones rigurosas del medio.

Como se establece en los resultados (FIGURA No. 21), las características de la zona litoral determinan en gran medida la abundancia de los individuos. A partir de las diferencias en abundancias entre las estaciones, podemos inferir que el desarrollo del perifiton está definido por los siguientes factores característicos de la zona litoral de la laguna de Chingaza:

1. La extensión de la zona colonizable: ejemplo de este aspecto se puede referir a la estación 1 - salida del río Frío - que muestra el promedio de abundancias más bajo de la laguna (630 individuos /cm), como resultado de la zona litoral bastante reducida, en comparación con las otras estaciones de muestreo. Estos resultados coinciden con las afirmaciones de COLINVAUX & STEINITZ (1980) y KUHN, ET AL. (1981), según las cuales el tamaño de la zona litoral disponible para la colonización condiciona la abundancia del componente perifítico y de manera especial a las diatomeas.
2. Efectos de arrastre por flujo de agua: la corriente generada por el efluente en la estación 1, ejerce una acción abrasiva que sumada a la extensión mínima de la zona litoral reduce considerablemente el número de individuos.

do por muy bajas concentraciones de N y/o P, aún siendo ambos indetectables en la columna de agua. Como evidencia, podemos resaltar el hecho que en octubre /89, cuando no hay nitrógeno en el medio, la comunidad alcanza el mayor número de individuos.

Un elemento fundamental para el metabolismo de las diatomeas es el sílice ya que forma parte de su pared celular (REYNOLDS, 1984). Aunque las diatomeas modifican su concentración en el medio, en la laguna los valores de sílice permanecen constantes durante el año, con excepción de agosto cuando aumentan (FIGURA No. 17); sin embargo, esta pequeña variación no parece ser un factor determinante en la dinámica de este grupo en la laguna de Chingaza, ya que no explica otras variaciones presentes a lo largo del año.

Lo anteriormente expuesto podría sustentar la opinión de que las condiciones locales de la zona litoral y las características del sustrato natural, a parte de ser un sostén meramente mecánico actuaría también como fuente de nutrientes, especialmente en casos en los cuales estos no son suficientes en el medio (WETZEL, 1981; SAND-JENSEN, 1983). Según EMISON & MOSS (1980) y KUHN, ET AL (1981), las algas perifíticas en medios oligotróficos están adaptadas a las concentraciones de nutrientes bajas ya que pueden obtenerlos del sustrato. En este sentido el papel de los macrófitos como fuente de nutrientes no está bien establecido; sin embargo, en la laguna de Chingaza podría suponerse que aquellos actúan de alguna manera subsidiando a la comunidad.

Por otra parte, según los resultados la comunidad tiene también la posibilidad de responder a otros parámetros químicos del medio. Es así como la alcalinidad (expresión de la concentración de bicarbonatos), parece jugar un papel importante en la dinámica de la comunidad (WETZEL, 1981; CHARLES, 1985; FAIRCHILD, ET AL. 1989), ya que en zonas litorales con alta densidad de algas perifíticas a menudo aparecen reducciones de CO_2 , acompañadas por un aumento en la absorción del bicarbonato. Para el perifiton de la laguna de Chingaza, tal explicación podría ser válida y más teniendo en cuenta el hecho que las desmicias, que son sensibles a las concentraciones de bicarbonatos, aumentan en las épocas en las cuales la alcalinidad es más baja.

En el mismo sentido, como ya se discutió, el calcio es el principal catión en la laguna y parece que también influye en los ciclos de variación entre diatomeas y desmicias. Como se observa en la FIGURA No. 28, en las épocas de menor concentración de calcio hay un aumento en el número de *Closterium sp.*, y según WETZEL (1981), las desmicias se encuentran en aguas con bajas concentraciones de calcio y son muy sensibles a él.

En síntesis, la comunidad está regulada por una intrincada red de factores físicos y químicos. Sin embargo, parece evidente el hecho de que la reunión de condiciones ambientales (precipitación, nivel de las aguas), características del sustrato y en menor medida las condiciones químicas del medio determinan el comportamiento del perifiton.

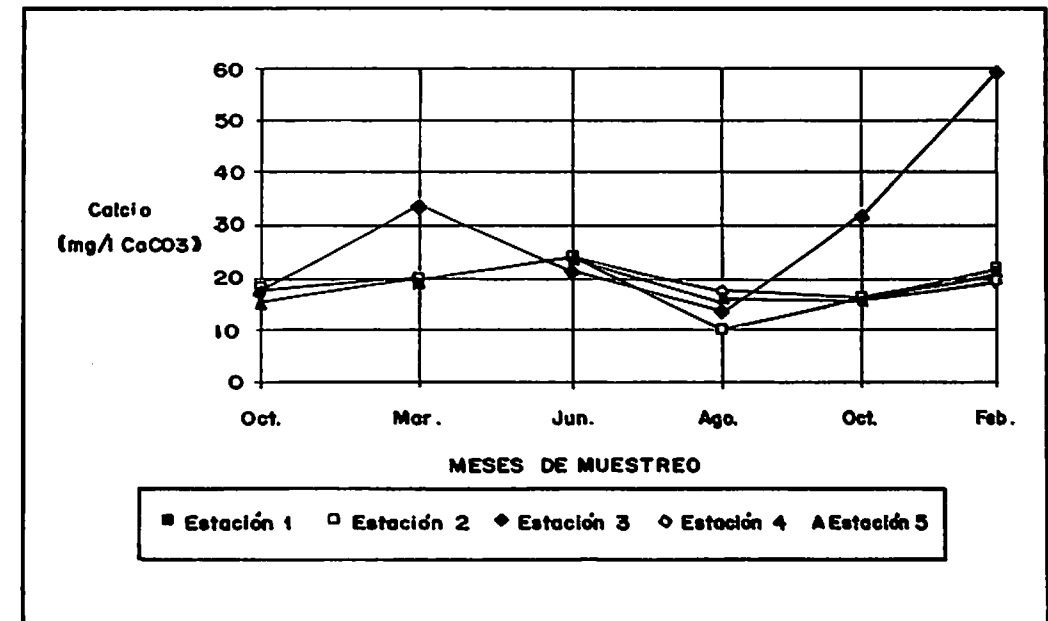


FIGURA No. 28. Valores de calcio (mg/l Ca CO_3) encontrados en la laguna de Chingaza.

6. MODELO CONCEPTUAL DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA ESTRUCTURA Y DINAMICA DE LAS ALGAS DEL PERIFITON

La estructura del perifiton y su dinámica están reguladas por factores externos a la comunidad. En este sentido, en la FIGURA No. 29 se hace énfasis en los elementos que están definiendo sus características. De esta figura se desprende el hecho que las variables ambientales (lluvia, temperatura, viento), actúan como reguladoras directas, no sólo de la comunidad sino también de las características físicas y químicas de la laguna. También es importante la influencia que la entrada del río Frío ejerce sobre la comunidad al aportar elementos algales y además influir en las condiciones físicas y químicas del medio.

Por otra parte, se resalta el papel que cumplen los macrófitos, no sólo como soporte mecánico y proveedor de microhábitats disponibles para la colonización, sino también como posible fuente de nutrientes (WETZEL, 1981; EMINSON & MOSS, 1980); esto último sumado a las características del sustrato rocoso y los sedimentos.

Se debe resaltar también el aporte de organismos de otras comunidades (euplancton, neuston) que por accidente o para completar su ciclo de vida se posan sobre el sustrato.

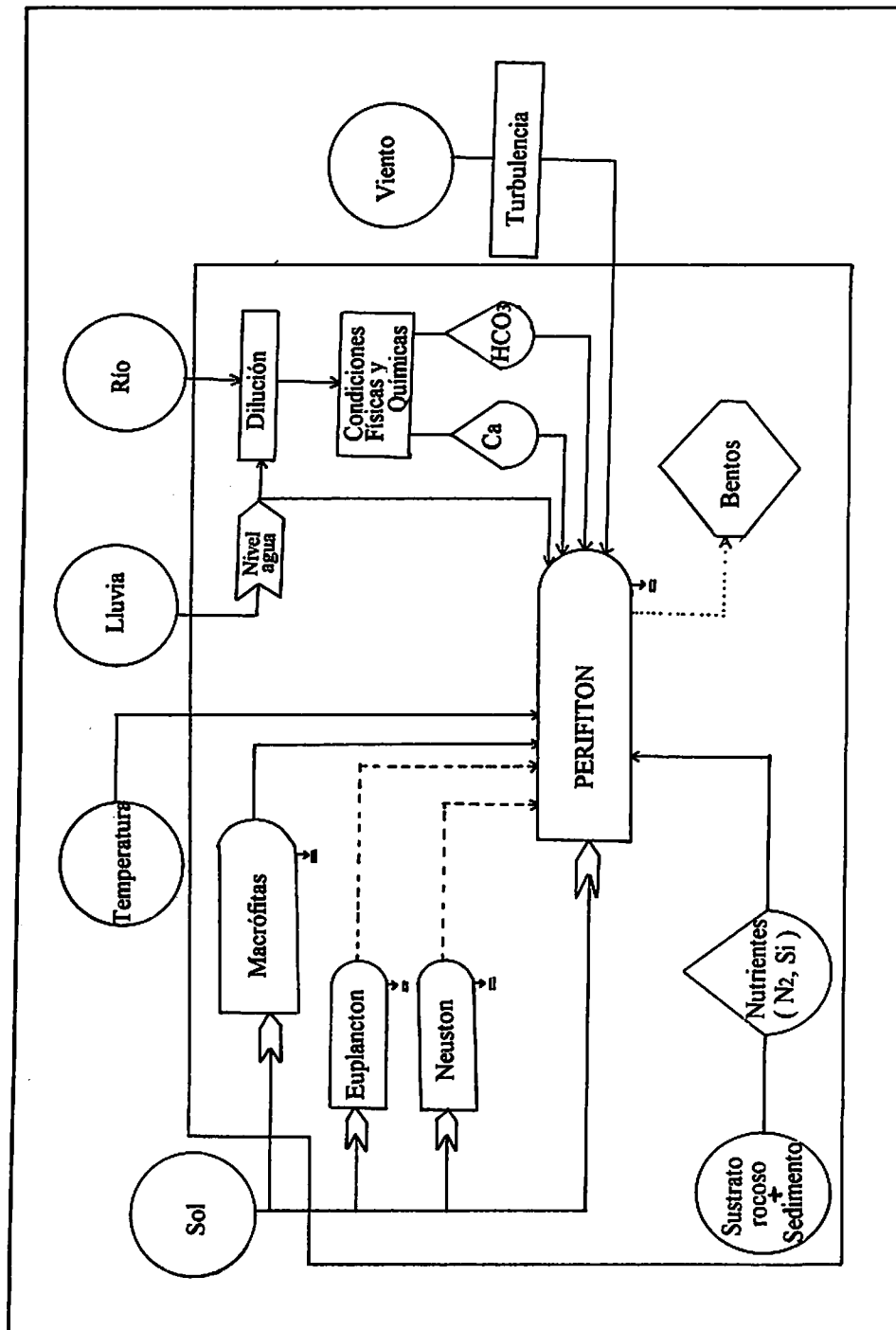


FIGURA No. 29. Modelo conceptual de los factores que influyen sobre la estructura y dinámica del perifiton de la laguna de Chingaza.

CAPÍTULO III EMBALSE DE CHUZA

A. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El embalse de Chuza se encuentra localizado a 36 Km al oriente de la ciudad de Santafé de Bogotá, en el departamento de Cundinamarca en las coordenadas 4°26' L.N. y 73°40' L.W., a 2996 m.s.n.m. (FIGURA No. 30) (GAVIRIA, 1983).

El embalse se construyó en la cuenca del río del mismo nombre y forma parte del llamado "Proyecto Chingaza" desarrollado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (E.A.A.B) con el fin de ampliar el sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Bogotá y municipios aledaños. Dicho proyecto consiste en la captación de corrientes de aguas que fluyen hacia la subcuenca del río Meta desde el ramal oriental de la cordillera de los Andes (E.A.A.B, 1971; GAVIRIA, 1983).

La longitud máxima del embalse es de 5.1 Km y su anchura máxima es de 2.2 Km hacia el occidente de la presa de Golillas; el área superficial máxima es de 580 Ha, tiene una capacidad de 250 millones de metros cúbicos y un volumen máximo aprovechable de 220 millones de metros cúbicos. La profundidad máxima es de 127 m y su profundidad media de 70 m. En la TABLA No. 7 se resumen las características generales del embalse (GAVIRIA, 1983; E.A.A.B., 1983).

La cantidad de agua que produce la cuenca de drenaje del embalse está garantizada por la intensa precipitación que se presenta en la zona a lo largo del año, igualmente por el aporte de los ríos Guatiquía, el río Chuza, los tributarios de las quebradas Leticia, Laguna Seca y Laguna Verde (BARBOSA, ET AL. 1984; E.A.A.B. 1971).

El clima del área del embalse es el típico de páramo atmosféricamente húmedo con un régimen unimodal de lluvias. Para el período de estudio comprendido entre noviembre/88 y enero/90, se encontró que entre abril y noviembre se presentan las mayores precipitaciones, con un promedio anual de 2.536 mm y con un pico máximo de precipitación en el mes de julio de 417 mm (TABLA No. 8 y FIGURA No. 31); los demás meses corresponden a la época seca o de precipitaciones bajas. De acuerdo con

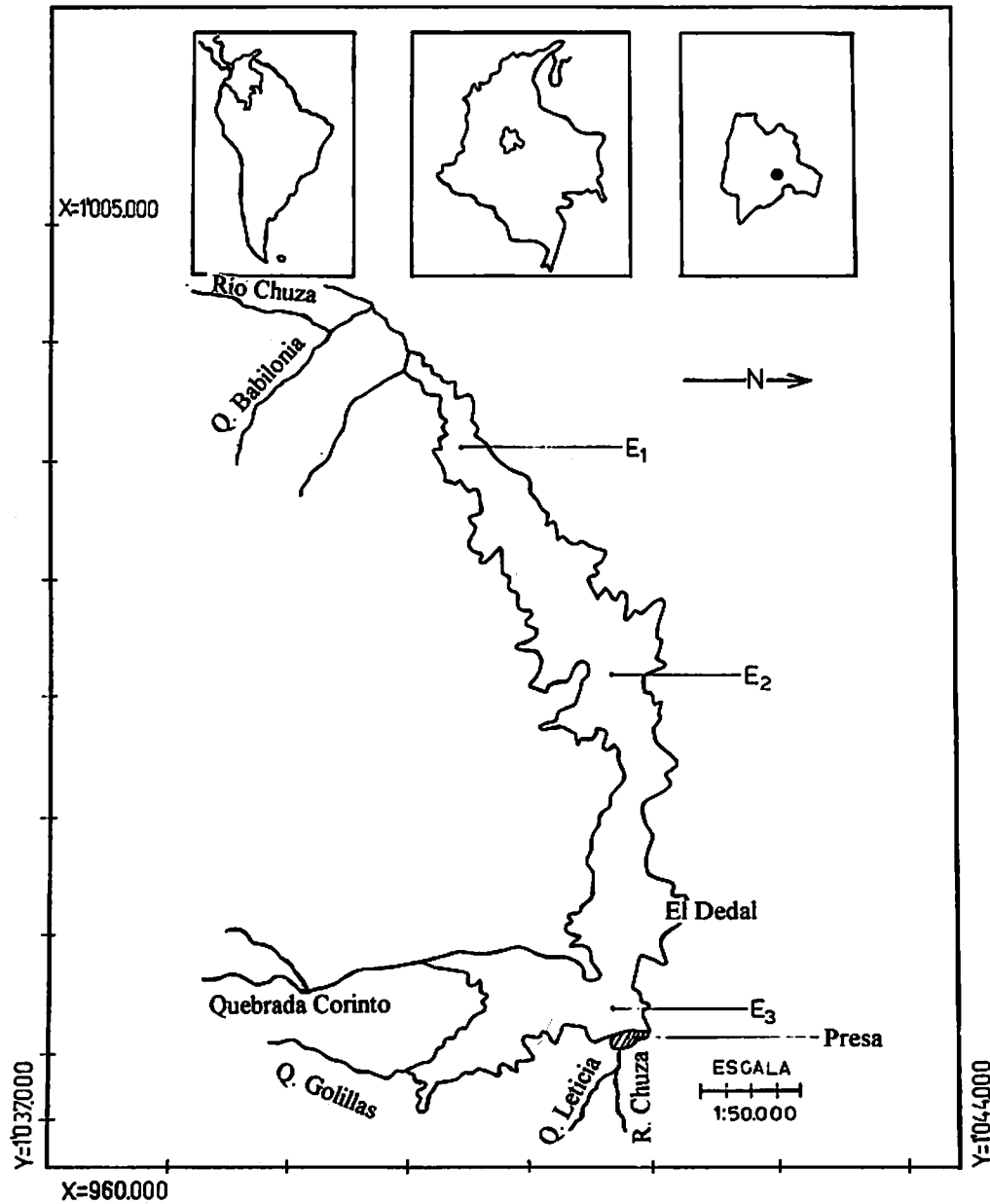


FIGURA No. 30. Ubicación geográfica del embalse de Chuza y estaciones de muestreo

TABLA No. 7
Características generales del embalse de Chuza.

CARACTERÍSTICAS	PARAMETROS
Área de inundación	537 Ha
Volumen total	250 millones de m ³
Volumen máximo aprovechable	220 millones de m ³
Profundidad máxima	127 m
Profundidad media	70 m
Vida útil	más de 55 años
Caudal de la presa	22 m ³ /seg
Caudal medio del Guatiquía	5.9 m ³ /seg
Caudal medio de Chuza	5.5 m ³ /seg
Área cuenca de drenaje	
río Chuza	10150 Ha
río Guatiquía	9950 Ha
Temperatura media	13.6 °C
Precipitación promedio (1988-1989)	2536 mm
Longitud total de túneles	40 km
Longitud total de tuberías de conducción	7.8 km
Longitud total de pozos	690 m

Fuente: E.A.A.B. (1971), Guerrero (1983).

TABLA No. 8

Precipitación media anual en mm, volumen medio útil en miles de m³, temperatura media en °C y pH para el embalse de Chuza. Período 1988-1990.

FECHA	PRECIPITACION (mm)	VOL. MEDIO (m ³)	NIVEL (m)	TEMPERATURA (°C)	pH (H ⁺)
Noviembre/88	273.0	121.060	2982	13.3	7.2
Diciembre/88	123.5	109.298	2980	13.3	7.2
Anual	1883.0				
Enero/89	96.0	108.7	2976	13.8	7.40
Febrero/89	63.0	86.88	2971	14.8	7.35
Marzo/89	170.3	70.35	2966	13.9	7.40
Abril/89	126.1	58.51	2963	13.7	7.40
Mayo/89	227.4	56.61	2962	14.3	7.25
Junio/89	316.4	81.66	2970	13.4	6.90
Julio/89	416.9	126.1	2980	13.6	6.95
Agosto/89	152.5	160.4	2987	13.8	7.10
Septiembre/89	148.9	164.7	2988	13.7	7.05
Octubre/89	224.5	156.4	2986	12.9	7.10
Noviembre/89	120.2	148.7	2985	13.1	7.10
Diciembre/89	77.7	140.3	2983	13.1	7.10
Anual	2140				
Enero/90	125.6	51.03			

FUENTE: E.A.A.B. Departamento de Hidrobiología

CARREÑO & RAMIREZ (1979) y considerando la FIGURA No. 31, desde 1968 hasta 1988 el embalse presenta un comportamiento similar al actual. La temperatura promedio anual es de 13.6°C, presentando un pico máximo en el mes de febrero el cual coincide con el valor más bajo de precipitación (FIGURA No. 31).

En la FIGURA No. 32 se muestran los cambios de nivel y volumen de agua embalsado, con un promedio en el nivel para la época de muestreo de 2.977 m; igualmente, se presenta una reducción considerable de volumen durante los meses de más baja precipitación.

El área considerada en el estudio está cubierta con rocas sedimentarias pertenecientes a edades que van desde el cretáceo inferior hasta el terciario superior; en general, las rocas consisten en lutitas delgadas y laminadas, areniscas cuarcíticas en capas gruesas y arcillolitas masivas intercaladas con areniscas blandas. También se considera que los suelos de la región son de carácter ácido (E.A.A.B., 1983).

La zona inundada por las aguas del embalse estaba constituida por tipos de vegetación que corresponden a chuscales de *Swallenochloa tessellata*, pajonales compuestos por *Calamagrostis effusa*, *Espeletia argentea* y matorrales de *Hypericum* sp.; de acuerdo con CLEEF (1981), éstas corresponden a formaciones vegetales propias de páramo.

En el sector no se registran asentamientos ni explotaciones agrícolas o pecuarias, ya que la región se encuentra protegida por formar parte de un Parque Nacional, constituido como reserva faunística y florística, por lo que no se permite la alteración del medio ambiente (BARBOSA, ET AL. 1984; BRICENO, 1978).

B. RESULTADOS

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Como se observa en la TABLA No. 9, los porcentajes de saturación de oxígeno disuelto del embalse de Chuza presentan variaciones a lo largo del período de estudio; el mes de mayo -que se caracteriza por un aumento en la precipitación- registra valores cercanos a la saturación y sobresaturación con un promedio de 8.8 mg/l O₂; por el contrario, en julio se observan valores bajos con niveles de subsaturación, con una media de 6.8 mg/l O₂.

De acuerdo con esta tabla, los valores fluctúan de una estación de muestreo a otra; así, la estación 1 se caracteriza por registrar los valores más altos (9.8 mg/l) en comparación con las otras dos estaciones, donde los valores oscilan entre 6.0 a 8.0 mg/l O₂.

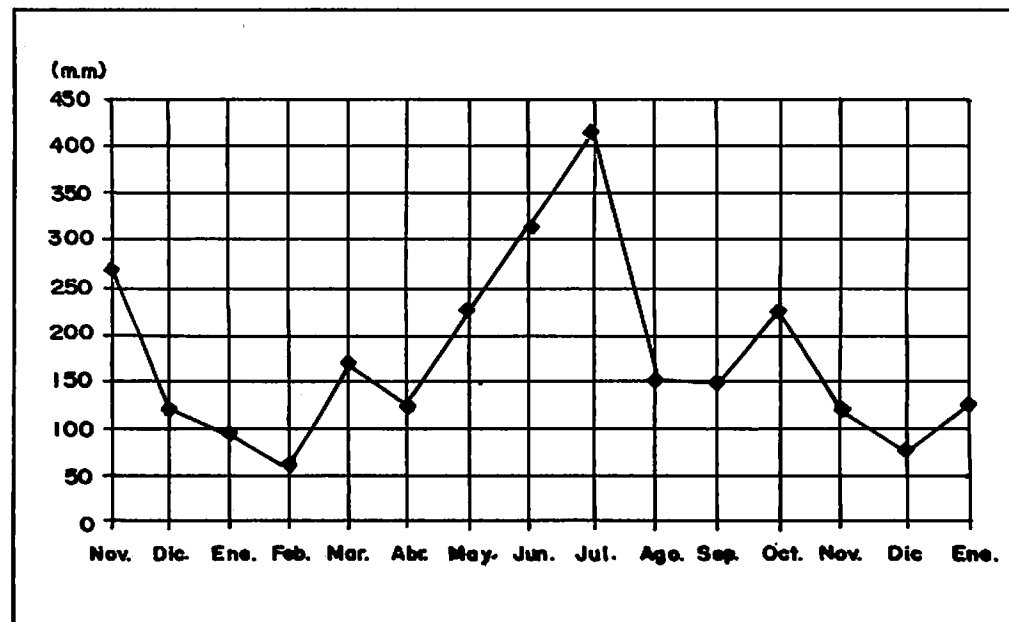
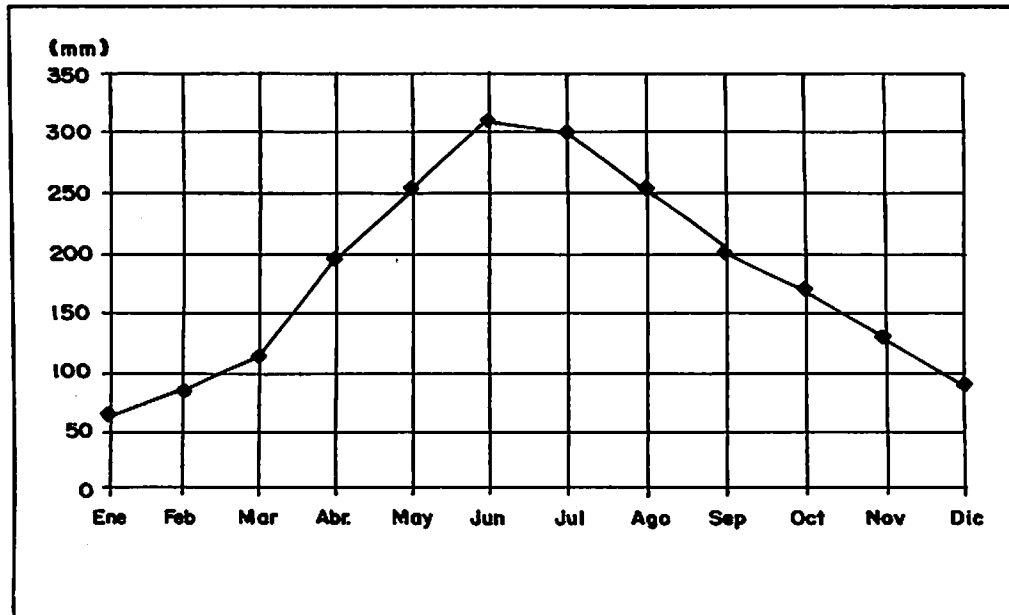


FIGURA No. 31a,b. Precipitación media mensual (1963-1988) y durante el período de estudio (nov/88-ene/90). Embalse de Chuza.

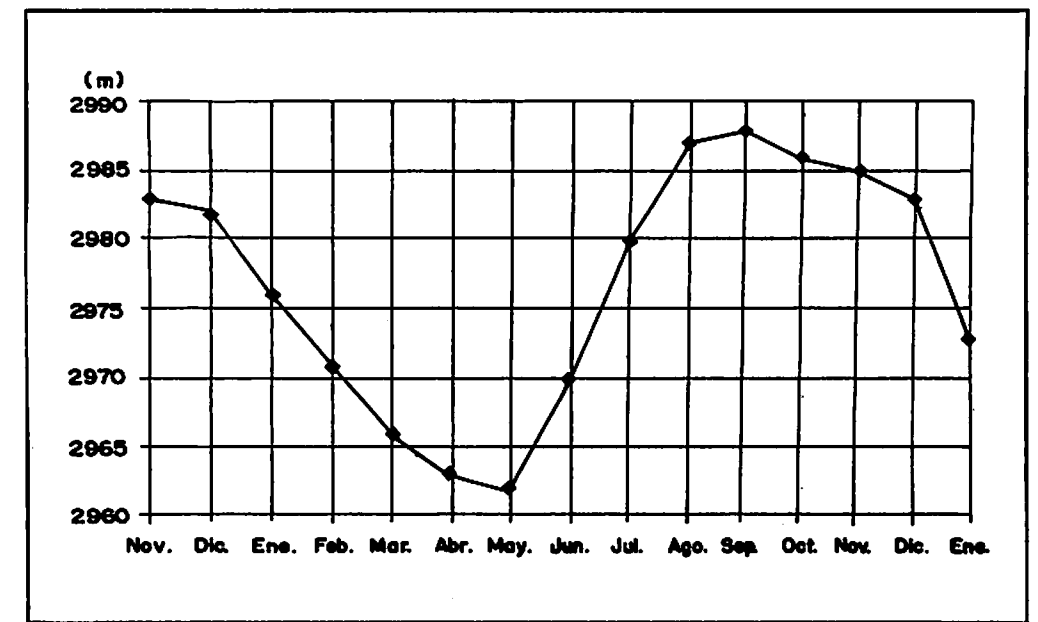
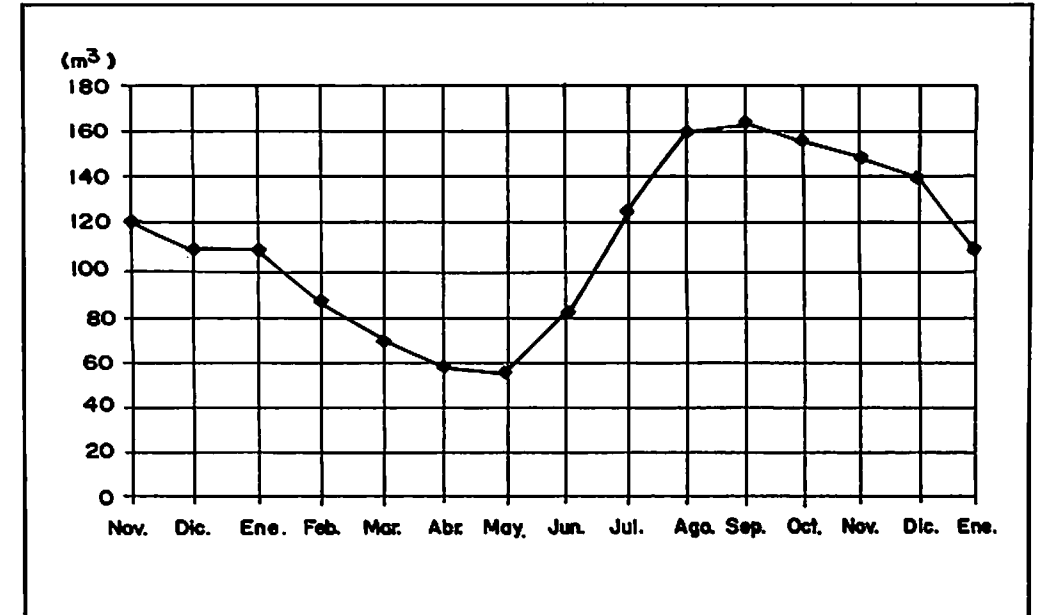


FIGURA No. 32a,b. Volumen y nivel promedio mensual (nov/88-ene/90) en el embalse de Chuza (Datos E.A.A.B.).

TABLA No. 9

Valores de Disco de Secchi (m), oxígeno disuelto (mg/l) porcentaje de saturación de O₂ y temperatura (°C) en el embalse de Chuza.

FECHA	ESTACION	DISCO	OXIGENO DISUELTO	% SATURACION	TEMPERAT.
Noviembre/88	1	5.7	8.1	69.5	15
	2	4.5	7.8	69.5	15
	3	5.0	8.2	71.0	14
Mayo/89	1	4.0	9.8	72.7	13.5
	2	5.0	9.6	74.4	11.5
	3	3.0	7.0	78.0	10
Junio/89	1	2.1	7.6	72.7	12.5
	2	2.5	6.1	72.7	12.5
	3	2.1	6.8	72.7	13
Septiembre/89	1	5.8	--	--	--
	2	4.7	--	--	--
	3	5.0	8.0	71.0	14.2
Noviembre/89	1	5.5	8.2	68.1	15.5
	2	4.0	7.3	69.5	15
	3	4.5	8.0	71.0	14

Para el embalse de Chuza, las fluctuaciones de pH registradas (5.5-7.8) son muy leves (TABLA No. 10 y FIGURA No. 33); igualmente se encontraron para los meses de julio/89 y enero/90, valores máximos de acidez (4.0 mg/l CaCO₃) y de CO₂ (1.8 ppm CO₂) (TABLA No. 10, FIGURAS Nos. 34a,b). Estas variables determinan las concentraciones relativas de las formas CO₂, HCO₃ y CO₃, de manera que el ión bicarbonato (H₂CO₃) ejerce un efecto tampón sobre el pH de las aguas del embalse de Chuza. La alcalinidad está correlacionada negativamente con la acidez total (ANEXO No. 5, FIGURA No. 35) y positivamente con el CO₃, el cual contribuye también a mantener este efecto tampón.

Como se observa en la TABLA No. 11, la dureza total, expresada en forma de CaCO₃, no presenta variaciones drásticas a lo largo de todos los muestreos. Los valores que oscilan entre 18-26 ppm CaCO₃, tienen una correlación negativa con la conductividad (FIGURA No. 35), lo que significa que las variaciones de ésta se deben a la presencia de iones Ca, SO₄ y en menor proporción al K⁺ y al Na⁺⁺. La conductividad no registró cambios significativos en todo el muestreo a excepción del mes de septiembre/89, donde se da el valor máximo debido al efecto tardío de llenado del embalse.

TABLA No. 10

Cambio en la concentración de acidez total (meq/l CaCO₃), CO₂ (ppm) y pH en el embalse de Chuza.

FECHA	ESTACION	ACIDEZ (mg/l CaCO ₃)	CO ₂ (mg/l CO ₂)	pH (H ⁺)
Noviembre/88	1	2	0.88	5.5
	2	2	0.88	5.5
	3	2	0.88	5.5
Mayo/89	1	2	0.88	7.0
	2	3	1.3	6.9
	3	2	0.88	6.9
Julio/89	1	4	1.8	7.0
	2	4	1.8	5.8
	3	4	1.8	5.8
Septiembre/89	1	2	0.9	7.7
	2	2	0.9	7.8
	3	2	0.9	7.8
Noviembre/89	1	2	0.9	7.7
	2	2	0.9	7.4
	3	2	0.9	7.1
Enero/90	1	4	1.8	7.2
	2	4	1.8	7.1
	3	4	1.8	7.0

Los elementos de proporcionalidad variable se caracterizan por no tener ninguna correlación o una baja correlación positiva con la conductividad (ANEXO No. 5), aunque sí dependen de la actividad de los organismos (MARGALEF, 1983).

Para la materia orgánica se considera una relación nitrógeno/fósforo (N/P) de 15:1; desviaciones de esta relación hacia uno u otro lado producen cambios en la composición de la comunidad del fitoplancton de las aguas dulces. De acuerdo con la TABLA No. 12, se observa que durante los muestreos, la relación N/P teóricamente esperada no se presenta, por el contrario, los valores obtenidos son cercanos al cero e incluso cero para la mayoría de los meses excepto noviembre/88 y julio/89, donde la relación fue de 0.0009 g-at/l y 0.0011 g-at/l, lo que revela que el elemento limitante para el sistema es el nitrógeno. Dicho elemento se encontró únicamente en las formas de NO₃ y NO₂ (FIGURAS Nos. 36a,b); por el contrario, no se detectaron valores de amonio para el período de muestreo.

Las concentraciones de fósforo, en forma de ortofosfatos, se observan también en la TABLA No. 12 y FIGURA No. 37. Los valores más altos se

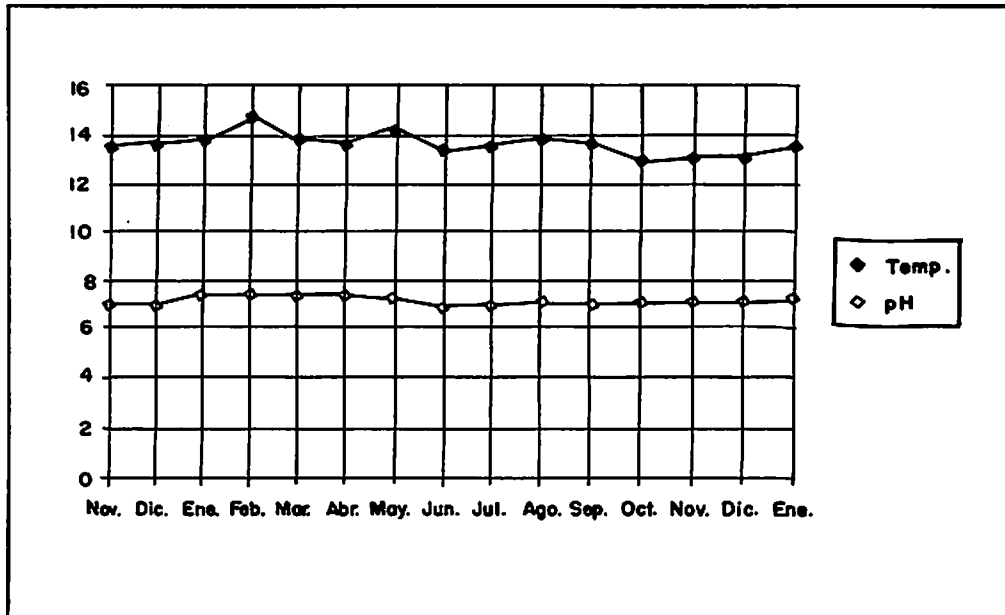


FIGURA No. 33. Variaciones promedio de temperatura (°C) y pH (H+) para el embalse de Chuza.

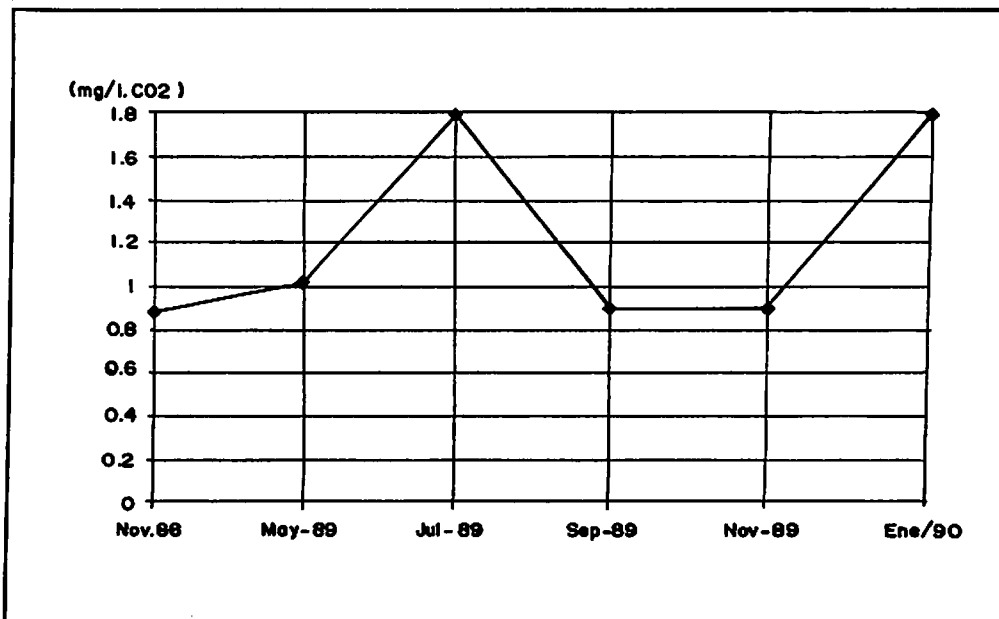


FIGURA No. 34a. Variación promedio mensual en la concentración de CO₂ (mg/l CO₂).

TABLA No. 11
Valores de dureza total (ppm CaCO₃) y conductividad (μ S/cm a 25°C) en el embalse de Chuza. Período noviembre 1988-enero 1990).

FECHA	ESTACION	DUREZA (mg/l CaCO ₃)	CONDUCTIVIDAD (uS/cm)
Noviembre/88	1	24	42.8
	2	24	42.0
	3	24	41.8
Mayo/89	1	26	39
	2	24	40
	3	24	38
Julio/89	1	26	40
	2	18	37
	3	22	35
Septiembre/89	1	20	68
	2	18	46
	3	20	55
Noviembre/89	1	24	40
	2	22	39
	3	22	45
Enero/90	1	26	41
	2	24	39
	3	24	40

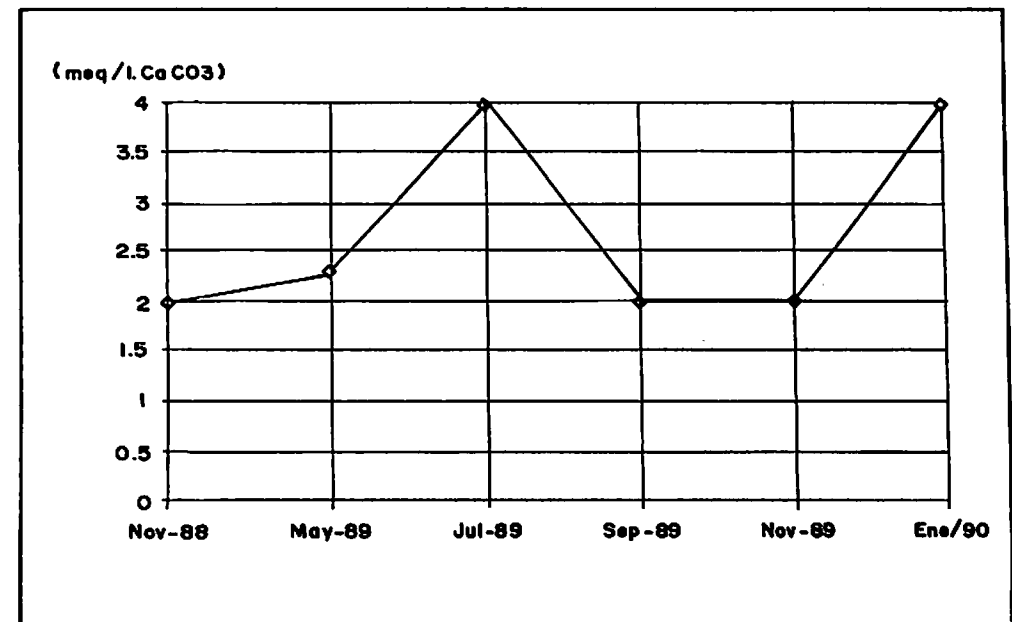


FIGURA No. 34b. Variación promedio mensual en la acidez total (mg/l CaCO₃) del embalse de Chuza.

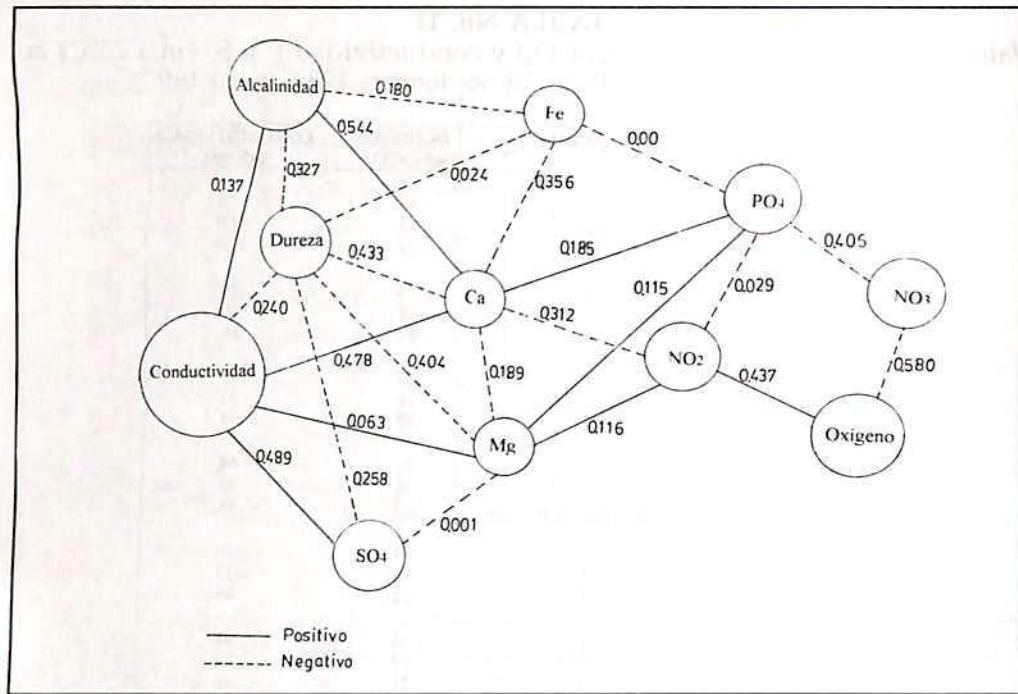


FIGURA No. 35. Red de correlaciones estadísticas entre los parámetros físico-químicos en el embalse de Chuza.

presentaron para el mes de mayo (0.4 mg/l); así mismo, los valores más bajos se presentaron en enero/90 y están relacionados con la disminución de lluvias y también con la estratificación química presentada durante este mes.

La variabilidad estacional de los parámetros físicos y químicos en el embalse de Chuza, no revelan cambios drásticos en el comportamiento de estos; sin embargo, vale la pena resaltar las fluctuaciones que se presentaron a lo largo del año de muestreo tanto en aguas superficiales (FIGURA No. 38), como de muestras tomadas a 50-60 m de profundidad (FIGURA No. 39).

De acuerdo con la FIGURA No. 38, se observan subgrupos de muestras que se asociaron de acuerdo con la similitud en la composición de sus elementos. Es así como se tiene una primera agrupación que incluye los grupos I y II, los cuales reflejan la época de bajas precipitaciones, en donde se destaca un leve incremento en la temperatura (14-15°C), una disminución de volumen y nivel de las aguas del embalse (FIGURA No. 32), bajos valores de conductividad, dureza y CO_2 , así como un incremento en los valores de oxígeno, transparencia (4.5-5.0 m), los valores indetectables de nitratos, nitritos, amonio y las concentraciones máximas de fósforo (0.4 mg/l).

TABLA No. 12
 Valores de fósforo y nitrógeno ($\mu\text{g-at/l}$) encontrados en el embalse de Chuza durante los meses de muestreo. Fósforo (ortofosfatos), nitrógeno (NO_3 , NO_2).

FECHA	ESTACION	NITROGENO	FOSFORO	N/P
Noviembre/88	1	0.043	46.8	0.0009
	2	0.043	46.8	0.0009
	3	0.043	52	0.0009
Mayo/89	1	0	56.4	0
	2	0	56.2	0
	3	0	55.4	0
Julio/89	1	0.64	42.8	0.014
	2	0.48	42.8	0.011
	3	0.48	42.8	0.011
Septiembre/89	1	0	54.2	0
	2	0	54.4	0
	3	0	54.2	0
Noviembre/89	1	0	0.21	0
	2	0	0.21	0
	3	0	0.21	0
Enero/90	1	0	0.09	0
	2	0	0.06	0
	3	0	0.06	0

El grupo III incluye las muestras pertenecientes al mes de julio (época de intensas precipitaciones), cuando aumenta la entrada de materia orgánica procedente del arrastre o la lixiviación de los suelos por las lluvias y del caudal de los tributarios. Este aumento en el volumen del embalse conlleva a una disminución de la conductividad dureza, así como también a un aumento en la alcalinidad. Las temperaturas registradas son las más bajas debido a la entrada de los diferentes tributarios que aportan masas de agua frías; también aumenta la turbidez del agua, lo cual influye en los valores de transparencia (2.1-2.5 m). Aparece nitrógeno en forma de nitrato en bajas cantidades, disminuye notablemente la concentración de fósforo registrando valores de 0.12 mg/l; la concentración de CO_2 se duplica, mientras el oxígeno disminuye.

Finalmente, el grupo IV representa una época de transición desde el pico máximo de precipitación hasta el período de disminución de las lluvias. Para este período se recupera el nivel máximo de las aguas del embalse; la temperatura alcanza sus valores iniciales, se registran los valores máximos de conductividad (68 $\mu\text{s/cm}$) y los mínimos en la dureza (18 ppm CaCO_3), se obtienen valores indetectables para el nitrógeno y el fósforo aumenta sus valores para este período.

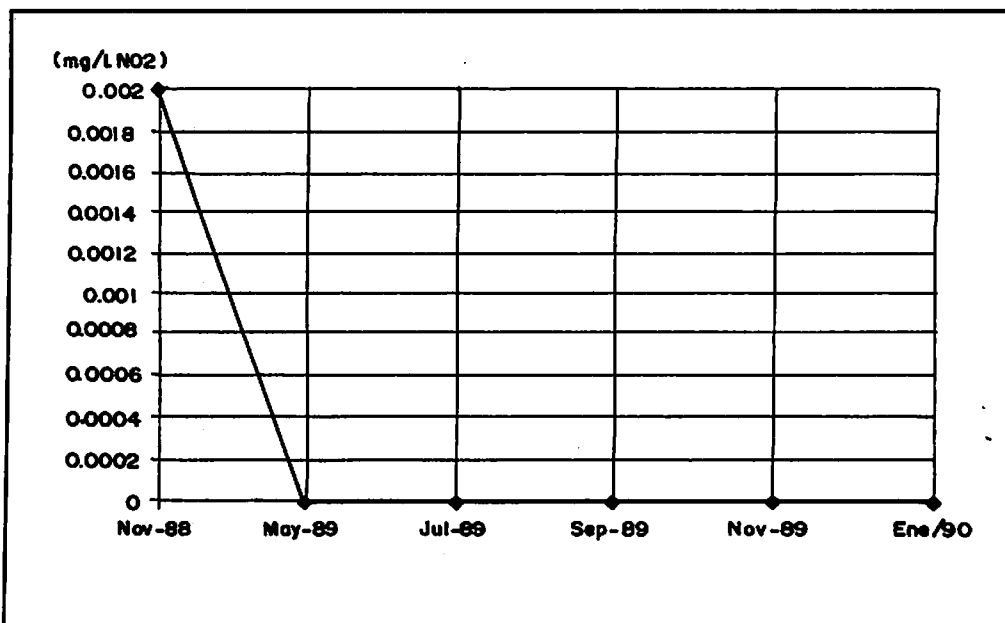
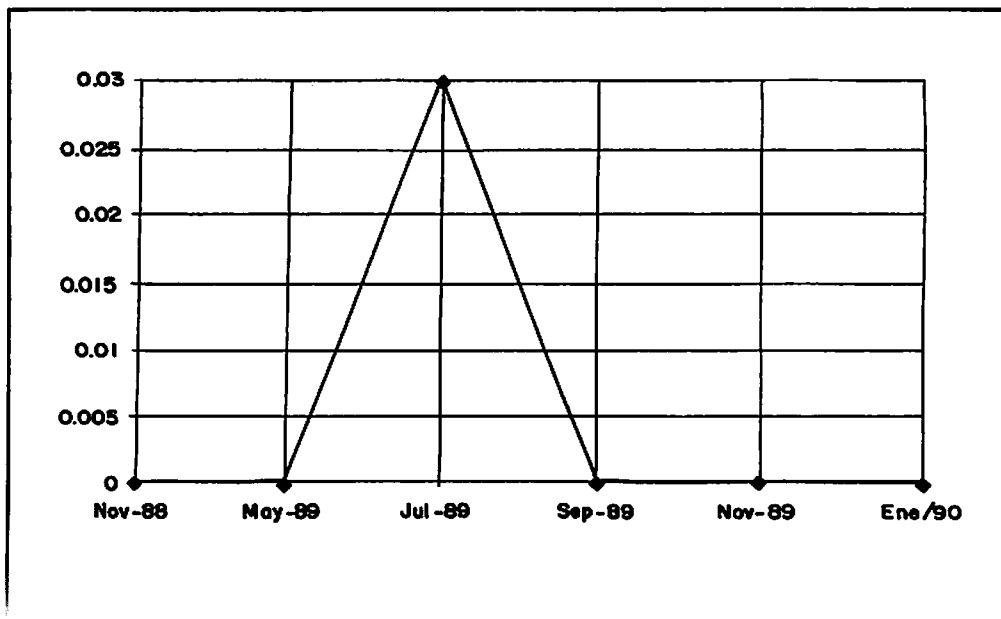


FIGURA No. 36 a, b. Rangos de variación durante los meses de muestreo en la concentración de nitrógeno en forma de NO₃ y NO₂ (mg/l N) para el embalse de Chuza.

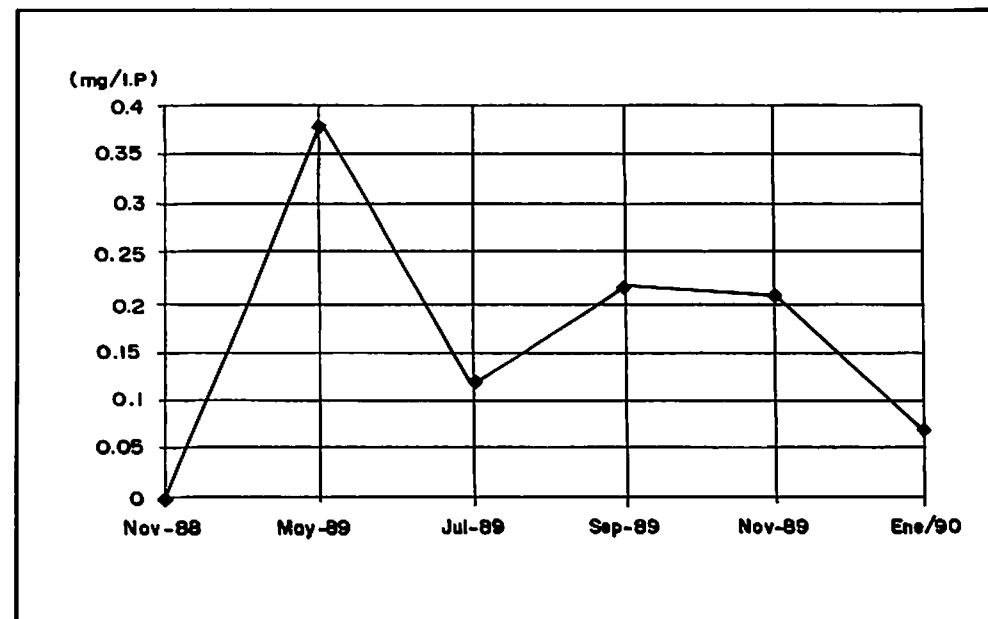


FIGURA No. 37. Rangos de variación para el fósforo en mg/l PO₄ para los meses de muestreo en el embalse de Chuza.

En cuanto a las muestras de aguas profundas (50-60m) se tuvieron en cuenta variables como nitrógeno en forma de nitritos, amonio y nitrógeno total, fósforo total, pH, temperatura y oxígeno, ya que son los elementos fundamentales que influyen en la productividad, metabolismo y distribución vertical de organismos fitoplanctónicos de los lagos.

Las fluctuaciones de dichas variables se reúnen en la TABLA No. 13 y FIGURA No. 39; en la citada figura, el subgrupo 1 incluye muestras de la época de disminución de las lluvias. Estas se caracterizan por la ausencia de nitritos, la presencia de amonio en bajas cantidades, las concentraciones elevadas tanto de fósforo (\bar{x} :1.28 mg/lP) como de nitrógeno total (0.9 mg/l N). Estos valores de fósforo y nitrógeno pueden estar relacionados con la estratificación química (TABLA No. 12) que presentó el embalse en esta época.

El subgrupo 2 incluye muestras correspondientes al período de máxima precipitación. Por primera vez aparece nitrógeno en forma de nitritos (0.2-0.4 mg/l N), se incrementa el amonio como resultado de procesos de descomposición y disminuye notablemente la concentración de fósforo total (0.001-0.003 mg/l P).

El subgrupo 3 está constituido solo por la muestra perteneciente a la estación 3 (mayo/90) y se encuentra separado de las demás agrupaciones por las diferencias existentes en la concentración de fósforo total (2.2 mg/lP)

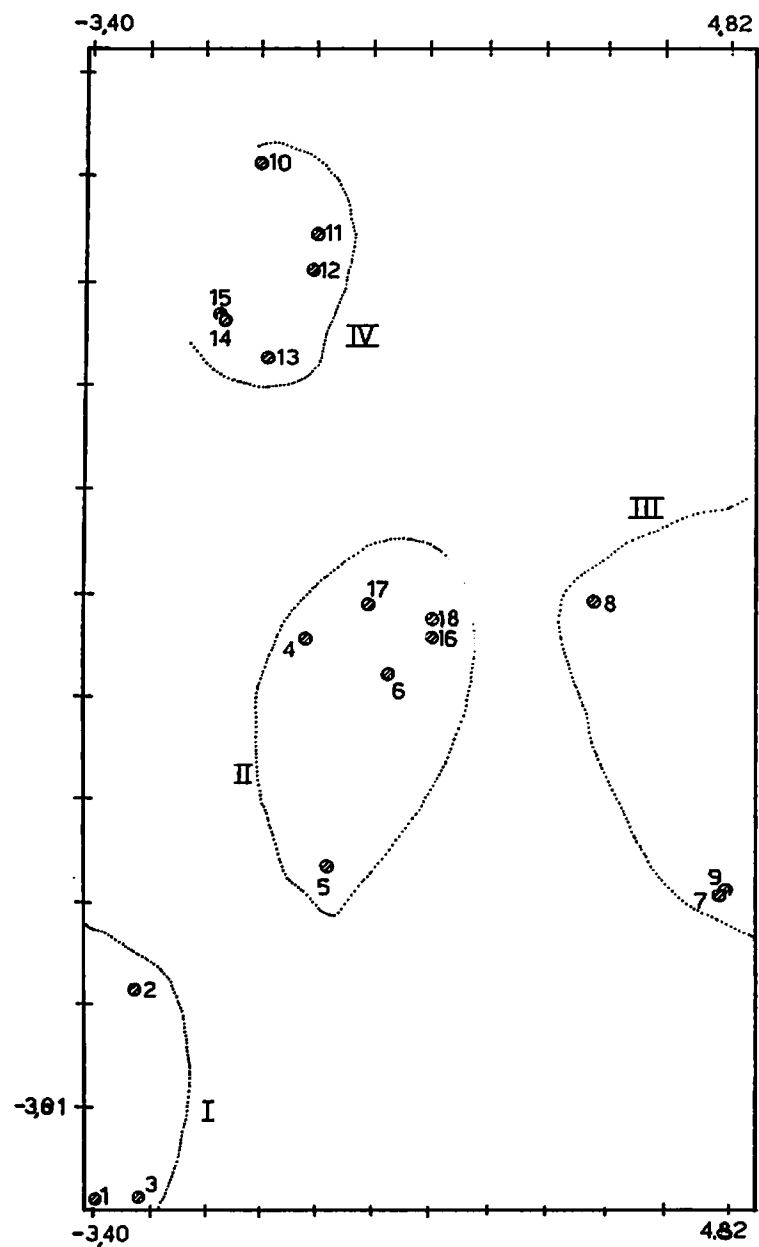


FIGURA No. 38. Comportamiento físico-químico anual durante el período de estudio en el embalse de Chuza.

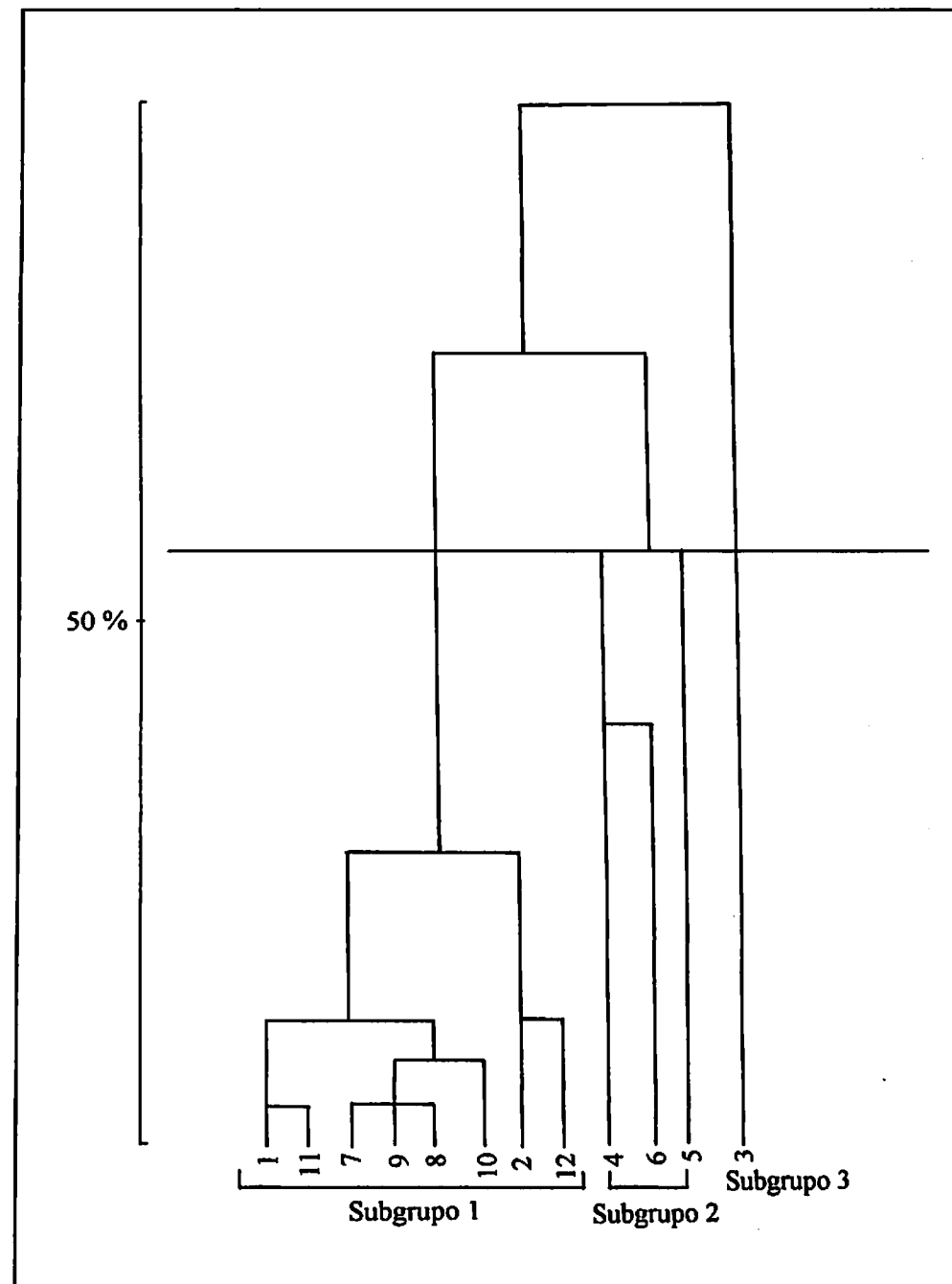


FIGURA No. 39. Dendrograma de las variables físico-químicas para aguas profundas, del embalse de Chuza.

TABLA No. 13

Valores de pH, nitritos (mg/l NO₃), amonio (mg/l NH₄), nitrógeno total (mg/l N) y fósforo total (mg/l PO₄) en aguas profundas en el embalse de Chuza.

FECHA	ESTACION	pH	NITRITOS (mg/l N)	AMONIO (mg/l N)	FOSFORO TOTAL (mg/l PO ₄)	NITROGENO TOTAL (mg/l N)
Mayo/89	1	7.2	0	0.05	0.85	0.42
	2	6.8	0	0.15	0.80	0.7
	3	6.6	0	0.15	2.2	1.6
Julio/89	1	7.0	0.2	0.5	0.003	-
	2	6.6	0.2	1.5	0.001	-
	3	6.6	0.4	0.5	0.002	-
Septiembre/ 89	1	7.6	0	0	0.73	0.3
	2	7.5	0	0	0.99	0.4
	3	7.4	0	0	0.73	0.3
Noviembre/ 89	1	7.5	0	0.05	0.61	0.56
	2	7.3	0	0.05	0.98	0.56
	3	7.0	0	0.05	0.46	0.56

y nitrógeno total (1.6 mg/l N), que son los valores más altos encontrados en estas capas profundas.

2. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS (FITOPLANCTON)

a. Composición

La determinación taxonómica de las algas fitoplanctónicas encontradas en el embalse de Chuza dio como resultado 38 especies distribuidas en 5 clases, 8 órdenes, 15 familias y 25 géneros (ANEXO No. 6).

En el ANEXO No. 7 aparecen las 24 especies pertenecientes al euplancton (su ciclo vital lo cumplen en las aguas libres), 9 al perifiton-bentos (adheridas a cualquier sustrato) y 4 al neuston (comunidad de la interfase aire-agua). En este mismo anexo se observa que la comunidad más numerosa es la perteneciente al euplancton, comunidad típica de aguas abiertas, compuesta en su mayoría por el grupo de algas verdes que a su vez incluye un gran número de algas de la familia Desmidiaceae, entre las que sobresalen *Closterium*

ehrenbergii, *Staurastrum* sp., *Staurodesmus convergens*, *Closterium setaceum*, *Hyalotheca mucosa* y *Xanthidium antilopaeum*, entre otras. Le siguen en importancia algas perifíticas representada por unas pocas especies de diatomeas como *Gomphonema acuminatum* y *Epithemia turgida* y finalmente el grupo que incluye las especies dominantes que se encontraron para el embalse como *Peridinium cinctum*, *P. limbatum* y *Dinobryon divergens*.

Así mismo, los histogramas de las abundancias relativas del fitoplancton se observan en la FIGURA No. 40, donde sobresale un número elevado de algas para los meses de septiembre/89 y noviembre/89, con un promedio de 11.000 ind/ml, coincidiendo con el pico máximo de precipitación y volumen del embalse; caso contrario ocurre en los meses de baja precipitación cuando disminuye notablemente la abundancia de especies (2.500-4.000 ind/ml).

En las FIGURAS Nos. 41a, 41b y 42 puede verse como se presenta una distribución heterogénea de los diferentes grupos dependiendo de la disponibilidad de nutrientes y de luz; así como *Peridinium cinctum* se concentra a 3 y 5 m de profundidad, *Dinobryon divergens* se ubica a 1 m o 5 m y *Dactylocopsis* sp. entre 1 y 3 m.

Para explicar la variación espacio-temporal de las comunidades fitoplanctónicas del embalse se construyó un dendrograma a partir de mues-

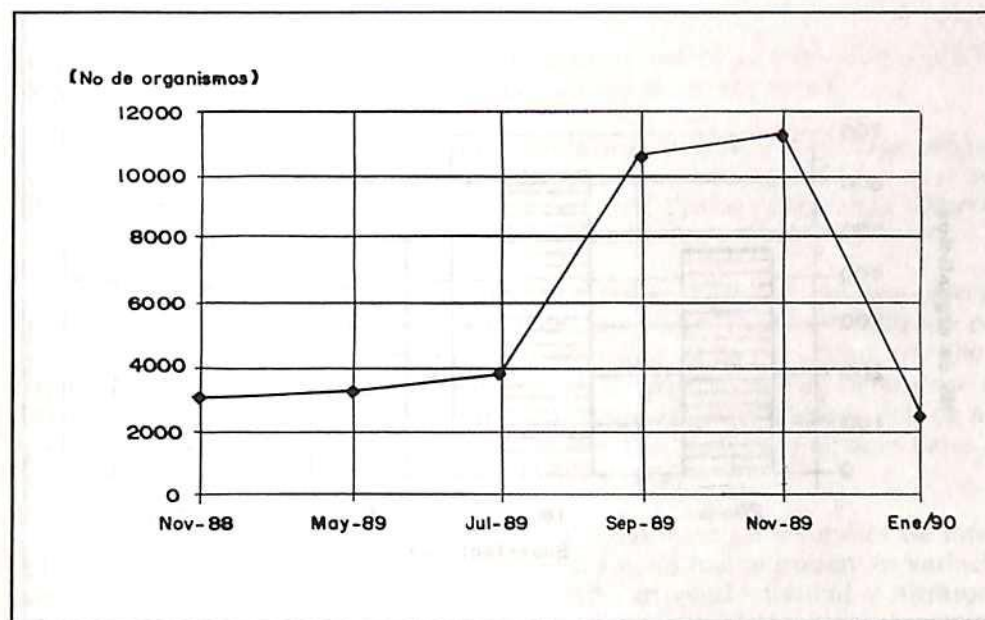


FIGURA No. 40. Abundancia media de especies para los meses de muestreo, en el embalse de Chuza.

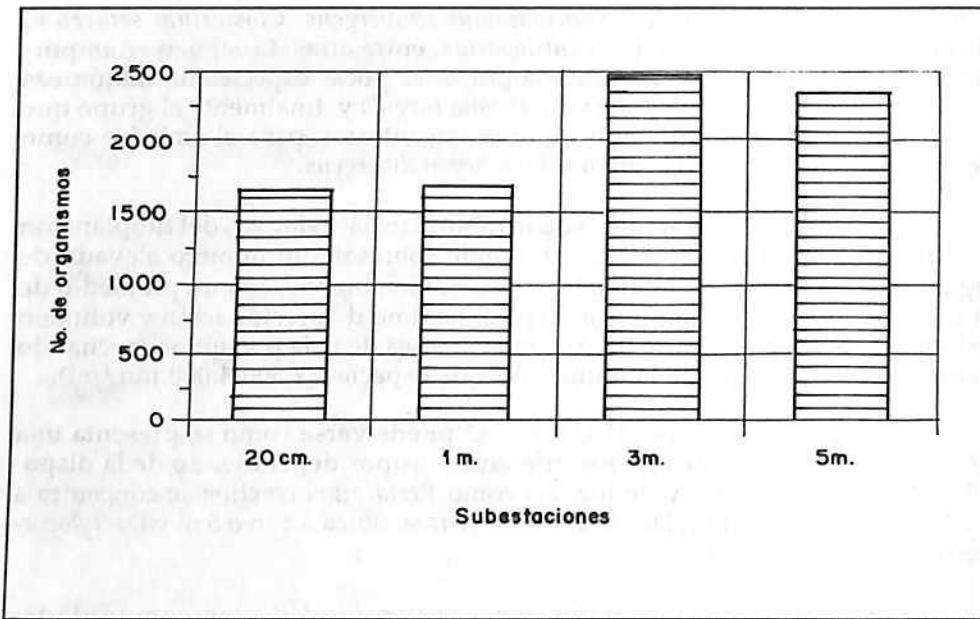


FIGURA No. 41a. Distribución vertical promedio de *Peridinium cinctum*. Período nov/88-jul/89 para el embalse de Chuza.

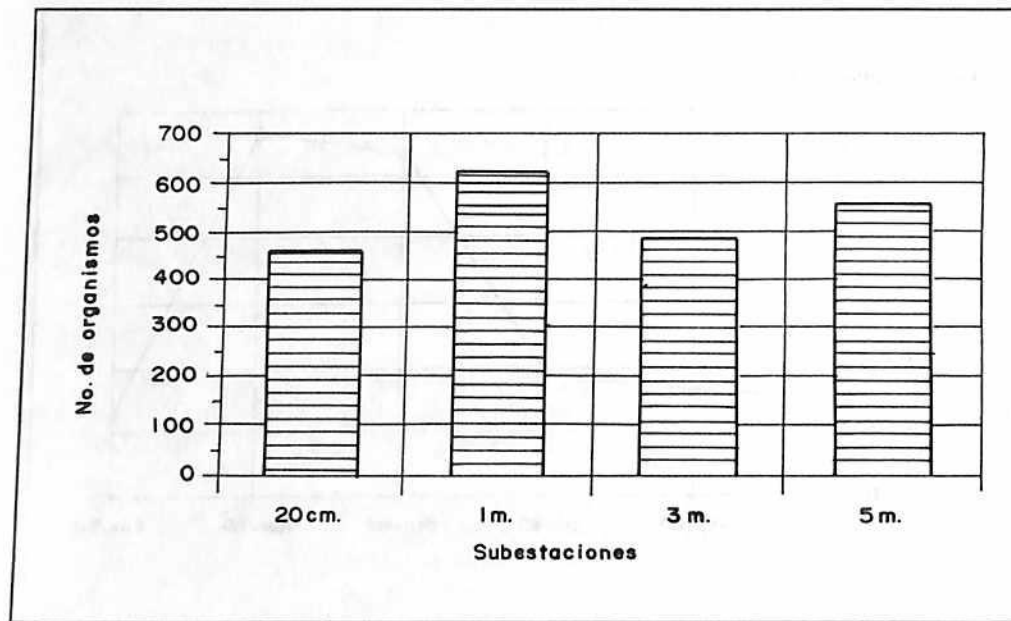


FIGURA No. 41b. Distribución vertical promedio de *Dinobryon divergens*. Período nov/88-jul/89 para el embalse de Chuza.

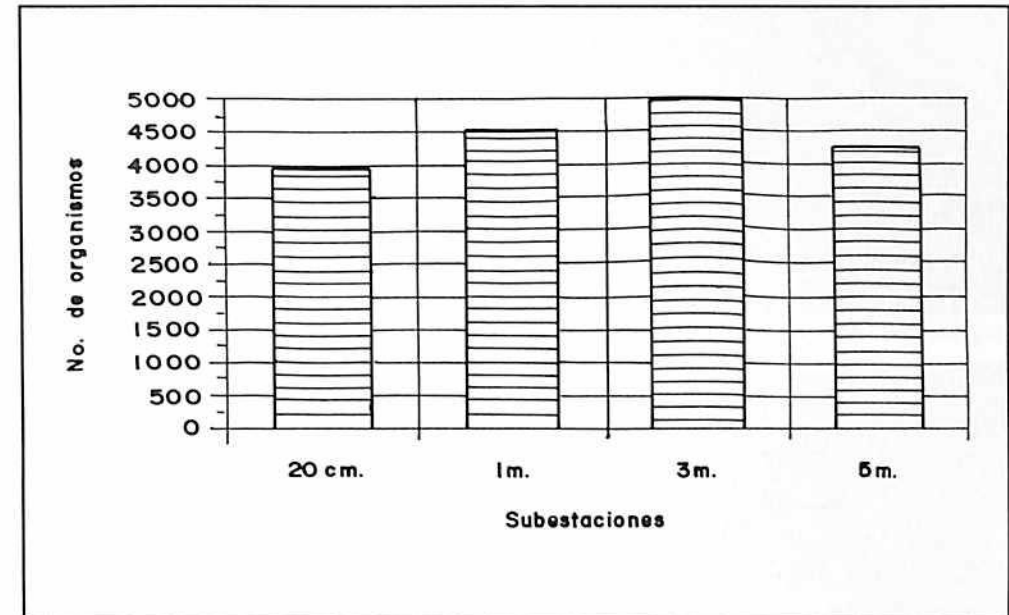


FIGURA No. 42. Distribución vertical promedio de *Dactylococopsis* sp en el período nov/88-ene/90, embalse de Chuza.

tras cuantitativas por estaciones y se aplicó el índice de Bray-Curtis (FIGURA No.43) dando como resultado las siguientes agrupaciones:

Grupo I. presenta predominio de dinoflagelados como *Peridinium cinctum* y *P. limbatum* y especies subdominantes como *Anabaena* sp., *Chroococcus* sp., *Botryococcus braunii*, *Cymbella cistula*, *Tabellaria flocculosa*, *Closterium setaceum*, *Staurodesmus convergens*, *Eudorina elegans*, entre otras (FIGURA No. 40).

Grupo II. conformado por una muestra aislada (nov/88) que corresponde a la estación 2, recolectada a 20 cm de profundidad, se caracteriza por presentar los valores más bajos en la abundancia de *Peridinium cinctum* y una proliferación notable de *Anabaena* sp. Es posible que el incremento de *Anabaena* sp. se pueda explicar por las deficiencias de nitrógeno, debido a la capacidad que tiene esta especie de obtener CO_2 a concentraciones bajas en un pH cercano a la neutralidad (SHAPIRO, 1972).

Grupo III. agrupa las muestras correspondientes a los meses de intensas precipitaciones; a nivel físico y químico estos meses presentan variaciones como dilución de nutrientes, aumento en conductividad y nitratos y disminución en fósforo. En la composición del fitoplancton se observa un desplazamiento de los dinoflagelados por *Dinobryon divergens* que es la especie dominante; también se presenta el punto más bajo en riqueza de espe-



Staurodesmas convergens (Ehr.) Teiling.

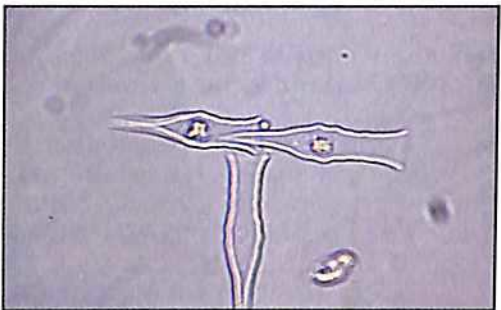
ALGAS PRESENTES EN EL
EMBALSE DE CHUZA Y EN
LA LAGUNA DE CHINGAZA



Peridinium cinctum (Müller) Ehrenberg



Peridinium limbatum (Stokes) Lemmerman



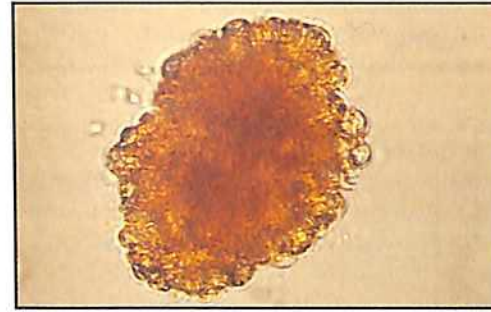
Dinobryon divergens Imhof



Franceia ovalis (France) Lemmermann



Eudorina elegans Ehrenberg



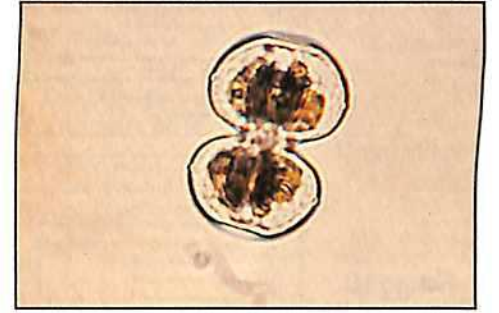
Botryococcus braunii Kützing



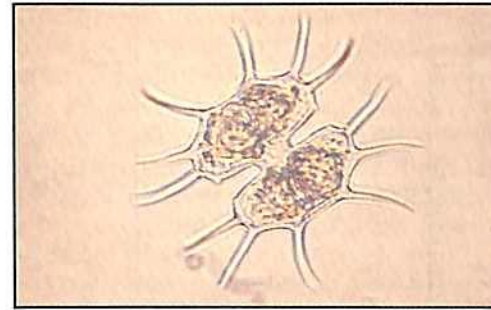
Elakatothrix sp.



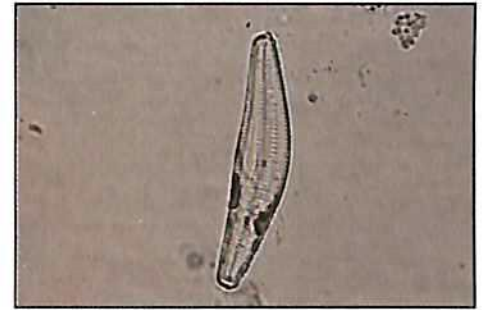
Tabellania flocculosa Kützing



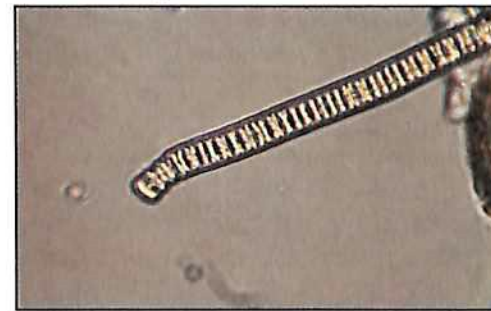
Staurodesmus lobatus (Burgessen) Bourrelly



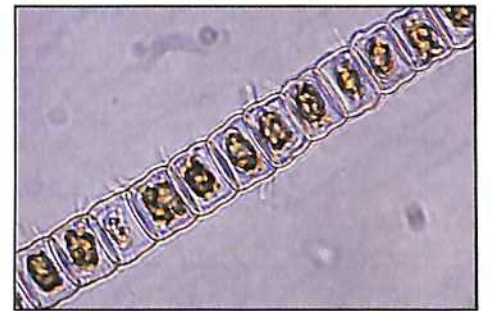
Xanthidium sp.



Cymbella lanceolata Ehrenberg



Oscillatoria sp.



Hyalotheca mucosa Mertens

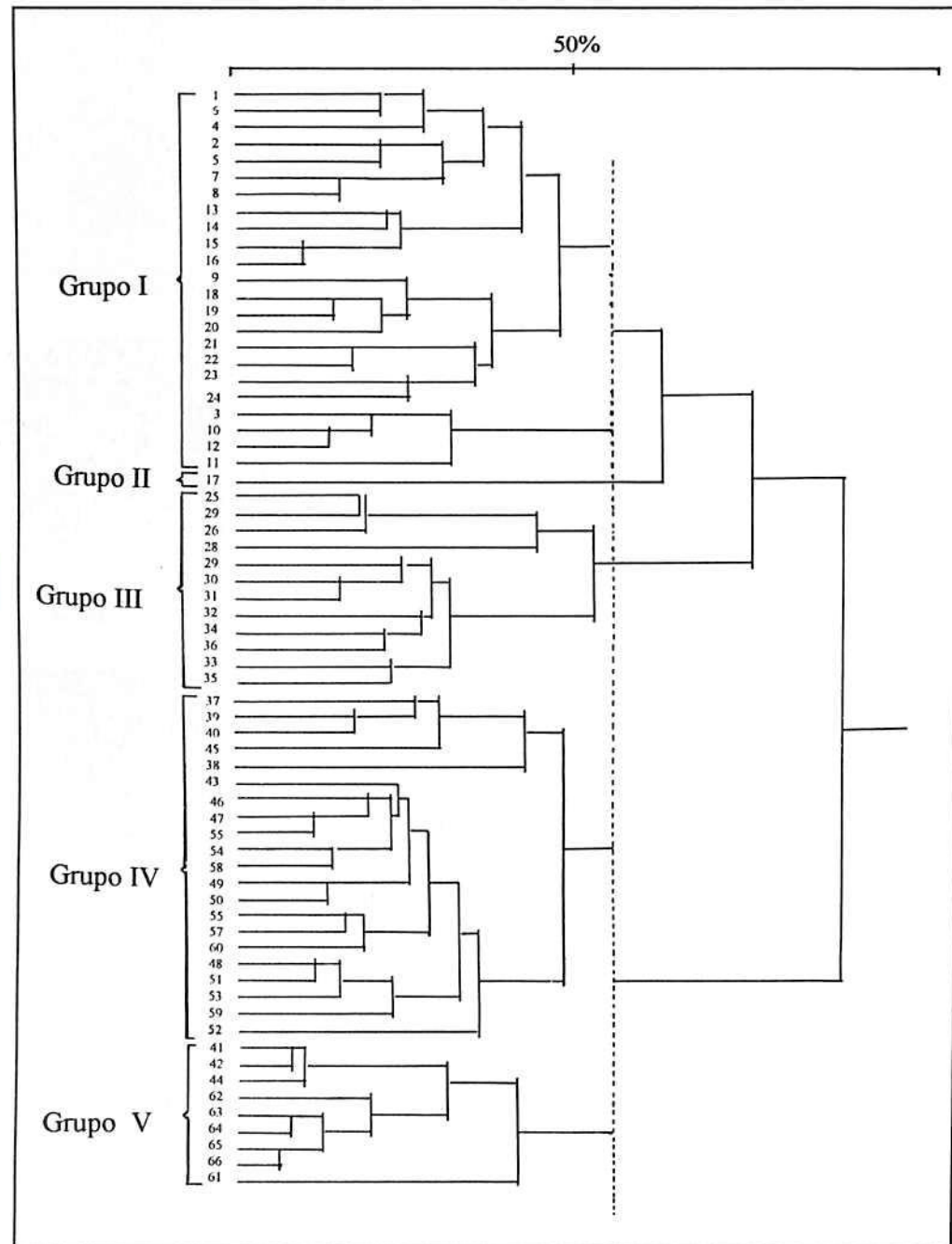


FIGURA No. 43. Dendrograma de la distribución promedio anual del fitoplancton, durante el período de estudio en el embalse de Chuza.

cies (solo 20 taxa) y la diversidad disminuye (FIGURA No. 44b). Aparecen también como elementos importantes desmicias de los géneros *Staurastrum*, *Closterium*, *Xanthidium*, *Staurodesmus* y algunas crisofíceas como *Franceia ovalis*.

Grupo IV. se caracteriza por el establecimiento de otras especies como *Staurastrum dejectus*, *Hyalotheca mucosa*, *Cymbella lanceolata*, *Trachelomonas* sp. y *Pinnularia* sp. y el resurgimiento de especies que habían sido desplazadas en el grupo anterior, entre las que se encuentran *Tabellaria flocculosa*, *Mougeotia* sp. y *Staurodesmus lobatus*. El organismo dominante es *Dactilococcopsis* sp. (cianofíceas), mientras que las crisofíceas disminuyen considerablemente. Esta agrupación también se caracteriza por el aumento en la riqueza de especies (30 taxa), así como por la disminución de los valores de la diversidad (FIGURA No. 44b). Otras especies significativas pero presentes en baja cantidad son *Cymbella cystula*, *Staurodesmus convergens*, *Closterium ehrenbergii* y *Franceia ovalis*.

Grupo IV. muestras que corresponden nuevamente al período de disminución de las lluvias y al dominio de las algas verde-azules. Se incluye en el grupo una muestra (septiembre/89) caracterizada por el registro de unas pocas especies, las cuales presentan una abundancia baja.

b. Diversidad

Los resultados obtenidos en la determinación de la diversidad, en cada estación y subestación a lo largo del muestreo, se observan en la FIGURA No. 44a. La estación 3, ubicada en la presa Golillas, se caracteriza por baja riqueza y abundancia relativa de especies y por lo tanto presenta los valores más bajos de diversidad (1.45). Por el contrario, en las estaciones 1 y 2 localizadas en la desembocadura del río Chuza y parte media del embalse, y debido principalmente a la llegada de sus tributarios, se incrementan los valores de diversidad. Dada la variación estacional que se ha mencionado a lo largo del año, se producen fluctuaciones en la diversidad que se puede evidenciar de un muestreo a otro (FIGURA No. 44b); en todo el sistema las mayores diversidades se presentaron en los meses de mayo/89 (1.9) y septiembre/89 (1.63). La diversidad promedio del embalse fue de 1.5. En las subestaciones situadas a 20 cm y 5 m. se registran valores de diversidad entre 1.55 y 1.50, destacándose como los más altos encontrados en la columna de agua (FIGURA No. 44c).

C. DISCUSION

1-. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

Es necesario considerar que el embalse cuenta con siete años de operación, y se dispone de un sólo trabajo realizado durante las primeras etapas

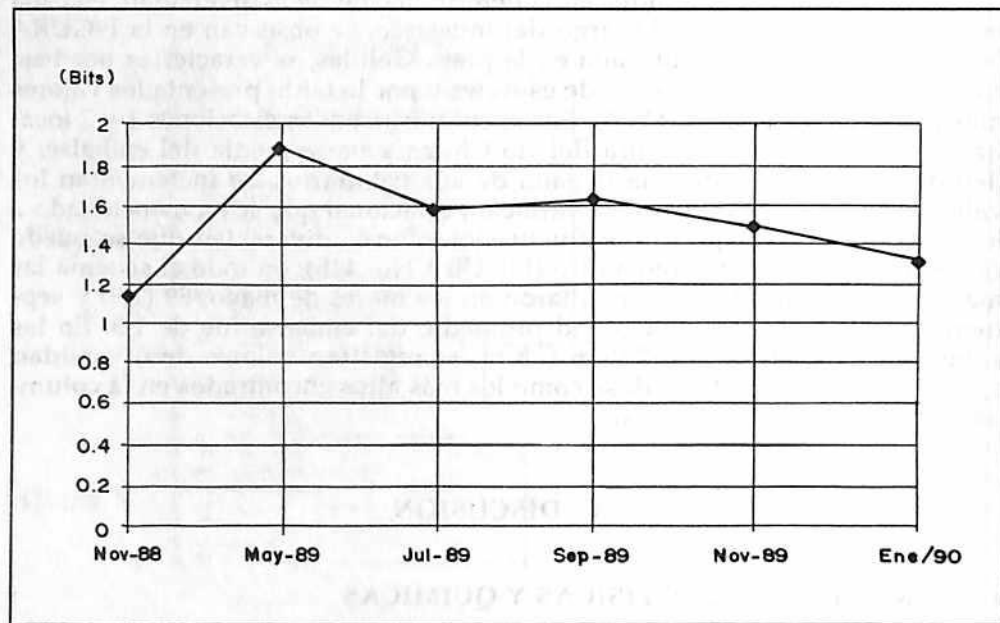
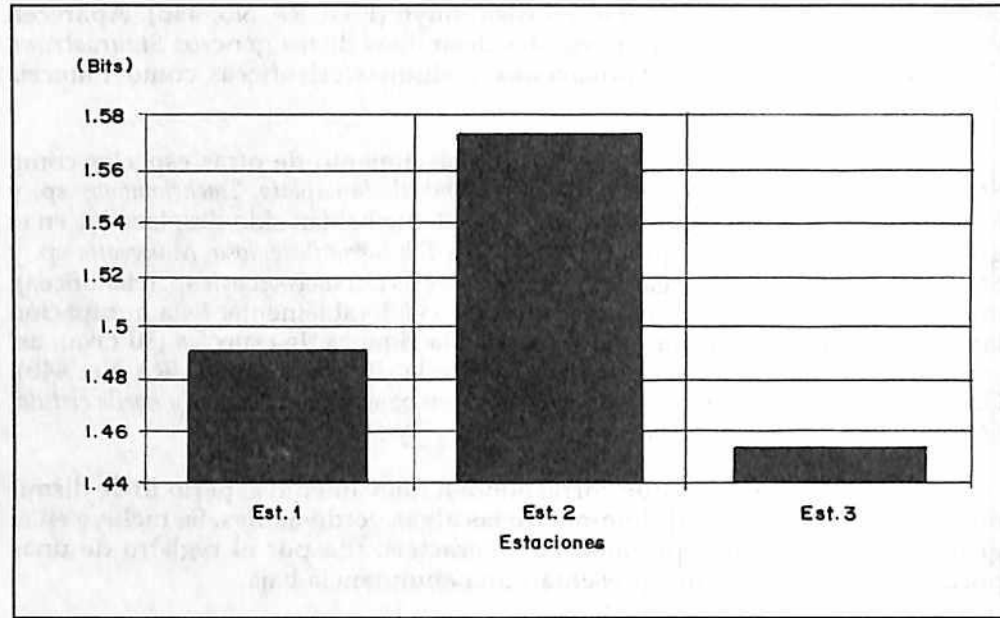


FIGURA No. 44 a,b. Variación de la diversidad promedio según el índice de Shannon-Weaner para los meses de muestreo y para las subestaciones verticales en el embalse de Chuza.

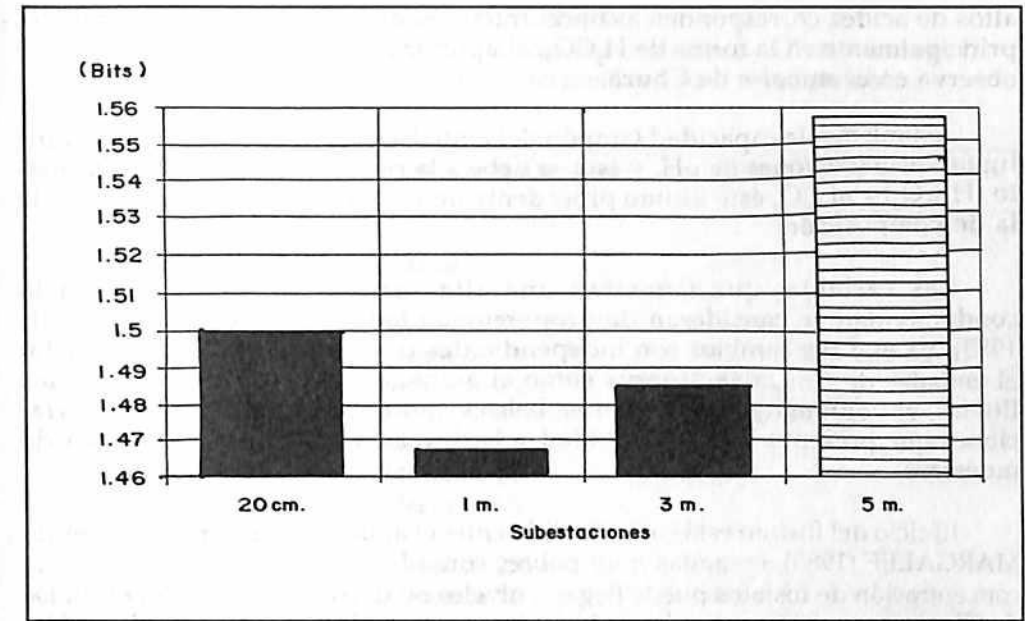


FIGURA No. 44c. Variación de la diversidad promedio en las estaciones de muestreo, embalse de Chuza.

de llenado del mismo (GAVIRIA, 1993), por lo cual esta discusión está encaminada a resaltar algunos de los aspectos que son de vital importancia para demostrar los cambios que ha tenido el embalse de Chuza desde su inicio; tomando como punto de partida el trabajo anteriormente mencionado, a la vez que se explicarán los factores que determinan la distribución espacio-temporal del fitoplancton.

Los factores más importantes que influyen en el comportamiento físico y químico del embalse de Chuza son el aumento y la disminución de la precipitación, el volumen y el nivel del embalse. Los valores de oxígeno disuelto, que se obtuvieron en el embalse de Chuza, generalmente se acercan a la saturación y sobresaturación. Así mismo, los valores de subsaturación están relacionados con el aporte de materia orgánica procedente de la cuenca y de las zonas aledañas al embalse sumado a los procesos de oxidorreducción que implican consumo de oxígeno. Los valores altos de oxígeno encontrados en la estación 1 se deben a la entrada del río Chuza, donde llegan aguas más frías y oxigenadas.

De acuerdo con LOFFLER (1964) y RICHERSON, ET AL., (1977), las propiedades químicas de los lagos tropicales de alta altitud reflejan la geología de la cuenca e influyen en las interrelaciones entre el pH, el CO₂ y consecuentemente en la acidez total (TABLA No. 10 Y FIGURA No. 34). Valores

altos de acidez corresponden a concentraciones altas de carbono inorgánico, principalmente en la forma de H_2CO_3 , al aportar iones H^+ al medio, como se observa en el embalse de Chuza.

Así mismo, la capacidad tampón del embalse es la responsable de amortiguar las variaciones de pH, y ésta se debe a la presencia del ión bicarbonato (H_2CO_3) y al CO_2 éste último procedente de la actividad fotosintética y de la descomposición.

Las variables que muestran una alta correlación positiva con la conductividad se consideran de proporcionalidad constante (MARGALEF, 1983), ya que sus cambios son independientes de la actividad biológica. En el embalse de Chuza se observa como el aumento y la disminución de las lluvias, el volumen y el nivel del embalse están relacionadas con las variaciones que presentó la conductividad y la dureza a lo largo de la época de muestreo.

El ciclo del fósforo está comprendido entre el agua y los sedimentos. Según MARGALEF (1980), en aguas muy pobres como las del embalse de Chuza, la concentración de fosfatos puede llegar a niveles no detectables. Para el embalse de Chuza, se encontraron valores de fósforo tanto en la superficie (TABLA No. 12 y FIGURA No. 37), como a 60 m de profundidad (TABLA No. 13), a lo largo de los diferentes muestreos; las altas concentraciones de fósforo que se presentaron en algunas épocas, posiblemente estén relacionadas con el efecto que producen las quemadas ocasionadas en zonas aledañas al embalse, llegando por escorrentía materiales que de alguna manera están influyendo en la dinámica de este nutriente incrementando sus valores.

Al igual que en la laguna de Chingaza, en el embalse de Chuza el elemento limitante del sistema al parecer es el nitrógeno; el fósforo juega un papel secundario en el crecimiento algal. Es de gran importancia el incremento de nitrógeno que se presenta con la profundidad (60 m), donde seguramente se están llevando a cabo procesos de nitrificación (VINER, 1982).

El embalse se caracteriza por la buena calidad de sus aguas y sus variables en general se ajustan a las normas exigidas para consumo humano, como se observa en la TABLA No. 14.

2. FITOPLANCTON

El fitoplancton de los lagos tropicales de alta montaña se caracteriza por la disminución de especies debido a la altitud y por la presencia de formas cosmopolitas, que se adaptan perfectamente a las condiciones que les impone el medio (LOFFLER, 1964; MATOS & PARRA, 1986). Estudios realizados en el Perú (HEGEWALD, ET AL., 1976), lago Titicaca (RICHERSON, ET AL., 1977; CARNEY, ET AL., 1982), señalan que las algas verdes son pre-

TABLA No. 14
Rango de variables físicas y químicas del embalse de Chuza en mg/l, comparados con las normas permisibles para agua potable.

VARIABLES	NORMA PERMISIBLE	EMBALSE DE CHUZA
Oxígeno disuelto (mg/l O ₂)	Más de 5	6.1-9.8
pH	5-8	5.5-7.8
Nitratos (mg/l N)	Menos de 10	0-0.04
Nitritos (mg/l N)	Menos de 10	0-0.02
Amonio (mg/l N)	Menos de 0.2	0
Fosfatos (mg/l PO ₄)	Menos de 0.05	0.67-0.97
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	Menos de 8	18-26
Acidez total (mg/l CaCO ₃)	Menos de 100	2-4
Alcalinidad total (mg/l CaCO ₃)	Menos de 50	14-20
Conductividad (uS/cm)	Menos de 250	35-68
Cloruros (mg/l Cl ⁻)	Menos de 250	0-1.5
Hierro (mg/l Fe ⁺⁺)	Menos de 0.3	0.2-0.18
Magnesio (mg/l Mg ⁺)	Menos de 0.5	2.0-10

Fuente: Donato y Duque (1986)

dominantes y existe un número limitado de algas pardas. La presencia de estos grupos se ha podido confirmar para lagos centroamericanos (LOFFLER, 1972) y suramericanos como el Ecuador (STEINITZ-KANNAN, 1983, 1984, 1988) y en Venezuela (WEIBEZAHN, 1976), donde predominan algas pardas amarillentas, dinoflagelados y gran abundancia de desmicias.

El embalse de Chuza, al igual que estos lagos, se caracteriza por la presencia de varias especies de algas con pocos representantes, sobresaliendo grupos como algas verde-azules, dinoflagelados, algas verdes y algas pardas amarillentas (FIGURA No. 45).

La composición taxonómica que presenta el embalse de Chuza, es semejante a la de otros lagos de condiciones similares, caracterizándose por la presencia de especies cosmopolitas entre las que sobresalen las desmicias (dentro de las Chlorophyceae), las Dinobryaceae (Crisophyceae) y Dinophyceae, que reflejan junto con los parámetros físicos y químicos, un

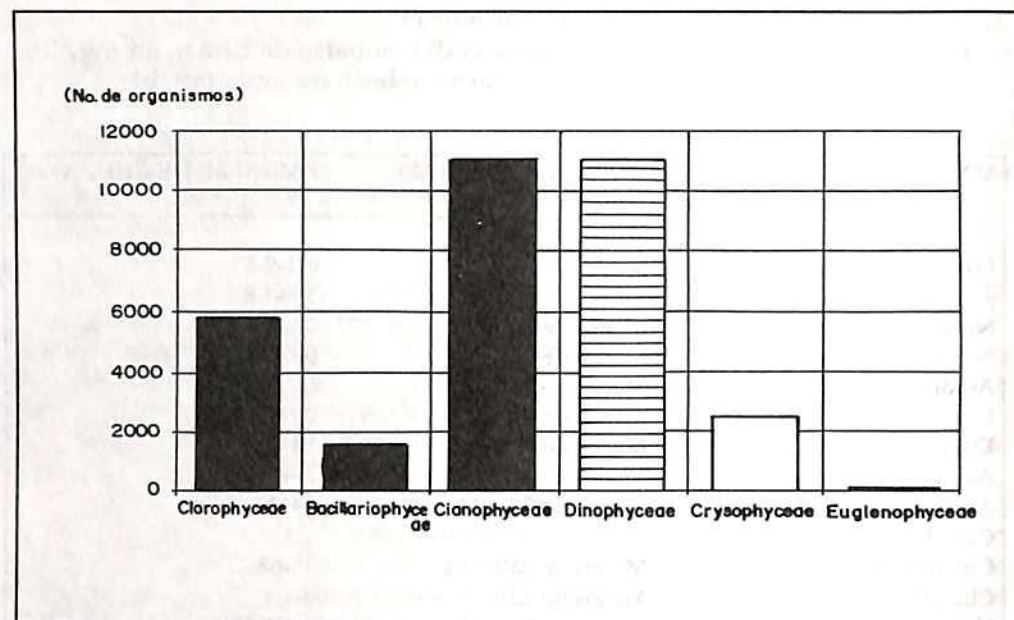


FIGURA No. 45. Histograma de los principales grupos de algas presentes en el embalse de Chuza.

estado trófico muy bajo, típico de lagos de alta montaña tropical. (LOFFLER, 1974; WETZEL, 1981, MARGALEF, 1983).

Cabe resaltar que para el embalse de Chuza, el período de mayor insolación se presenta en los meses de bajas precipitaciones (diciembre a mayo), ya que los días son más soleados y por el contrario en épocas de intensas lluvias, los días son nublados reduciendo el paso de la luz y limitando la capacidad de asimilación fotosintética de muchas especies fitoplanctónicas. Por esto, se han desarrollado dos estrategias para captar la luz. De acuerdo con RICHARDSON en BAHAMONDE & CABRERA (1983), existen evidencias que en ambientes acuáticos hay especies que requieren una alta densidad fotónica, denominadas "algas sol" y otras que requieren bajas densidades conocidas como "algas sombras". Mediante ensayos de laboratorio se ha podido determinar la existencia de especies "sol y sombra". Dinoflagelados y algas verde-azules soportan bajas intensidades de luz y pertenecen a las "especies sombras", en tanto que las algas verdes necesitan más luz y se incluyen en las "especies sol".

En la FIGURA No. 45, se observa la presencia constante y dominante de "algas sombra". Esto es comprensible debido a que en estos lagos, por su posición altitudinal, las intensidades lumínicas son muy altas y se ven obligadas a buscar estratos inferiores con poca luz. Igualmente en la FIGURA No. 41 se observa la distribución vertical de los Dinoflagelados que apare-

cieron a lo largo de todo el período de estudio convirtiéndose en el segundo grupo en importancia (*Peridinium cinctum* y *P. limbatum*). Se consideran especies cosmopolitas, típicas de aguas claras e indicadores de aguas ácidas a neutras (pH 6.5-7.0); estas algas se caracterizan porque tienen sus máximos centros de distribución y abundancia en climas fríos (HARGRAVES & VIQUEZ, 1981).

Al hablar del papel ecológico de los principales grupos de algas en el embalse, se puede señalar que *Dinobryon divergens* (FIGURA No. 41) está relacionada con las bajas concentraciones de fósforo; igualmente, el predominio de algas verde-azules como *Dactyloccopsis* sp. (FIGURA No. 42), está asociado con la falta de nitrógeno que se presentó en el embalse de Chuza; las clorofíceas, especialmente las desmídias, a pesar de no ser dominantes, tienen una gran importancia ecológica ya que su presencia está correlacionada con aguas de baja concentración de nutrientes y baja concentración de calcio, por lo cual son consideradas calcífobas.

3. VARIABILIDAD ESTACIONAL DE FITOPLANCTON

En lagos tropicales las fluctuaciones estacionales no son tan marcadas como ocurre en la zona templada. Sin embargo, se presenta un ciclo anual en la distribución de las especies fitoplanctónicas, que puede estar repitiéndose de año en año o puede estar modificándose a medida que el embalse se va estabilizando.

Igualmente, en este tipo de sistemas las fluctuaciones estacionales son muy bajas en comparación con los lagos templados; no obstante, se presentan variaciones anuales de carácter sucesional (MARGALEF, 1983) en la distribución de las especies fitoplanctónicas que se ven reflejadas en la diversidad.

En el embalse de Chuza se registraron cambios inducidos por el aumento y la disminución de las lluvias y especialmente por las fluctuaciones de volumen que influyen notablemente en las variaciones que se dieron a nivel de la comunidad fitoplanctónica.

De acuerdo con la FIGURA No. 43, este ciclo se caracteriza por un predominio inicial de dinoflagelados (tienden a la estrategia K) especialmente *Peridinium cinctum* y *Peridinium limbatum* para el mes de noviembre (1988), época caracterizada por bajo contenido de nutrientes, por lo cual estas especies son las que mejor se adaptan a estas condiciones. En el mes de julio (1989) se incrementa notablemente la precipitación y la entrada de nutrientes; bajo estas condiciones, *Dinobryon divergens* (Chrysophyceae) (estrategia intermedia) logra adaptarse a los cambios que se presentan apareciendo como la especie dominante para este período. En noviembre/89, con un nivel máximo y disminución de las lluvias, el

grupo anterior es desplazado por algas verde-azules (*Dactylococcopsis* sp.). Por lo tanto, las etapas que caracterizan el ciclo sucesional del embalse de Chuza se pueden apreciar en la FIGURA No. 46; en ella se considera la precipitación y cambios en el comportamiento físico-químicos de algunas variables, que influyen en la composición del fitoplancton a lo largo del período de estudio. El cuadro de la FIGURA No. 46, situado al pie de la curva de precipitación, muestra de qué manera los tres grupos de algas dominantes, durante el muestreo, coinciden con las épocas de máxima o baja precipitación. Se relacionan también algunas de las características físicas y químicas predominantes en uno u otro de los tres períodos con las especies codominantes.

En síntesis, podemos establecer que la secuencia sucesional de las especies dominantes del embalse Chuza, se atribuye a las fluctuaciones en el régimen de lluvias, volumen y el nivel del embalse y principalmente a la disponibilidad de fósforo. Las especies de *Peridinium*, son más abundantes durante los períodos de estratificación del embalse y alcanzan valores significativos, especialmente cuando la concentración de fósforo es baja. Además, estas especies responden a la fluctuación estacional en la estabilidad estructural, generada por la tasa baja de renovación del embalse, la cual permite una segregación de capas manteniendo una estabilidad que depende de los factores externos que la modifican.

Con los cambios fundamentales en la hidrología y los aspectos físicos y químicos que ocurren en la época de precipitación máxima, coincide la dominancia de *Dinobryon divergens*, tradicionalmente asociado con lagos deficientes en fósforo, temperaturas bajas y nitrógeno bajo (ROUND, 1984; REYNOLDS, 1984). También es conocido que responden, al igual que *Peridinium*, a estabilidad de la masa de agua. Además, la asociación entre las especies se explica por su capacidad de obtener fosfatos a concentraciones de nitrógeno extremadamente bajas, independientemente la concentración en que estén presentes (REYNOLDS, 1984).

Lo expuesto anteriormente explica el hecho que aunque el embalse de Chuza, al igual que otros sistemas acuáticos de alta montaña, son deficientes en nitrógeno, este es un elemento significativo en los cambios de la composición de fitoplancton en la época de baja precipitación cuando se presentan incrementos de fósforo (septiembre/89). Bajo estas circunstancias, las cianofíceas *Dactylococcopsis* spp., incrementaron su número y se convirtieron en las formas dominantes para los meses de septiembre a enero de 1990.

4. DIVERSIDAD

Los valores de diversidad del embalse de Chuza (FIGURA No. 44b) tiene un espectro de variación de 1.13 a 1.88. Los valores bajos en la diversidad, se pueden explicar por el dominio de una o pocas especies con

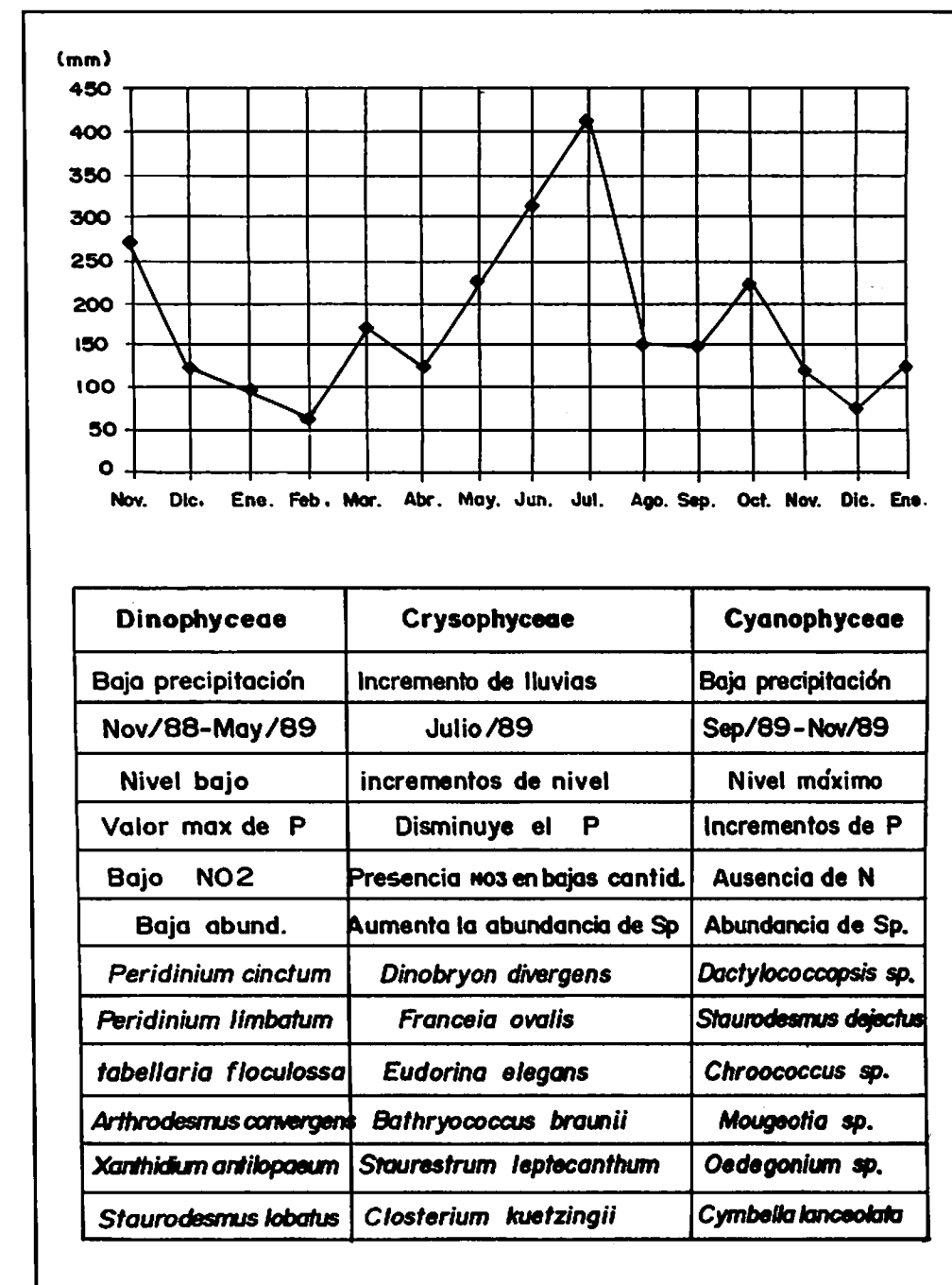


FIGURA No. 46. Variación sucesional estacional del fitoplancton en el embalse de Chuza.

proporciones numéricas muy altas imponiendo sus valores sobre las demás especies que tienen muy pocos representantes.

En el embalse de Chuza, siempre se determinaron valores bajos en los meses de disminución de la precipitación (FIGURA No. 44b); en los estratos inferiores correspondientes a 5m, se obtuvieron los valores más altos en la diversidad, debido a la segregación que se da en las comunidades fitoplanctónicas por el efecto de la radiación.

5. MODELO PRELIMINAR DEL FITOPLANCTON

Un sistema ecológico es un conjunto de elementos o compartimentos que interactúan permanentemente entre sí. Las interrelaciones entre los diferentes compartimentos del sistema pueden traducirse a un lenguaje gráfico, expresado en un modelo de flujos de energía que incluye los componentes de mayor importancia en el ecosistema (LUGO & MORRIS, 1982; MARGALEF, 1983).

El funcionamiento del modelo del embalse de Chuza, teniendo en cuenta la comunidad fitoplanctónica, está regulado por variables externas (variación en las lluvias, intensidad lumínica, nivel de las aguas del embalse) e internas (disponibilidad de nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno). La FIGURA No. 47 visualiza dicho modelo y su interrelación con los factores externos, de acuerdo con la simbología recomendada por ODUM & ODUM (1981); el tamaño de los compartimentos refleja la importancia de los mismos en el sistema.

El fitoplancton es controlado por el ambiente físico, el cual depende de factores externos de la región del embalse, en forma de energía exosomática tal como se observa en la FIGURA No. 47, donde la fuente principal de energía es el sol, el cual está influyendo en el desarrollo y funcionamiento de los organismos autotróficos. Como fuentes de materia externa intervienen los aportes del caudal de los ríos Chuza, Guatiquía, de las lagunas y materiales provenientes de la cuenca que desembocan en el sistema aportando nutrientes al igual que organismos fitoplanctónicos. Otra fuente de igual significado es la precipitación que relacionada con el nivel del embalse, puesto que la modifica, ya sea incrementando su volumen o disminuyéndolo; el viento está relacionado hasta cierto punto con la distribución espacio temporal del fitoplancton en la columna de agua, debido a que en el epilimnión se están presentando mezclas de agua y las algas se están desplazando en un margen entre la superficie y 3 - 5 m de profundidad aproximadamente.

Internamente, la comunidad fitoplanctónica está influida preferiblemente por la disponibilidad de nutrientes como el fósforo, el cual representamos como fuente de reserva proveniente de materia orgánica y una fuente alterna de las quemas que llegan por escorrentía a través de la cuenca y de la

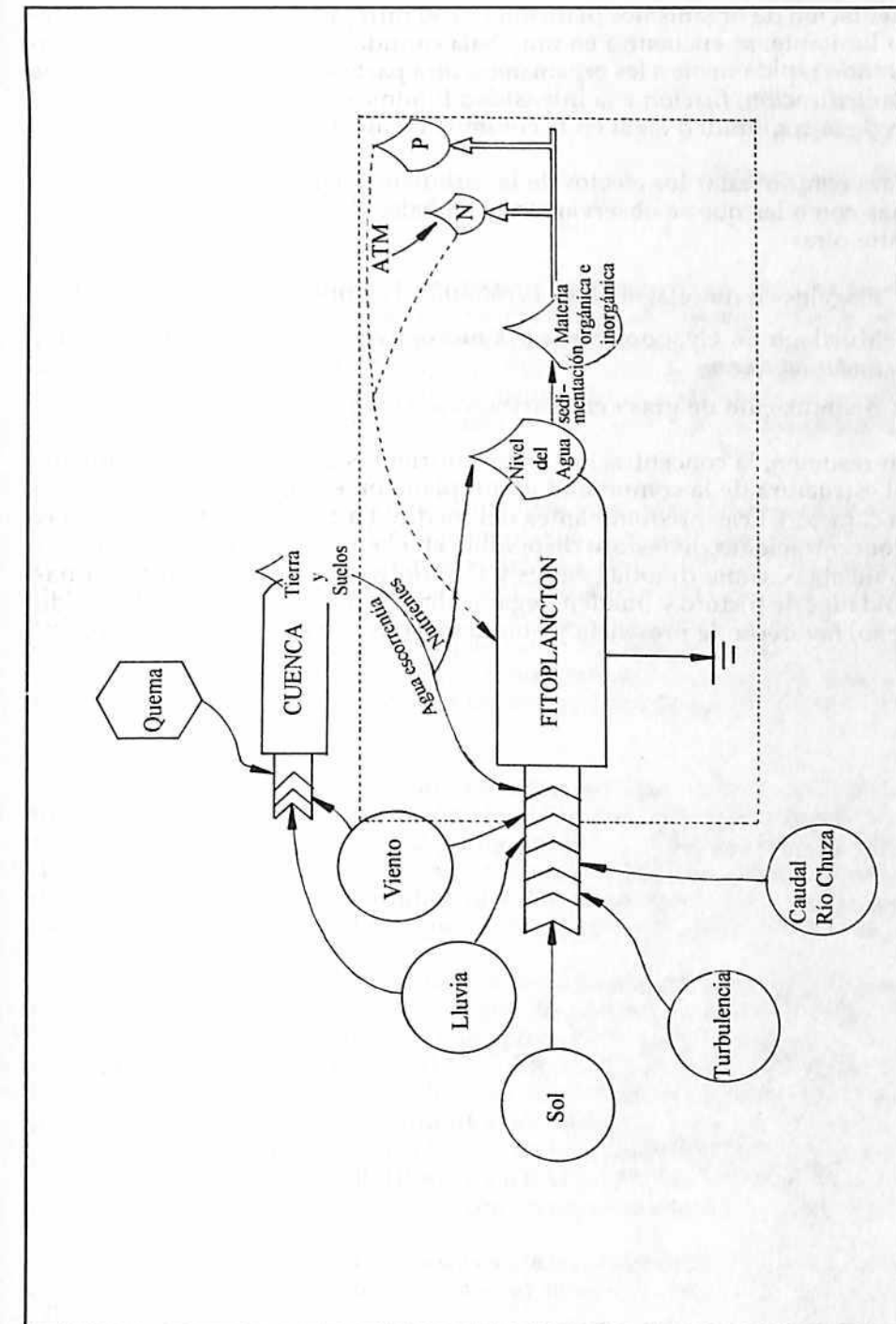


FIGURA No. 47. Modelo preliminar del funcionamiento del fitoplancton del embalse de Chuza.

sedimentación de organismos planctónicos; el nitrógeno que actúa como elemento limitante, se encuentra en muy baja cantidad y a su vez se está reincorporando rápidamente a los organismos, otra parte se transfiere en procesos de desnitrificación, fijación y la intensidad lumínica que determina la distribución de la comunidad algal en la columna de agua.

Para contrarrestar los efectos de la turbulencia las algas desarrollan estrategias como las que se observan en el embalse de Chuza donde se incluyen entre otras:

- Flagelos en dinoflagelados : *Peridinium cinctum*, *Peridinium limbatum*
- Mucilago en Cyanophyceae y Chlorophyceae: *Dactylococcopsis* sp., *Eudorina elegans*
- Acumulación de grasa en *Botryococcus braunii*.

En resumen, la concentración de los nutrientes en el embalse, determina cual estructura de la comunidad de fitoplancton es la más adecuada, dadas las características predominantes del medio. La falta de nitrógeno y las bajas concentraciones de fósforo disponible en el embalse, favorece diversos grupos de algas, como dinoflagelados y Crysophyceae que se adaptan a bajas cantidades de fósforo y pueden llegar a almacenarlo. Los valores bajos de nitrógeno, favorecen la presencia y abundancia de algas Cyanophyceae.

CAPÍTULO IV SÍNTESIS FINAL

La laguna de Chingaza permanece la mayor parte del año levemente estratificada, con diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo de 1 °C a 4 °C, con una oxiclina localizada entre los 10 a 12 m., lo cual indica una circulación vertical incompleta. Sólo durante la época de precipitación máxima (junio-julio), se obtuvo una isoterma con valores de oxígeno disuelto similares desde la superficie hasta los 18 - 20 m. de profundidad (FIGURA No. 48).

Si se toma como referencia la profundidad máxima de la laguna (23 m), es posible que no se alcance una circulación completa con relación al oxígeno disuelto debido a los aportes considerables de sólidos suspendidos, de materia orgánica y por la temperatura más baja de su afluente principal, el Río Frío. En consecuencia, la mezcla parcial de la columna de agua es causada por los aportes de sólidos suspendidos, la temperatura del río y los procesos de óxido - reducción de los sedimentos húmicos localizados en el fondo de la cubeta, los cuales producen un descenso en la concentración de oxígeno disuelto.

Con relación al comportamiento térmico del embalse de Chuza, éste muestra una leve estratificación (FIGURA No. 49), con una diferencia de temperatura entre 2.6 °C y 5°C y una oxiclina localizada entre los 10 a 15 m de profundidad. Una explicación preliminar a este comportamiento se puede relacionar por la profundidad, el volumen de agua, y por la acumulación de vegetación en la cubeta la que no fue despejada antes del llenado.

Comparando estos resultados con los obtenidos en otros lagos de alta montaña tropical como es el caso de lagos de páramo de Ecuador (STEINENN - KANNAN ET AL, 1983), el Lago Huaypo en Perú (HEGEWALD ET AL, 1980), y en algunos lagos de Costa Rica (LOFFLER, 1954; LOFFLER, 1972), estos indican la presencia de una débil termoclina, con disminuciones de oxígeno en las aguas profundas. No obstante, la estratificación obtenida, estos se clasificaron como polimícticos, mientras que en la laguna de Mucubaji (WEIBEZAHN & CRESSA, 1979), y el lago Titicaca (RICHERSON ET AL, 1977, RICHERSON ET AL, 1986), se definieron como monomícticos (con una mezcla térmica y química anual).

La estacionalidad para los dos sistemas está definida por el ciclo anual de lluvias, los cambios de volumen, el nivel del agua y los aportes de los afluentes.

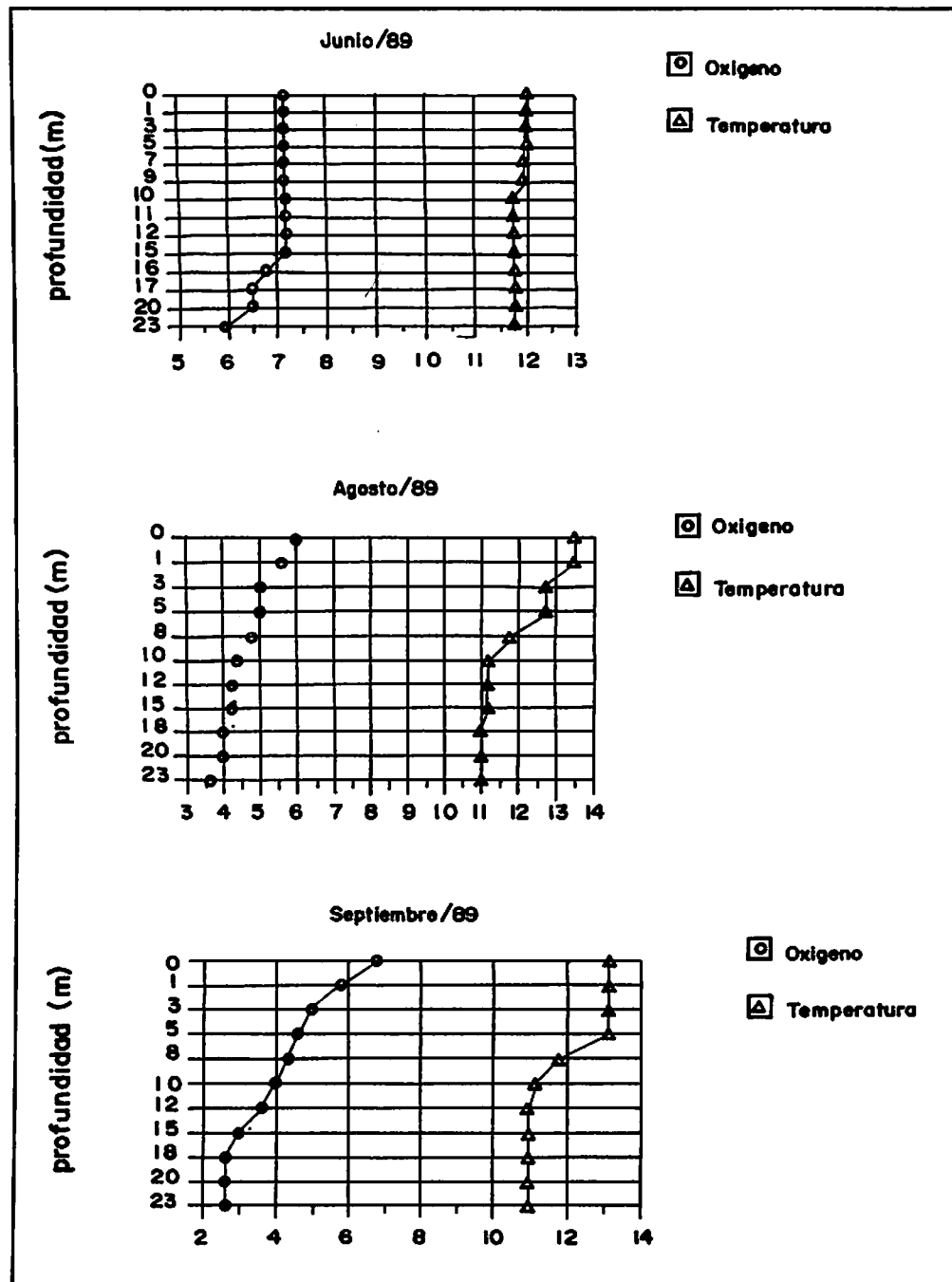


FIGURA No. 48. Perfiles de temperatura y oxígeno en la laguna de Chingaza.

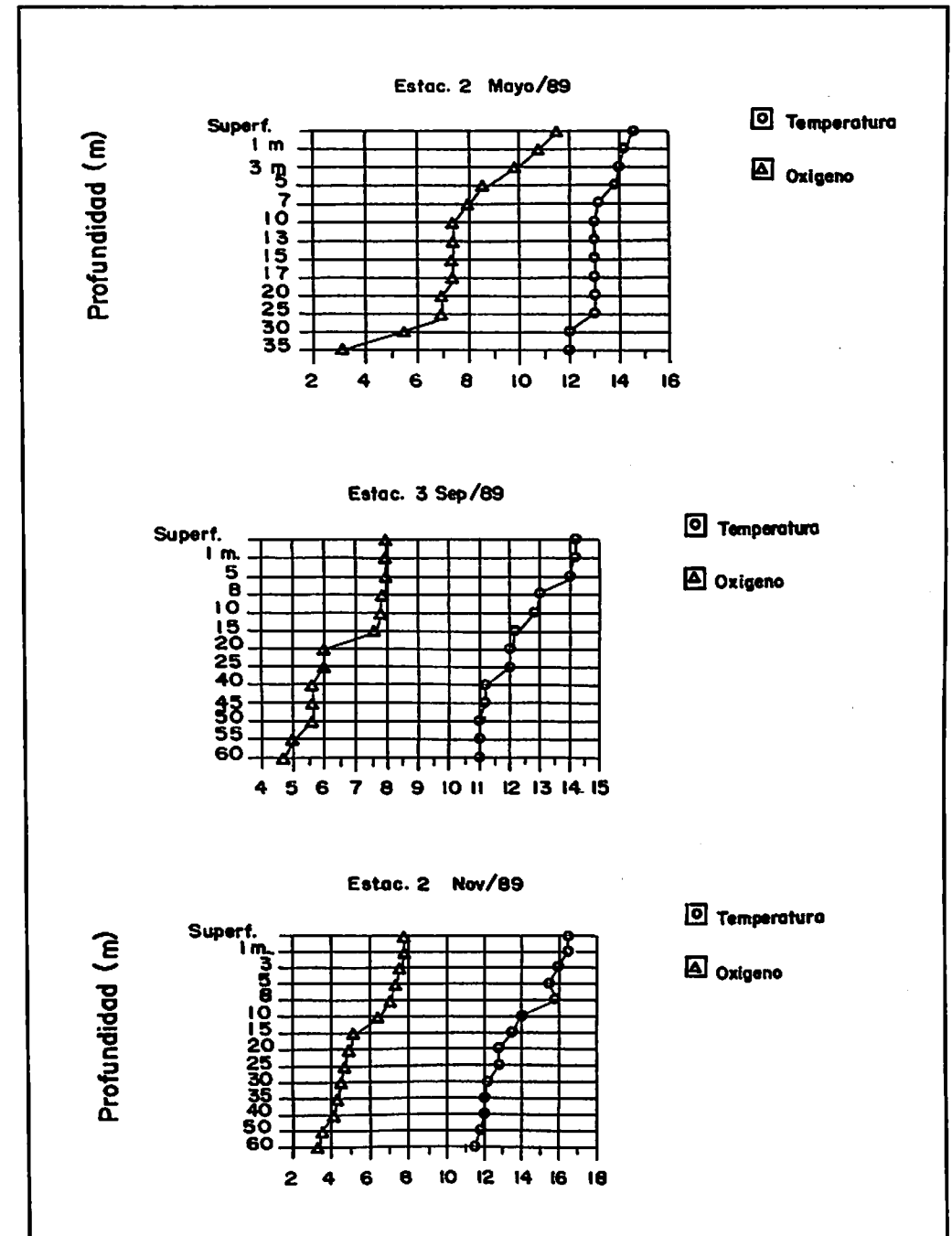


FIGURA No. 49. Perfiles de temperatura y oxígeno en el embalse de Chuza.

El comportamiento de las variables físicas y químicas, en la laguna de Chingaza, está relacionado directamente con la precipitación; ya que se observa en el mes de junio una "homogenización" de los parámetros (debida a los altos niveles de precipitación) y en agosto una disminución de los valores físicos y químicos (efecto de dilución).

Para el embalse de Chuza, los períodos de precipitación, el volumen y el nivel de las aguas, coinciden con las variaciones que presenta la conductividad y la dureza a lo largo de las épocas de muestreo.

La influencia del Río Frío en la laguna de Chingaza, se observa claramente en la estación de muestreo situada en la desembocadura donde las características de variación física y química se presenta de una manera más marcada que en las demás estaciones.

Tanto la laguna de Chingaza como el embalse de Chuza se definen como cuerpos de agua típicos de la montaña tropical, con bajas concentraciones iónicas y de nutrientes, dependiente de la baja mineralización de los suelos, y de la geología de la cuenca. Como ocurre, generalmente, en sistemas lénticos tropicales el nitrógeno constituye el factor limitante de la productividad. Las altas concentraciones de fósforo presentes, posiblemente, provengan del impacto producido por las actividades desarrolladas en la cuenca (quemadas, erosión), de la geología, así como, del reciclamiento de este elemento desde los sedimentos.

El marcado gradiente en el contenido de nitrógeno y fósforo entre la superficie y el fondo sugieren una estratificación química para el embalse de Chuza.

La laguna de Chingaza y el embalse de Chuza, como la mayoría de los lagos de montaña tropical, son oligotróficos, con aguas ácido-blandas, baja concentración de iones disueltos, relación nitrógeno-fósforo baja y el desarrollo de un epilimnion profundo y oxigenado.

Por el desarrollo de la zona litoral (cinturón de macrófitos), la riqueza de especies de algas en la laguna es mayor (aprox. 75 especies) que para el embalse (aprox. 54 especies). La flora algal de estos sistemas presenta especies similares a las de lagunas como Mucubají, San Marcos (Ecuador) y Titicaca (*Cocconeis placentula*, *Navicula radiosa*, *Peridinium* spp.; *Botryococcus braunii*, *Dinobryon divergens*, entre otras), las últimas 3 especies, también predominantes en los lagos de Costa Rica y Guatemala. Se presentan en general formas cosmopolitas y sobresalen en la laguna principalmente desmicias, diatomeas y cianofíceas, mientras que en el embalse predominan dinoflagelados, crisofíceas y cianofíceas.

Las variaciones en la precipitación y nivel de aguas en la laguna de Chingaza, definen un patrón monomodal en la abundancia del fitoplancton.

La estratificación y la ausencia de nitrógeno ocurrida en octubre en la laguna de Chingaza parece incidir en la proliferación de *Oscillatoria* sp. (Cyanophyceae).

En el embalse de Chuza la distribución vertical del fitoplancton depende más de la disponibilidad de la luz que de la concentración de nutrientes; las algas se agrupan en los estratos inferiores donde se observó la mayor riqueza de especies y los valores más altos en la diversidad.

El embalse de Chuza presenta gran proliferación de "algas sombra", tales como Dinoflagelados (*Peridinium cinctum*) y Cyanophyceae (*Dactylococcopsis* sp.), adaptadas a bajas densidades fotónicas.

Los aportes de organismos planctónicos (algas) y materia orgánica que llegan por medio de los ríos que desembocan en el embalse (río Chuza, río Guatiquía), las fluctuaciones que se dan en los parámetros físicos y químicos; así como, los cambios de nivel y el volumen, están incidiendo significativamente en la composición del fitoplancton.

El ciclo sucesional estacional que presenta el embalse de Chuza comprende:

Dinoflagelados-----> Crysophyceae -----> Cyanophyceae
Peridinium cinctum - *P. limbatum*----) *Dynobryon divergens*----) *Dactylococcopsis* sp.
 (período de bajas precipitaciones) (aumento de lluvias) (baja precipitación)

Las especies fitoplanctónicas presentes tanto en el embalse de Chuza como en la laguna de Chingaza son indicadoras de la buena calidad del agua; la abundancia de organismos de los géneros *Closterium*, *Staurastrum*, *Staurodesmus*, *Peridinium*, *Dinobryon* reflejan la oligotrofia de las aguas de estos sistemas.

Definir la composición de una comunidad típicamente perifítica es bastante difícil, debido a que sobre los sustratos se encuentran especies pertenecientes a otras comunidades, algunas de las cuales tienen en su ciclo de vida una etapa béntica.

Dentro de las especies típicamente perifíticas sobresalen las diatomeas pennales y las clorofíceas filamentosas, ellas desarrollan estrategias de crecimiento que les permiten permanecer adheridas aún en aguas turbulentas. Estas estrategias dividen a las especies en dos tipos; aquellas que secretan vainas mucilaginosas con las cuales se adhieren al sustrato y aquellas que desarrollan pedúnculos o pies.

La comunidad de algas del perifiton muestra un patrón de variación estacional en la dominancia de especies, definido en principio por los facto-

res climáticos que influyen determinantemente en ésta; es así como en agosto y octubre la predominancia de las diatomeas (*Cymbella lanceolata*, *Tabellaria flocculosa*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria virescens*, *Navicula* sp.) se ve desplazada por la dominancia de *Closterium* sp. (desmidia).

Por otra parte la influencia de las características químicas del medio no parece ser excesivamente determinante en la comunidad. Como se comprobó, el perifiton no está limitado por nutrientes como nitrógeno y/o fósforo sino que responde a las variaciones de alcalinidad y calcio.

De igual manera, las condiciones locales del hábitat en el que se desarrolla la comunidad condiciona la dependencia de ésta a los factores externos. En este sentido el sustrato natural, en especial los macrófitos, parece servir como fuente de nutrientes en el caso que el medio externo no los proporcione y viceversa. Todo parece indicar que en la laguna la zona litoral subsidia en parte a la comunidad.

La zona litoral de la laguna de Chingaza muestra una composición perifítica similar, sin embargo las abundancias de las especies varían entre las estaciones como resultado de las características de la región sobre la cual se desarrollan. Es así como puede definirse cuatro factores fundamentales que inciden en la comunidad: - la extensión de la zona colonizable, - los efectos de arrastre por el flujo continuo de agua, - los aportes del Río Frío, y - la zona litoral rocosa o con predominancia de macrófitos.

El patrón de diversidad de la comunidad de fitoplancton y de las algas del perifiton en la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza es bajo (0.15 - 2.48) y responde a las condiciones físicas, químicas e hidrológicas.

Otros aspectos de síntesis y comparación se completan en las FIGURAS Nos. 50 y 51; adicionalmente, en la FIGURA No. 52; se plantea un modelo de funcionamiento de las lagunas de páramo, con fundamento en los sistemas estudiados en este trabajo.

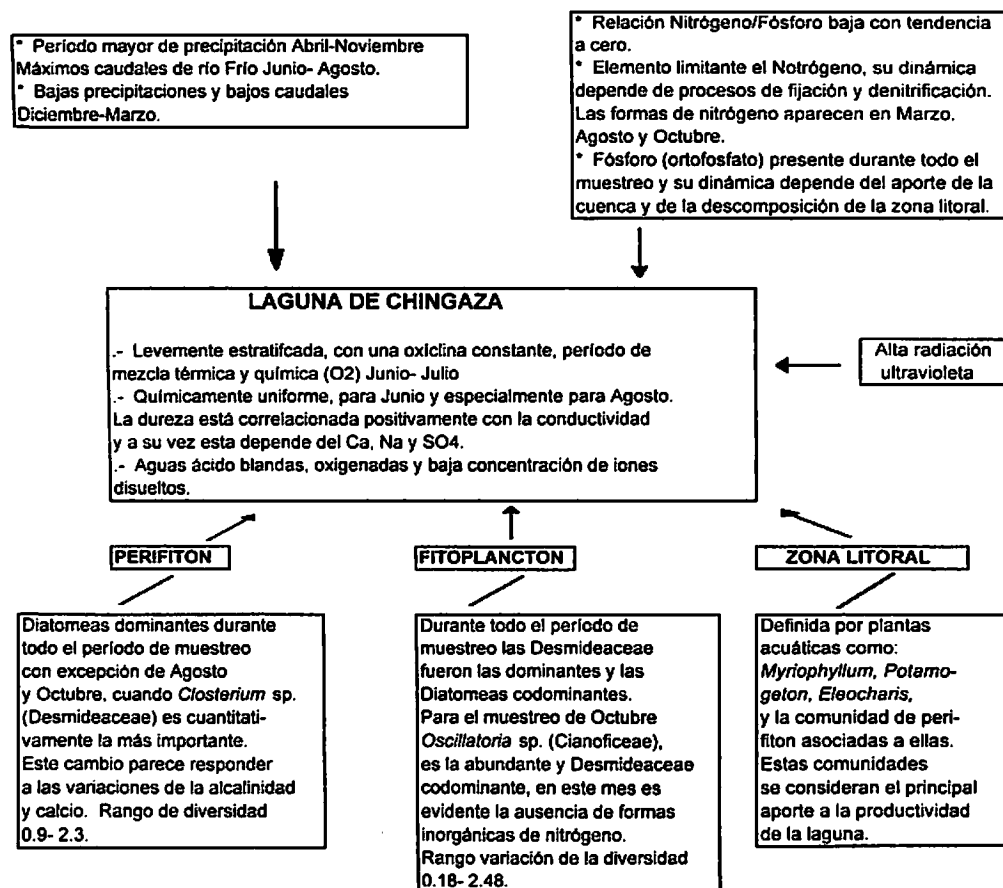


FIGURA No. 50. Síntesis de los principales aspectos físicos, químicos y biológicos de la laguna de Chingaza.

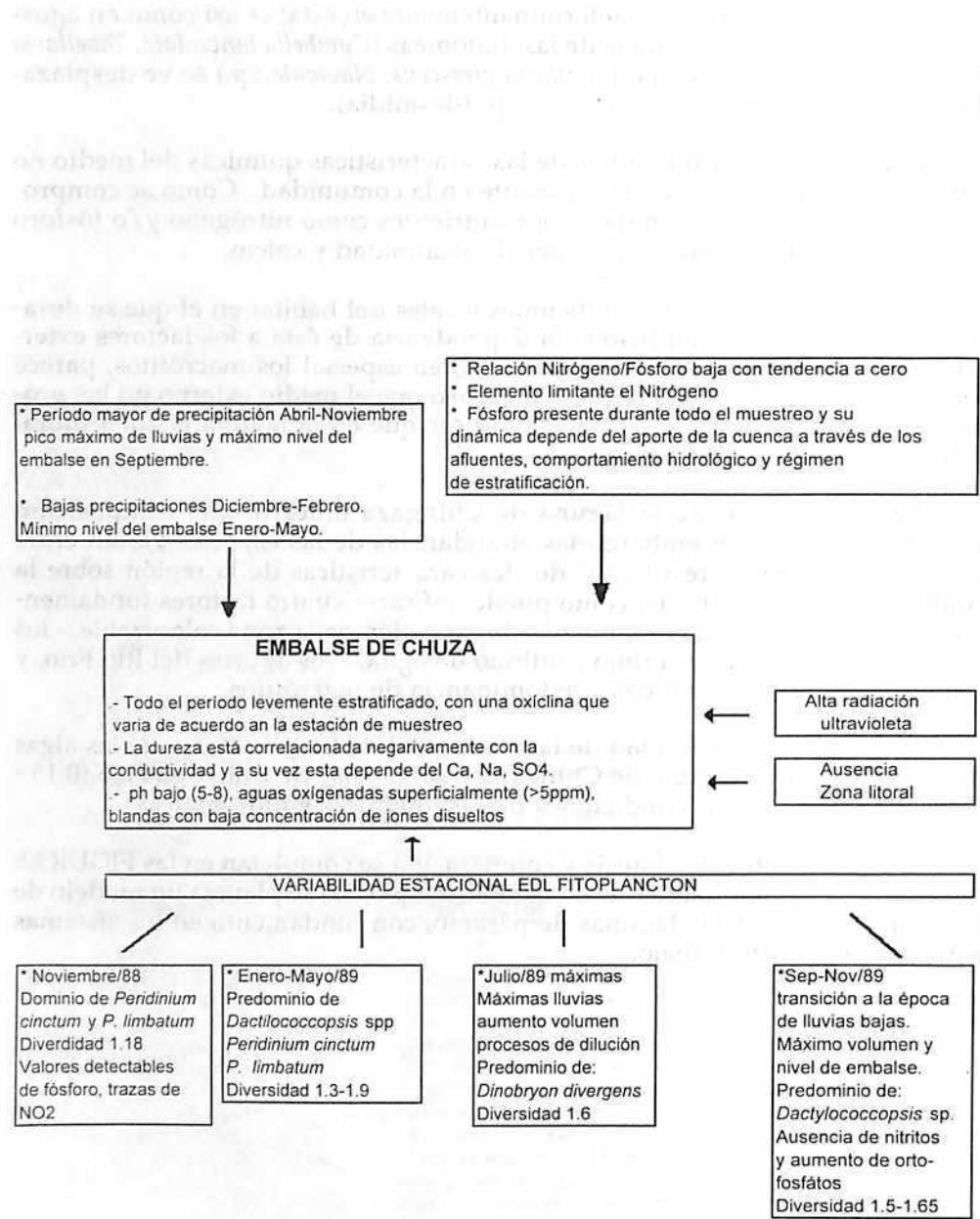


FIGURA No. 51. Síntesis de los principales aspectos físicos, químicos y biológicos del embalse de Chuza.

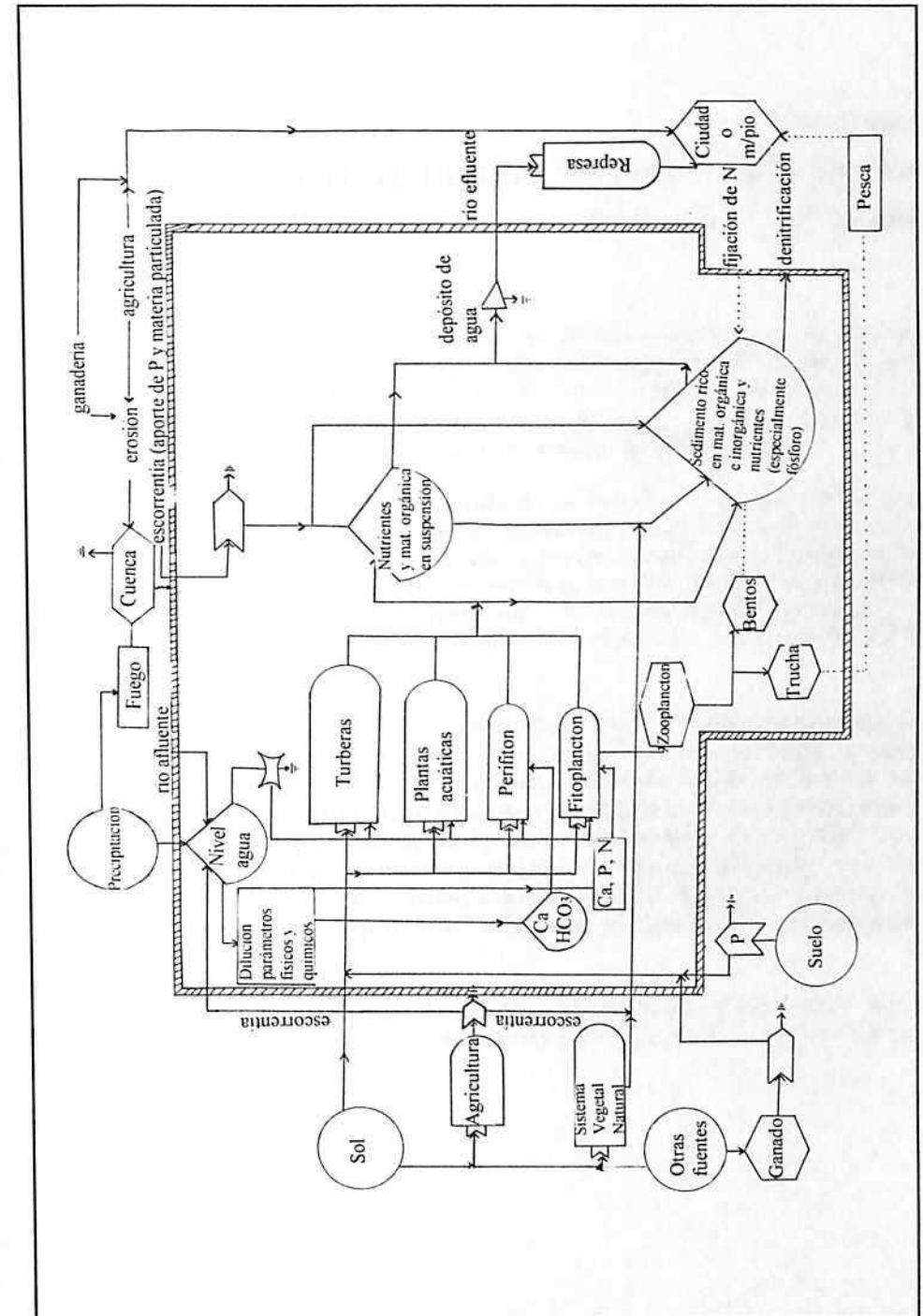


FIGURA No. 52. Modelo general de funcionamiento de lagunas de páramo.

CAPÍTULO V ESTADO ACTUAL DE LOS SISTEMAS ACUÁTICOS DE PÁRAMO EN COLOMBIA

Con base en las características limnológicas, sistemas de producción (uso de la tierra) y revisión bibliográfica (Fundación Natura, Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta, I.G.A.C., I.C.N., E.A.A.B., entre otros), se propone la división de las lagunas y ríos de páramo de Colombia en dos grandes grupos.

El primero de ellos corresponde a los sistemas acuáticos situados en el piso térmico del modelado glaciar heredado, localizados entre los 3.000 a 3.800 m.s.n.m. Por la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, la calidad del agua y los eventos de sucesión-evolución se encuentran en franco deterioro. La desecación, turberización y eutroficación de las lagunas y pantanos son las consecuencias directas del proceso de colonización de la alta montaña.

En el segundo grupo están incluidos aquellos sistemas localizados entre los 3.800 y 4.600 m.s.n.m. (piso periglaciario); estos constituyen reservorios de agua de consumo y están sometidos a actividades de ganadería extensiva, lo cual es causa directa de procesos de colmatación y eutroficación. Sus aguas son ultraoligotróficas, incapaces tróficamente de sostener una producción de peces a gran escala y mucho menos introducidos (ej. Trucha). Finalmente, su función es y debe seguir siendo la de servir de depósitos de agua, por lo cual es importante estimular el desarrollo de programas de conservación.

La FIGURA No. 53 registra -con algunos ejemplos- el uso actual de la tierra y los problemas generados en las lagunas y ríos de páramo de Colombia.

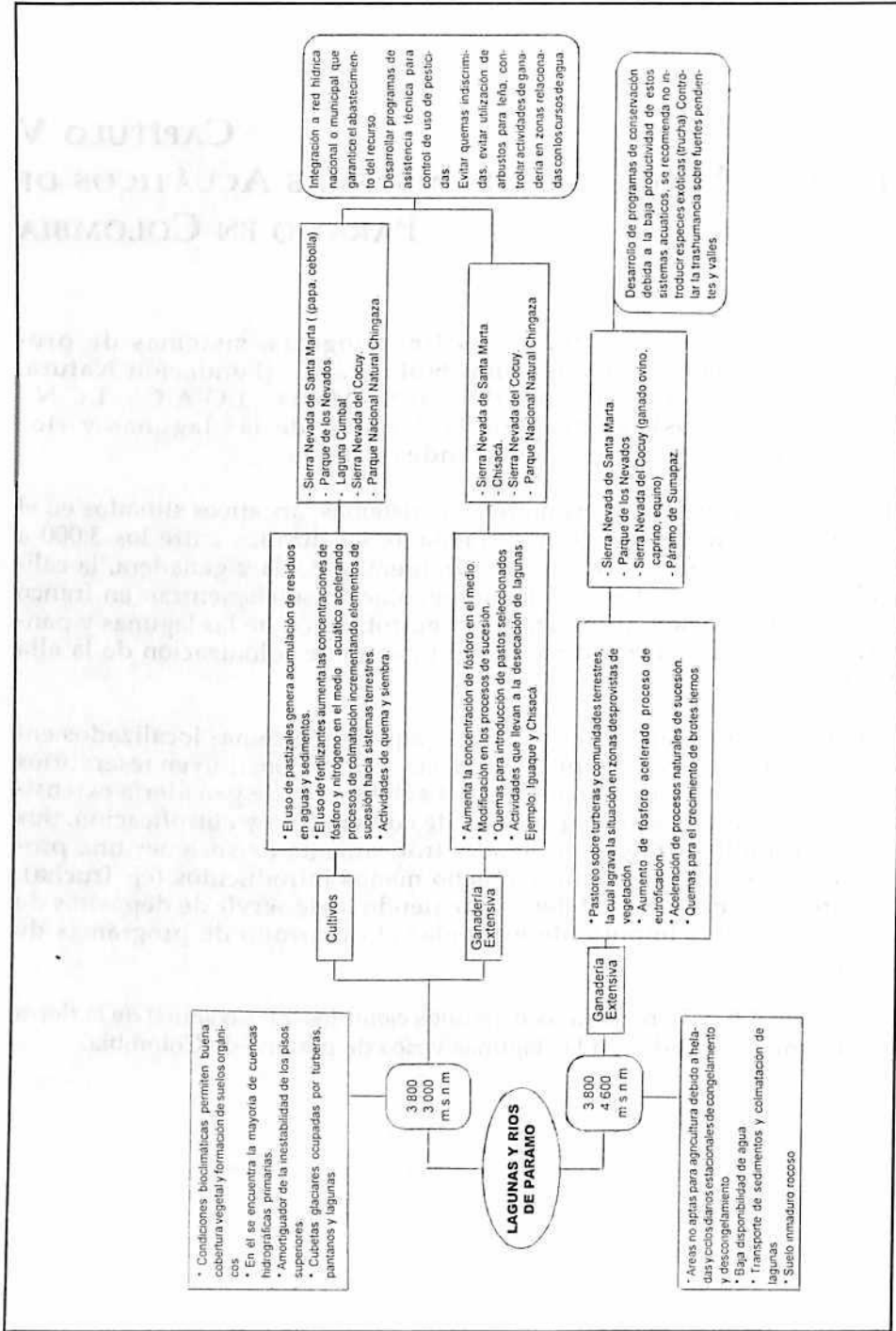


FIGURA No. 53. División de los sistemas acuáticos de páramo de Colombia, con base en sus características limnológicas y uso de la tierra.

BIBLIOGRAFIA

AGUIRRE, V. & O. RANGEL. 1977. Contribución al estudio ecológico de las comunidades acuáticas macroscópicas y continentales del lago de Tota y alrededores. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

ALLEN, T.F. & J.F. KOONCE. 1973. Multivariate approaches of algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton. Ecology 54(6):1234-1246.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1986. Standard methods for examination of water and wastewater. Broadway. New York, USA. 769 p.

ARIAS, P.A. 1986. Las ciénagas de Colombia. Divulgación pesquera, INDERENA. 22(3-4):58-70.

ARISTIZABAL, H. & J. CASTAÑEDA. 1983. Estimación de la fitomasa aérea en la cuenca del río Chuza, páramo de Chingaza, Cundinamarca. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. p. 1-36.

AUSTIN, A., S. LANG & M. POMEROY. 1981. Simple methods for sampling periphyton with observations on sampler design criteria. Hydrobiol. 85:33-47.

ASPREY, G.F., K.B. EVANS & J.E. FURET. 1964. A contribution to the study of South American freshwater phytoplankton. Gayana 10:3-100.

BAHAMONDE, N. & S. CABRERA (ED.) 1983. Embalses, fotosíntesis y productividad primaria. Curso taller. Universidad de Chile. Chile. 231 p.

BARBOSA, C., C. DIAZ & H. RODRIGUEZ. 1984. Compilación de aspectos biofísicos del Parque Nacional Natural Chingaza. INDERENA.

BASTERRECHEA, M. 1988a. Limnología del lago Petén Itzá, Guatemala. Rev. Biol. Trop. 36(1):123-127.

_____ 1988b. Caracterización limnológica preliminar de 32 lagunas de Guatemala. Rev. Biol. Trop. 36(1):115-122.

BERNAL, H. ET AL. 1987. Programa de investigación y desarrollo de la ecología y la sistemática en la Universidad Javeriana. Parque Nacional Natural Chingaza (7 proyectos). Departamento de Biología, Unidad de Ecología y Sistemática. Bogotá-Colombia. 466 p.

- BERNIER, I. 1981. Contaminación en el embalse del Muña. La tadeo 2:23-24.
- BICUDO, C. & R.H. BICUDO. 1970. Algas do aguas continentais brasileiras. Fundacao brasileira para o desenvolvimento do esinho do ciencias. Sao Paulo-Brasil. 228 p.
- BJORK, S. & G. GELIN. 1980. Limnological function and management of the El Peñol reservoir, Colombia. Report. Inst. Limnol. Univ. Lund.
- BLANCK, H. 1985. A simple community level, ecotoxicological test system using samples of periphyton. Hydrobiol. 124:124-251.
- BOHR, R., M. LUSCINSKA & A.S. OLEKSOWICZ. 1983. Phytosociological associations of algal periphyton. In: WETZEL, R.G. Periphyton of freshwater ecosystems. 1°. Ed. Dr. Junk Publishers. 346 p.
- BOLD, H.C. & M.J. WAYNE. 1985. Introduction to the algae. Prentice Hall. New Jersey-USA. 720 p.
- BRANCO, S.M. 1984. Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Secretaría general de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 28. Washington, D.C. U.S.A. 115 p.
- BRETTUM, P. 1974. The relation between the new colonization and drift of periphytic diatoms in a small stream in Oslo, Norway. Norwegian Journal of Botany 21(4):277-281.
- BRINSON, M. & F. NORDLUE. 1975. II, Lakes 8. Central and South America. Lake Izabal, Guatemala. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19:1468-1479.
- BRICEÑO, M.P. 1978. Proyecto Chingaza. Publicaciones INDERENA. Bogotá. 114 p.
- CARIGNAN, R. & E.J. KALFF. 1982. Phosphorus release by submerged macrophytes: significance to epiphyton and phytoplankton. Limnol. Oceanog. 27(3):419-427.
- CARNEY, H.J., P.J. RICHERSON & P. ELORANTA. 1987. Lake Titicaca (Perú-Bolivia) phytoplankton: species composition and structural comparison with other tropical and temperate lakes. Arch. Hydrobiol. 110(3): 365-385.
- CARREÑO, J.G. & M. RAMIREZ. 1979. Contribución al plan de manejo del Parque Nacional Natural Chingaza. Estudio hidroclimático. Tesis de grado. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. Colombia. 90 p.
- CASTAGNINO, W.A. 1982. Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Organización Panamericana de la Salud (OPS). Sao Paulo, Brasil. 27 p.
- CHARLES, D.F. 1985. Relationships between surface sediment diatom assemblages and lake water characteristics in Adirondacks lakes. Ecology 66(3):994-1011.
- CLEEF, M.A. 1981. Secuencia altitudinal de la vegetación de los páramos de la cordillera oriental de Colombia. Ecología Tropical 1:39-45.

- CLIFFORD, T.H. & W. STEPHENSON. 1975. An introduction to numerical classification. Academic Press. New York-USA. 229 p.
- COESEL, P.F.M. 1973. The relevance of desmids in the biological typology and evaluation of fresh waters. Hydrobiol. Bull. 9:93-101.
- _____ 1979. Desmids of broads area of N.W.Overijssel (The Netherlands) I,II. Acta Bot. Neerl. 28(6):355-423; 28(4/5):257-279.
- _____ 1981. Classification of desmids assemblies in a dutch broads area. Arch. Hydrobiol. 91(1):56-81.
- _____ 1982. Structural characteristics and adaptations of desmids communities. Journal of Ecology 70:163-177.
- _____ 1983. De Desmidiaceae van Neederland, Deel 2, Fam. Closteriaceae. K.N.N.V. Hoogwood. 49 p.
- _____ 1983. The significance of desmids as indicators of trophics status of freshwaters. Schweiz. Z. Hydrol. 45(2):388-393.
- _____ 1985. Soortenlijst Desmidiaceen Colombia (Pers. Com.).
- _____ 1985. De Desmidiaceen von Netherland, Deel 3, Fam. Desmidiaceae (1) K.N.N.V. Hoogwood.
- _____ 1987. Taxonomic notes on Colombian desmids. Cryptogamic Algologie. 8(2):127-142.
- _____, J.CH. DONATO & S. DUQUE. 1986. *Staurastrum volans* var. *fuquense* nov. var. An interesting desmid taxon in the phytoplankton of laguna Fúquene, Colombia. Caldasia 14(68-70):407-414. Studies on Colombian Cryptogams XXVI.
- _____, S. DUQUE & G. ARANGO. 1988. Distributional patterns in some neotropical desmid species (Algas, Chlorophyta) in relation to migratory bird routes. Rev. d'Hydrobiol. Tropicale 21(3):197-205.
- COLINVAUX, P. & M. STEINITZ. 1980. Species richness and area in Galapagos and andean lakes: equilibrium phytoplankton communities and a paradox of the zooplankton evolution and ecology of zooplankton communities. C. Kerfoot ed. University Press of New England.
- COLINVAUX, P., M. MILLER, ET AL. 1985. Discovery of permanent Amazon lakes and hydraulic disturbance in the upper Amazon basin. Nature 313(5997):42-45.
- CRISCI, J.V. & M.F. LOPEZ ARMENGOL. 1983. Introducción a la teoría de la taxonomía numérica. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 26. Washington, D.C. U.S.A. 132 p.
- CROSSEY, M.J. & T.W. La POINT. 1988. A comparison of periphyton community structural and functional responses to heavy metals. Hydrobiol. 162:109-121.
- DARLEY, M.W. 1987. Biología de las algas. Ed. Limusa. México. 236 p.

- DAVIES, H. 1976. A comparison of the attached algal communities of a natural and an artificial substrate. *J. Phycol.* 12:301-306.
- DE OLIVERA, P., M. STEINITZ-KANNAN, ET AL. 1986. Las diatomeas de Ecuador. III. Diatomeas fósiles de la laguna de Kumpaka. Provincia de Morona, Santiago. *Revista Instituto Geográfico Militar* 24:41-60.
- DESHMUKH, I. 1986. *Ecology and tropical biology*. Blackwell Scientific Publications, California. 387 p.
- DESIKACHARY, T.V. 1968. *Cyanophyta*. Academic Press. N.Y. Indian Council of Agricultural Reseach. New Delhi.
- DIAZ, R.W., S. DUQUE, ET AL. 1984. La trucha en el embalse del Neusa. Corporación Autónoma Regional (CAR), Bogotá, Colombia. 47 p.
- DIAZ, C.A. 1986. Estudio ecológico del fitoplancton en el embalse de Hidroprado, Tolima. Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 120 p.
- DONATO, J.CH. & S. DUQUE. 1986. Estructura y dinámica del fitoplancton de la laguna de Fúquene, Cund, Col. Tesis de grado. Universidad Nacional. 194 p.
- DONATO, J. CH. 1987. Estudios limnológicos del Parque Nacional Natural Chingaza. En: Programa de Investigación para el desarrollo de la ecología y sistemática en la Universidad Javeriana. Parque Nacional Natural Chingaza. Departamento de Biología. Unidad de Ecología y Sistemática.
- . 1987. Análisis limnológicos y concentración de biocidas en peces de los ríos Ariari, Guayuriba, Humea y Meta. *Rev. Fac. Fac. Cien.* 1(1):29-52.
- . 1988. Fitoplancton de los lagos del Parque Nacional Natural Amacayacú, Amazonas, Colombia. Inédito.
- . 1990. Estructura y dinámica de la laguna de Chingaza y el embalse de Chuza. Estudio convenio Universidad Javeriana-Colciencias.
- . 1991. Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. Cuadernos Divulgativos No. 4. Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. 8 p.
- , S.R. DUQUE & L.E. MORA-OSEJO. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la laguna de Fúquene, Cundinamarca, Colombia. *Rev. Acad. Cienc. Exac. Fis. y Nat.* 16(62):113-144.
- DUCHARME, A. 1975. Informe técnico de biología pesquera -Limnología- Proyecto Inderena-FAO. Bogotá. 42 p.
- DUQUE, S. & J.CH. DONATO. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado en el embalse de la Central Hidroeléctrica de Betania, Huila, Colombia. *Rev. Fac. Cienc. U. Jav.* 1(2):29-52.
- . 1988. Nuevas perspectivas del fitoplancton como indicador para estudios ambientales de Colombia. Ponencia 5º Congreso Nacional de Ecología. Bogotá, 20-23 de julio. (Inédito).

- EMINSON, D. & B. MOSS. 1980. The composition and ecology of periphyton communities in fresh waters. *Br. Phycol. J.* 18:439-446.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA (E.A.A.B.) 1971. El Proyecto Chingaza. Publicaciones de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 28 p.
- . 1983. Embalses y lagunas estudiadas por el Laboratorio Central de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. 14 p.
- EVERITT, B. 1974. Cluster analysis. S.S.R.C. Great Britain.
- FAIRCHILD, G.W. & R. LOWE. 1984. Artificial substrates which release nutrients: effects on periphyton and invertebrate succession. *Hydrobiol.* 114:29-37.
- FAIRCHILD, G. W. & W.B. RICHARDSON. 1985. Algal periphyton growth on nutrient-diffusing substrates: an in situ bioassay. *Ecology* 66(2):465-472.
- FAIRCHILD, G.W. & A. EVERETT. 1988. Effects of nutrients (N, P,C,) enrichment upon periphyton standing crop, species composition and primary production in and oligotrophic softwater lake. *Freshwater Biology* 19:57-70.
- FAIRCHILD, G.W., J.W. SHERMAN & W. ACKER. 1989. Effects of nutrient (N,P,C,) enrichment, grazing and depth upon littoral periphyton of a softwater lake. *Hydrobiol.* 173:69-83.
- FARNWORTH, E. & F. GOLLEY (Eds). 1977. *Ecosistemas frágiles*. Primera edición. Fondo de Cultura Económica. México. 374 p.
- FEISENSTEIN, J. 1988. *Numerical taxonomy*. Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg. New York-U.S.A. p. 504-523.
- FERNANDEZ, H.A. 1982. Guía para el estudio de las algas. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad de Trujillo. Perú. 263 p.
- FLOREZ, V.A. & H.R. QUIROZ. 1986. Monitoreo de estaciones biosensoras de Cerromatoso. XXI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Cali. 45 p.
- FLOSS, J. 1984. *Ecología, entre la magia y el tópico*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 120 p.
- FOERSTER, J. & H. SCHLICHTING. 1965. Phyco-periphyton in an oligotrophic lake. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 84:485-502.
- FOGG, G.E. 1971. Nitrogen fixation in lakes. *Plant and Soil Special Volume*. 393-401.
- FRANCO, P. 1982. Estudios fitoecológicos en el Parque Nacional Natural Chingaza. Tesis de Grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- FRITSCH, F.E. 1977. *Structure and reproduction of the algae*. Vol. I-II. Cambridge University Press.
- GALAN, P.R. 1956. Estudios microfotográficos en 1955 en el laboratorio de la planta de Vitelma. *Publ. Direc. de Est. y Cont. Investigación y Control*. Bol. No. 6. E.A.A.B. Bogotá, Colombia.

- _____. 1966. Investigación sobre el tratamiento biológico de las aguas negras de la ciudad de Bogotá. Ensayos a escala piloto sobre el río Salitre. Public. No. 11. E.A.A.B. Bogotá, Colombia.
- GALVIS, G., J. MOJICA & F. RODRIGUEZ. 1989. Estudio ecológico de la laguna de desborde del río Metica. Fondo FEN Colombia-Universidad Nacional de Colombia.
- GAVIRIA, S. 1983. Evaluación limnológica inicial del embalse de Chuza en el páramo de Chingaza. E.A.A.B. Bogotá, Colombia.
- _____. 1984. Estudio limnológico inicial del embalse de Chuza, páramo de Chingaza. Rev. Acodal (Asoc. Col. Ing. Sanit. & Amb.). Bogotá. 119:1-48.
- _____. 1989. The Calanoid fauna (Crustacea, Copepoda) of the cordillera oriental of the colombian Andes. Hydrobiol. 178:113-134.
- GESSNER, F. 1955. Die limnologischen Verhältnisse in den seen und flüssen von Venezuela. Verh. Int. Ver. Limnol. 12:284-294.
- GOLTERMAN, H.L. & R.S. CLYMO. 1971. Methods for chemical analysis of freshwaters. Blackwell Scientific Publications. Oxford and Edimburgh. 166 p.
- GREESON, D.E. (ED.) 1979. Methods for collection analysis of aquatic biological and microbiological samples techniques of water resources investigation of the U.S. Geological Survey. Chapter a 4, Book 5. Laboratory Analysis. 91-111 p.
- GUERRERO, A. 1983. El agua del siglo veintiuno. Chingaza. Nueva Frontera. Informe Especial. 447:12-14.
- GUERRERO, H. 1989. Estudio limnológico del embalse de Calima, Madruñal, Valle del Cauca. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 247 p.
- HARGRAVES, P.E. & R. VIQUEZ. 1981. Dinoflagellate abundance in the Laguna Botos, Poás Volcano, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 29(2):257-264.
- HASTLE, N. & N. FRYXELL. 1970. Clearing and mounting for light and electron microscopy. Trans. Am. Microsc. Soc. 89(4).
- HEGEWALD, E., A. ALDAVE & T. HAKULT. 1976. Investigations on the lakes of Perú and their phytoplankton: 1. Review of literature, description of the investigated waters and chemical data. Arch. Hydrobiol. 76(4):494-506.
- HEGEWALD, E., E. SCHNEPT & A. ALDAVE. 1980. Investigations on the lakes of Perú and their phytoplankton: 5. The algae of Laguna Huaypo, Cuzco, With special reference to *Franceia*, *Oocystis* and *Scenedesmus*. Arch. Hydrobiol. 56:387-420.
- HENRY, R., E.M. PELLEGRINI CARAMASHI & J.G. TUNDISI. 1978. Survey of ecological factors in a shallow tropical reservoir. Rev. Bras. Biol. 38:171-175.
- HIMAT. 1983. Informe sobre algunos estudios limnológicos y de eutroficación en lagos y embalses colombianos. 46 p.
- HOAGLAND, K. 1983. Short-term standing crop and diversity of periphytic diatoms in a eutrophic reservoir. Journal of Phycol. 19(1).

- HORTA, G.G. 1985. Evaluación temprana de las comunidades fitoplanctónicas en el embalse de Punchiná, Central Hidroeléctrica de San Carlos, Antioquia. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. 143 p.
- HUBBER-PESTALOZZI, G. 1938-1972. Das phytoplankton on des süsswassers die Binnenge wasser. 16(1,3,5). Stuttgart, Alemania.
- HUSTED, S. 1959. Die kieselalgen. 2 Teil. Otto Koltz Science Publishers. West Germany. 845 p.
- HUTCHINSON, G.E. 1957. A treatise on limnology. Vol. I. John Willey and Sons Inc. New York, U.S.A. 1015 p.
- _____. 1961. The paradox of the plankton. Amer. Natur. 95:137-146.
- HUTCHINSON, G.E. & H. LOFFLER. 1956. The termal classification of lakes. Proc. Nat. Acad. Sci. Wash. 42:84-86.
- INDERENA. 1986. Chingaza: canto del sol a la laguna. Revista de los Parques Nacionales de Colombia. 1(16). 16 p.
- INFANTE DE G. A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 33. Washington, D.C. U.S.A. 130 p.
- JEFFERS, J. 1978. An introduction to systems analysis: with ecological application. Edward Arnold, Great Britain. 199 p.
- JUNK, W.J. 1980. Areas inundaveis - Um desafio pra Limologia. Acta Amazonica 10(4):775-795.
- _____. 1984. Ecology of the varzea, floodplain of amazonian whitewaters rivers. In: SIOLI, H. (ED). The Amazon. Dr. Junk Publishers. Boston. p. 296-294.
- KNOECHEL, R. & J. KALFF. 1975. Algal sedimentation: the cause of diatom blue-green sucesion. Verein Limnol. 19:745-754.
- KLAPWIJK, S., T.F. DE BOER & M.J. RIJS. 1983. Effects of agricultural wastewater on benthic algae in ditches in The Netherlands. In WETZEL, R.G. Periphyton of freshwater ecosystems. 1° Ed. Dr. Junk Publishers. 346 p.
- KRIEGER, W. & P. BOURRELLY. 1956. Desmidiacees des Andes du Venezuela. p. 140-195.
- KUHN, D.L., J.L. PLAFKIN, ET AL. 1981. Qualitative characterization of aquatic environments using diatom life-form strategies. Trans. Am. Microsc. Soc. 100(2):165-182.
- LACOSTE DE DIAZ, E.N. 1980. Algas de aguas continentales de la Argentina. III. Desmidiaceae de Misiones: Closteriaceae. Lilloa 35(2):47-63.
- _____. 1980. Notas algológicas. III. sobre algunas especies de Pleurotaenium (Desmidiaceae). Lilloa 35(2):5-11.
- _____. 1981. Desmidiaceae en *Utricularia foliosa* L. Lilloa 35(3).

- LECLERQ, L. & E. DEPIEREUX. 1987. Typologie de rivières oligotrophes de massif Ardennais (Belgique) par l'analyse multivariee de relevès de diatomées benthiques. *Hydrobiol.* 153:175-192.
- LEETVAR, P. 1985. Alto Sinú hydroelectric project in Colombia, possible consequences for the environment. *Hydrobiol.* 120:241-248.
- LEGENDRE, P. 1983. Numerical ecology developments and recent trends. In: FELSESTEIN, J. (ED). Numerical taxonomy. NATO ASI Series. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 1:505-523.
- LELAND, H. & J. CARTER. 1984. Effects of copper of species composition of periphyton in a Sierra Nevada, California stream. *Freshwater Biology* 14:281-296.
- LEWIS, S.M. & H.F. WEIBEZAHN. 1976. Chemistry energy flow and community structure some Venezuelan fresh waters. *Verein. Limnol.* 2(3):145-207.
- LEWIS, M. W. Jr. 1978. Analysis of sucesion in a tropical phytoplankton community and a new measure of sucesion rate. *Amer. Natur.* 112:401-414.
- . 1987. Phytoplankton succession in lake Valencia, Venezuela. *Hydrobiol.* 138:189-203.
- & W. RIELH. 1982. Phytoplankton composition and morphology in lake Valencia, Venezuela. *Int. Revue. Hydrobiol.* 67(3):297-322.
- LOEB, S.L., J.E. REUTER & C.R. GOLDMAN. 1983. Littoral zone production of oligotrophic lakes: the contributions of phytoplankton and periphyton. In: WETZEL, R.G. *Periphyton of freshwater ecosystems*. 1° Ed. Dr. Junk Publishers. 346 p.
- LOFFLER, H. 1964. The limnology of tropical high-mountain lakes. *Verein. Limnol.* 15:176-193.
- . 1972. Contribution to the limnology of high mountain lakes in Central America. *Int. revue. ges. Hydrobiol.* 57(30):397-408.
- LUGO, E.A. & G.L. MORRIS. 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. U.S.A. Monografía No. 82.
- LUND, G.J.W., C. KIPPLING & E.D. LE CREN. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiol.* 11:143-170.
- MARGALEF, R. 1957. La teoría de la información en ecología. *Mem. R. Acad. Cienc. Artes, Barcelona-España* 32(13):373-449.
- . 1976. Biología de los embalses. *Investigación y Ciencia* 1:51-62.
- . 1978. Perspectivas de la teoría ecológica. Ed. Blume. Barcelona-España. 110p.
- . 1978. Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanológica Acta* 1(4):493-509.

- . 1980. La Biosfera, entre la termodinámica y el juego. Ed. Omega. Barcelona-España. 236 p.
- . 1983. *Limnología*. Ed. Omega. Barcelona-España. 1010 p.
- MARCUS, M. 1980. Periphytic community response of chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge. *Ecology* 61(2):387-399.
- MARQUEZ, G. 1983. Sucesión ecológica e impacto ambiental en el embalse de Hidroprado, Tolima, Colombia. 2° Congreso Nacional de Ecología. Soc. Col. Ecol. Bogotá-Colombia. 17 p.
- . 1985. Ecología e impacto ambiental en el embalse de Hidroprado, Tolima. *Bol. Depto Biol. U.N.* 2(6):69-85.
- & G. GUILLOT. 1987. Estudios ecológicos de embalses colombianos. Informe final del proyecto de investigación Fondo FEN Colombia-Universidad Nacional, Bogotá.
- MATTEUCCI, D.E. & A. COLMA. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 22. Washington, D.C. U.S.A. 168 p.
- MARTIN, R.M. 1988. Aspectos limnológicos del embalse de Tominé. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia. 213 p.
- MASSEY, J.E. 1981. Physicochemical influences on phytoplankton production in al tropical alpine lake. *Arch. Hydrobiol.* 91:133-143.
- MATOS, M.L. & O.O. PARRA. 1986. Ficoflora de lagos altoandinos. Desmidiaceas de la laguna de Mucubají. *Gayana Bot.* 43(1-4):111-147.
- MELACK, J.M. 1979. Temporal variability of phytoplankton in tropical lakes. *Oecologia* 44:1-7.
- MIKKOLA, H. & P.A. ARIAS. 1976. Evaluación preliminar de la limnología y de las poblaciones de peces en el sistema del canal del dique. Parte I. Proyecto Pesca Continental. INDERENA-FAO. 65 p.
- MILLER, M.C., M. KANNAN & P. COLINVAUX. 1984. Limnology and primary productivity of andean and amazonian tropical lakes of Ecuador. *Verein. Limnol.* 22:1264-1270.
- MOLANO, J. 1954. *Limnología colombiana*. Vol. I. Ministerio de Agricultura, División de Recursos Naturales. Bogotá-Colombia. 149 p.
- MOLINA, J.A. 1983. Estudios de fitoplancton de aguas tropicales frías y continentales, embalse del Sisga. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia. 180 p.
- NILSSEN, J.P. 1984. Tropical lakes-functional ecology and future development: the need for a process orientated approach. *Hydrobiol.* 113:231-242.

- PIMENTEL, R.A. & J.D. SMITH. 1985. Biostat. Sigma soft, Placentia, CA. U.S.A.
- PLA, L.E. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Monografía No. 27. Washington, D.C. U.S.A. 94 p.
- PRANCE, G.T. 1979. Notes of the vegetation of amazonia.III. The terminology of amazonian forest types subject to inundation. *Brittonia* 31(1):26-38.
- PRESCOTT, G.W. 1962. Algae of the western Great Lakes area. W.M.C. Brown Company Publishers. 680 p.
- . 1973. Algae of the western Great Lakes area. W.M.C. Brown Company Publishers. Iowa. 962 p.
- RAI, H. & G. HILL. 1980. Classification of central amazon lakes on the basis of their microbiology and physico-chemical characteristics. *Hydrobiol.* 72:85-99.
- . 1984. The amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. In: SIOLI, H. (ED). *Monographie Biologicae*, Vol. 56. Dr. Junk Publishers.
- RAMIREZ, J.J. 1986. Fitoplancton de red en el embalse del Peñol, Colombia. *Actual. Biol.* 11(39):3-21.
- & T. MACHADO. 1982. Influencia de la precipitación y los ortofosfatos sobre el fitoplancton de la represa La Fé. *Actual. Biol.* 11(39):3-21.
- REYNOLDS, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. London. 384 p.
- RICHERSON, P.J., G. WIDMER & T. KITTEL. 1977. The limnology of lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large high altitude tropical lake. Institute of ecology publications No. 14. University of California. Davis. 71 p.
- RICHERSON, P.J., P.J. NEALE, ET AL. 1986. Patterns of temporal variation in lake Titicaca. A high altitude tropical lake: I. Background, physical and chemical processes and primary production. *Hydrobiol.* 138:205-220.
- RICHERSON, P.J. & H.C. CARNEY. 1988. Patterns of temporal variation in lake Titicaca, a high altitude tropical lake. II. Succession rate and diversity of the phytoplankton. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 23:734-738.
- RIEHL, W. & A. INFANTE. 1987. Desmídias del embalse de Guri, Venezuela. *Ecología* 38:106-121.
- RIVERA, P., O. PARRA, ET AL. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae. Universidad de Concepción. Chile. 97 p.
- ROBINSON, J. & C. SANDGREN. 1984. An experimental evaluation of diversity indices as environmental discriminators. *Hydrobiol.* 108:187-196.
- RODRIGUEZ, C. 1978. Muestreo de embalses. En: La calidad del agua suministrada a la ciudad de Bogotá. La calidad de las aguas crudas para las plantas de trata-

- miento y las labores realizadas durante el año de 1977. Inf. Div. Lab. Central Civ. Serv. Acueducto Subg. Operativa. E.A.A.B.
- ROLDAN, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia-Colciencias-Universidad de Antioquia. 217 p.
- , M. CORREA, ET AL. 1984. Estudio limnológico de la represa de El Peñol. *Actual. Biol.* 13(50):94-105.
- RONDON, E.H. 1991. Estimación de la productividad fitoplanctónica en ciénagas del complejo Pajarales, caribe colombiano. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Javeriana. 80 p.
- ROOS, P.J. 1983. Dynamics of periphyton communities. In: WETZEL, R.G. (ED). *Periphyton of freshwater ecosystems*. 1° Ed. Dr. Junk Publishers. The Hague. 346p.
- ROUND, F.E. 1984. The ecology of algae. Cambridge University. New York. U.S.A. 653 p.
- RUIZ, J.E. 1984. Calidad de aguas en el embalse El Guajaro. HIMAT. Bogotá-Colombia.
- SALAS, H.J. 1983. Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos (antes lagos tropicales). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS). Sao Paulo, Brasil. 14 p.
- SAND-JENSEN, K. 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. In WETZEL, R.G. (ED). *Periphyton of freshwater ecosystems*. 1° Ed. Dr. Junk Publishers. The Hague. 346 p.
- SHAPIRO, R. 1972. Blue-green algae: why they become dominant. *Science* 179:382-384.
- SCHWOERBEL, J. 1975. Métodos de hidrobiología. Ed. Blume. Madrid. 260 p.
- SHORTREED, K.S., C. COSTELLA & J.G. STOCKNER. 1983. Periphyton biomass and species composition in 21 British Columbia lakes: seasonal abundance and response to whole-lake nutrient additions. *Can. J. Bot.* 62:1022-1031.
- SIOLI, H. 1975. Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments. In: GOLLEY, F. & MEDINA (EDS). *Tropical ecological systems*. Ecological studies. No. 11.
- . 1967. Studies in amazonian waters. Atlas do Simposio a Biota Amazônica. 31:9-50.
- SLADECKOVA, A. 1962. Limnological investigation methods for the periphyton (Aufwuchs) community. *Bot. Rev.* 28:286-353.
- & V.SLADECEK. 1977. Periphyton as indicator of the reservoir water quality. II. Pseudoperiphyton. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol.* 9:177-197.
- , P. MARVAN & J. VYMAZAL. 1983. The utilization of periphyton in waterworks pretreatment for nutrient removal from enriched ecosystems. In:

- WETZEL, R.G. (ED). Periphyton of freshwater ecosystems. 1° Ed. Dr. Junk Publishers. 346 p.
- SMITH, M.G. 1955. Cryptogamic Botany. Algae and Fungi. 2da edición. McGraw-Hill Book Company. 546 p.
- SNEATH, R. & R. SOKAL. 1973. Numerical taxonomy. W.H. Freeman and Company. San Francisco.
- STEINITZ-KANNAN, M., M. NIENABER, ET AL. 1982. Estudios limnológicos en la laguna de San Marcos con descripciones de las especies principales de diatomeas. Museo ecuatoriano de Ciencias Naturales. 3:39-65.
- STEINITZ-KANNAN, M., P. COLINVAUX & R. KANNAN. 1983. Limnological studies in Ecuador. 1. a survey of chemical and physical properties of ecuatorian lakes. Arch. Hydrobiol. 1:61-105.
- STEINITZ-KANNAN, M., P. DE OLIVEIRA, ET AL. 1988. Las diatomeas del Ecuador. I. Diatomeas fósiles de la laguna de Curno, provincia de Imbabura. Revista Instituto Geográfico Militar, Quito 26:7-35.
- STEVENSON, J. 1984. Epilithic and epipellic diatoms in the Sandusky River, with emphasis on species diversity and water pollution. Hydrobiol. 114:161-175.
- TAYLOR, W.R. 1935. Alpine algae from the Santa Marta mountains, Colombia. Am. J. Bot. 22(9):763-781.
- TELL, G. 1980. Les euglenophytes chlorophyllies du nord-est de l'Argentine. Bull. Mus. Natn. Hist. Nat. Paris. 4° Ser. 2. Section B. No.1:21-47.
- THERIOT, E., H. CARNEY & P. RICHERSON. 1985. Morphology, ecology and sistematics of *Cyclotella andina* sp. nov. (Bacillariophyceae) from lake Titicaca, Perú-Bolivia. Phycologia 24(4):381-387.
- TRACANNA, B.C. 1980. Contribución al conocimiento de las algas del noroeste argentino. I. Chlorophyta nuevas o interesantes de Tucuman. Lilloa 35(2):17-30.
- TUNDISI, G.J., ET AL. 1984. Mixing patterns in some amazon lakes. Hydrobiol. 108:3-15.
- UCHIMA, J.M. 1988. Aspectos limnológicos del embalse del Neusa. Tesis de Grado. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia. 183 p.
- UHERKOVICH, G. 1984. Phytoplankton. In: SIOLI, H. (ED). The amazon. Dr. Junk Publishers. Boston. 29-311 p.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 1984. Diagnóstico ambiental del impacto del proyecto hidroeléctrico de Betania. Bogotá-Colombia.
- VALDERRAMA, B.M. 1984. Análisis de la situación actual y perspectivas del desarrollo pesquero en embalses de Colombia. Divulgación Pesquera 22(5):73-91.
- VAN HEURCK, H. 1962. A treatise on the Diatomaceae. Wheldon & Wesley Ltda. 542 p.

- VINCENT, W.F., P.J. NEALE & P.J. RICHERSON. 1984. Photoinhibition: algal responses to bright light during diel stratification and mixing in a tropical alpine lake. J. Phycol. 20:201-211.
- VINCENT, W.F., C.L. VINCENT, ET AL. 1985. Nitrate cycling in lake Titicaca (Perú-Bolivia): the effects of high-altitude and tropically. Freshwater Biology 15:31-42.
- VINER, A.B. 1982. Nitrogen fixation and denitrification in sediments of two kenyan lakes. Biotropica 14(2):91-98.
- VOLLENWEIDER, P.A. 1974. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. 2nd. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- VYMAZAL, J. 1988. The use of periphyton communities for nutrients removal from polluted streams. Hydrobiol. 166:225-237.
- WALSBY, E.E. 1977. The gas vacuoles of blue-green algae. Scientific American 237: 90-97.
- WARWICK, R., W.F. VINCENT, ET AL. 1980. Seasonal dynamics of nutrient limitation in a tropical high-altitude lake (Lake Titicaca, Perú-Bolivia): application of physiological bioassays. Limnol. Oceanogr. 29(3):540-552.
- WEIBEZAHN, F.H. & C. CRESSA. 1979. Limnología de las lagunas parameras. En: SALGADO, M.I. (ED). El medio ambiente Páramo. CIFCA, CIET-UNESCO, IVIC, MAB-UNESCO.
- WELCOMME, R. 1979. Fisheries ecology of floodplain rivers. Longman. London.
- WELCH, E.B., J.M. JACOBY, ET AL. 1988. Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams. Hydrobiol. 157:161-168.
- WEST, B.S. 1914. A contribution to our knowledge of freshwater algae of Colombia. In: FURHMAN & MAYOR. Voyage d'exploration scientifique in Colombia. New Chatel. 1013-1051.
- WETZEL, R.G. 1981. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona, España. 679 p.
- WHITMORE, T. 1989. Florida diatom assemblages as indicators of trophic state and pH. Limnol. Oceanogr. 34(5):882-895.
- WILLIAMS, D.M. 1988. An illustrated catalogue of the type specimens in the Grenville diatom herbarium. Bulletin of the British Museum (Natural History). Botany Series 18(1):1-148.
- WURTSBAUGH, W.A., W.F. VINCENT, ET AL. 1985. Nutrient limitation of algal growth and nitrogen fixation in a tropical alpine lake, lake Titicaca (Perú-Bolivia). Freshwater Biology 15:185-195.
- YACUBSON, S. 1956. Géneros de desmidiaceas de la república de Argentina. Universidad de Buenos Aires. Contribuciones Científicas. Argentina. 1(1):58 p.
- . 1969. Algas de ambientes acuáticos continentales nuevas para Venezuela (Cyanophyta, Chlorophyta). Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela. 85 p.

- _____. 1974. Catálogo e iconografía de las Chlorophyta de Venezuela. Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela. 131 p.
- _____. 1974. El fitoplancton de la laguna de San Javier del Valle (estado Mérida), Venezuela. *Revue Algologique* 11(1-2):91-131.
- _____. 1980. The phytoplankton of some freshwater bodies from Zulia state (Venezuela). *Nova Hedwigia* 33:279-339.
- _____. 1980-1981. Algas del río Limón y ambientes acuáticos cercanos (estado Zulia, Venezuela). *Bol. Centro Inv. Biol.* 14:1-81.
- _____. 1984-1986. Algas del río Tucuco y ambientes acuáticos de sus alrededores (estado Zulia, Venezuela). *Bol. Centro Inv. Biol.* 16:19-95.
- ZAVALA, J.A. 1986. Introducción al enfoque multivariado en estudios de vegetación. Cuadernos de Divulgación UNIREB. No. 26, Xalapa, Veracruz. México. 53 p.

ANEXO No. 1

Matriz de asociación (coeficiente de correlación) entre los parámetros fisico-químicos estudiados en la laguna de Chingaza.

	Alcal.	Acidez	CO2	pH	Turb.	Conduct.	Dureza	Ca	Na
Alcal.	1								
Acidez	-0,4015	1							
CO2	0,50036	0,4055	1						
pH	-0,0951	0,0791	0,0092	1					
Turb.	0,10489	-0,349	-0,145	0,591	1				
Conduct.	0,97275	-0,422	0,5598	-0,72	0,1222	1			
Dureza	0,7016	-0,235	0,61	-0,34	0,1683	0,7526	1		
Ca	0,97614	-0,373	0,5693	-0,03	0,125	0,9838	0,7414	1	
Na	0,87354	-0,39	0,53	-0,21	-0,005	0,6019	0,7941	0,88943	1
Mg	0,69907	-0,111	0,4801	0,159	-0,291	0,6958	0,3796	0,71808	0,57066
K	0,11914	-0,219	-0,124	-0,08	0,0598	0,099	0,0991	0,06381	0,28418
Fe	-0,0897	-0,015	0,0802	-0,07	0,0668	0,0147	0,3496	-0,0295	0,02478
Mn	-0,0626	-0,266	-0,212	-0,07	-0,097	-0,013	-0,086	-0,0355	0,00641
Si	-0,2624	0,8459	-0,008	0,261	0,3032	-0,181	0,2435	-0,1553	-0,1284
Cl	0,29525	-0,112	-0,058	-0,23	-0,521	0,2063	-0,147	0,23045	0,23673
SO4	0,50689	-0,294	-0,193	-0,31	-0,096	0,3943	0,0396	0,41483	0,2561
NO2	-0,1011	-0,293	-0,308	-0,21	0,0276	-0,029	-0,23	-0,1058	-0,0316
NO3	-0,2819	0,0309	-0,051	0,465	0,3381	-0,189	0,0295	-0,1652	-0,1821
NH4	-0,1321	-0,109	-0,141	-0,03	0,0777	-0,142	0,1712	-0,145	0,02576
O-PO4	-0,196	0,1512	-0,041	0,016	0,0173	-0,219	0,114	-0,2269	-0,0285
P-total	0,07254	-0,368	-0,485	-0,04	0,4944	-0,012	-0,103	-0,0525	-0,1637
O2	-0,0645	0,0227	-0,022	-0,09	-0,157	-0,222	-0,067	-0,0809	-0,0279
Temp	-0,116	0,2612	-0,011	0,312	-0,288	-0,13	-0,36	-0,0824	-0,3607

	Mg	K	Fe	Mn	Si	Cl	SO4	NO2	NO3
Mg	1								
K	-0,0748	1							
Fe	-0,0859	0,0262	1						
Mn	-0,0424	-0,062	0,107	1					
Si	-0,3088	-0,039	0,5205	-0,07	1				
Cl	0,48996	0,0815	-0,381	0,012	-0,694	1			
SO4	0,41216	-0,093	-0,333	0,058	-0,482	0,5972	1		
NO2	-0,0684	0,2826	0,1927	0,214	-0,225	0,182	0,1072	1	
NO3	-0,3181	-0,098	0,2526	0,13	0,6689	-0,686	-0,498	-0,1797	1
NH4	-0,2774	0,1082	0,1708	-0,07	0,3792	-0,353	-0,25	0,00098	0,15408
O-PO4	-0,2591	0,3758	0,0673	-0,15	0,3444	-0,338	-0,236	-0,32	0,1306
P-total	-0,2029	0,1113	-0,16	-0,09	-8,00E-04	-0,197	0,3987	0,06525	-0,0209
O2	0,07823	-0,067	0,1162	0,003	-0,103	0,0348	-0,055	0,23802	-0,1014
Temp.	0,37124	-0,667	-0,065	-0,13	-0,1	0,2567	0,299	0,09499	-0,0371

	NH4	O-PO4	P-total	O2	Temp.
NH4	1				
O-PO4	0,67394	1			
P-total	0,24475	0,2885	1		
O2	-0,0882	-0,32	-0,101	1	
Temp.	-0,2643	-0,395	-0,06		1

ANEXO No. 2

Lista de especies del fitoplancton encontradas en la laguna de Chingaza.

PROCARIOTAS

División: Cyanophyta

Clase: Cyanophyceae (Nostocophyceae)

Orden: Oscillatoriales

Familia: Oscillatoriaceae

Oscillatoria sp.

Familia: Nostocaceae

Anabaena constricta (Szafer) Geitler

EUCARIOTAS

División: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Chlorococcales

Familia: Scenedesmaceae

Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brebisson

Familia: Dictyosphaeriaceae

Botryococcus braunii Kuetzing

Botryococcus sp.

Dyctyosphaerium pulchellum Naegeli

Familia: Palmellaceae

Sphaerocystis sp.

Familia: Oocystaceae

Franceia ovalis (Francé) Lemmernam

Orden: Oedogoniales

Familia: Oedogoniaceae

Oedogonium sp.

Orden: Zygnematales

Familia: Zygnemataceae

Mougeotia sp.

Zygnema sp.

Familia: Desmidiaceae

Closterium acutum Brebisson

Closterium gracile Brebisson

Closterium venus Kuetzing

Closterium sp.

Staurastrum tohopekaligense Wolle

Stauroidesmus convergens (Ehrenberg) Teiling

Stauroidesmus lobatus (Borgesen) Bourrelly

Cosmarium sp. 1

Cosmarium sp. 2

Xanthidium antilopaeum (Brebisson) Kuetzing

Sphaeroszma aubertianum West

Pleurotaenium sp.

Stauroidesmus sp.

Spondylosium planum (Walle) West

Desmidium cylindricum Greville

Hylothea mucosa (Mertens) Ehrenberg

Familia: Mesotaeniaceae

Gonatozygon aculeatum Hastings

División: Chrysophyta

Clase: Chrysophyceae

Orden: Ochromonadales

Familia: Dinobryaceae

Dinobryon divergens Imhof

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Naviculaceae

Navicula sp. 1

Navicula sp. 2

Navicula sp. 3

Navicula sp. 4

Navicula cf hebes Ralfs

Stauroneis anceps Ehrenberg

Pinnularia maior (Kuetzing) Rabh.

Familia: Epithemiaceae

Epithemia turgida (Ehrenberg) Patrick & Reimer

Rhopalodia gibba (Ehrenberg) Mueller

Familia: Fragilariaceae

Fragilaria virescens Ralfs

Tabellaria flocculosa (Roth) Kuetzing

Diatoma sp.

Synedra ulna (Nitzsch) Ehrenberg

Ceratoneis arcus (Ehrenberg) Kuetzing

Familia: Cymbellaceae
Cymbella lanceolata Ehrenberg
Cymbella minuta Hilse
Gomphonema acuminatum Ehrenberg
Gomphonema constrictum Ehrenberg
Gomphonema truncatum Ehrenberg

Familia: Surirellaceae
Surirella biseriata Brebisson

Familia: Achnanthaceae
Cocconeis placentula Ehrenberg

División: Pyrrophyta
 Clase: Dinophyceae
 Orden: Peridinales
 Familia: Peridinaceae
Peridinium cinctum (Muller) Ehrenberg
Peridinium limbatum (Stokes) Lemmermann

División: Euglenophyta
 Clase: Euglenophyceae
 Orden: Euglenales
 Familia: Euglenaceae
Euglena acus Ehrenberg
Trachelomonas varians Deflandre

ANEXO No. 3

Lista de familias, generos y especies de algas perifíticas encontradas en la laguna de Chingaza.

PROCARIOTAS

División: Cyanophyta
 Clase: Cyanophyceae (Nostocophyceae)
 Orden: Chroococcales
 Familia: Chroococcaceae
Chroococcus sp. 1
Chroococcus sp. 2
 Orden: Oscillatoriales
 Familia: Oscillatoriaceae
Oscillatoria sp.
Oscillatoria sp. 2
Oscillatoria sp. 3
 Familia: Nostocaceae
Anabaena constricta (Szafer) Geitler

EUCARIOTAS

División: Chlorophyta
 Clase: Chlorophyceae
 Orden: Chlorococcales
 Familia: Scenedesmaceae
Scenedesmus quadricauda (Turpin) Brebisson
 Familia: Dictyosphaeriaceae
Botryococcus braunii Kuetzing
 Familia: Oocystaceae
Oocystis sp.
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs
 Orden: Oedogoniales
 Familia: Oedogoniaceae
Oedogonium sp.
Bulbochaete sp.

Orden: Zygnematales

Familia: Zygnemataceae

Mougeotia sp.*Spirogyra* sp.

Familia: Desmidiaceae

Closterium moniliferum (Bory) Ehrenberg*Closterium subulatum* (Kuetzing) Brebisson*Closterium kuetzingii* Brebisson*Closterium* sp.*Staurastrum sebalzii* Reinsch*Staurodesmus* sp.*Cosmarium* sp. 1*Cosmarium* sp. 2*Xanthidium antilopaeum* (Brebisson) Kuetzing*Sphaerososma aubertianum* West*Spondylosium planum* (Walle) West*Hyalotheca mucosa* (Mertens) Ehrenberg

Familia: Mesotaeniaceae

Gonatozygon brebisonii de Bory

Orden: Ulothricales

Familia: Ulothricaceae

Geminella interrupta (Turpin) Lagerheim

Orden: Chaetophorales

Familia: Chaetophoraceae

Stigeoclonium sp.

División: Chrysophyta

Clase: Chrysophyceae

Orden: Ochromonadales

Familia: Dinobryaceae

Dinobryon divergens Imhof

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Naviculaceae

Navicula radiosa Kuetzing*Navicula* sp.*Navicula hebes* Ralfs*Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni*Stauroneis anceps* Ehrenberg*Stauroneis* sp.*Pinnularia maior* (Kuetzing) Rabh.*Pinnularia gibba* Ehrenberg*Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg

Familia: Epithemiaceae

Epithemia turgida (Ehrenberg) Patrick & Reimer*Rhopalodia gibba* (Ehrenberg) Mueller

Familia: Fragilariaceae

Fragilaria virescens Ralfs*Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing*Diatoma* sp.*Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg*Ceratoneis arcus* (Ehrenberg) Kuetzing

Familia: Cymbellaceae

Cymbella lanceolata Ehrenberg*Cymbella minuta* Hilse*Gomphonema acuminatum* Ehrenberg*Gomphonema constrictum* Ehrenberg*Gomphonema truncatum* Ehrenberg

Familia: Surirellaceae

Surirella biseriata Brebisson

Familia: Achnanthaceae

Cocconeis placentula Ehrenberg

Familia: Eunotiaceae

Eunotia flexuosa (Brebisson) Kuetzing*Eunotia lunaris* (Ehrenberg) Husted

División: Euglenophyta

Clase: Euglenophyceae

Orden: Euglenales

Familia: Euglenaceae

Euglena acus Ehrenberg*Trachelomonas volvocina* Deflandre*Trachelomonas hispida* (Pery) Stein*Trachelomonas* sp.

ANEXO No. 4

Composición de especies epilíticas y epifíticas encontradas en la laguna de Chingaza en marzo y agosto de 1989.

Género- Especie

- *Cymbella lanceolata* Ehrenberg
- *Cymbella minuta* Hilse
- *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg
- *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg
- *Fragilaria virescens* Ralfs
- *Diatoma* sp.
- *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kuetzing
- *Epithemia turgida* (Ehrenberg) Patrick & Reimer
- *Navicula radiosa* Kuetzing
- *Navicula hebes* ralfs
- *Navicula* sp.
- *Pinnularia gibba* Ehrenberg
- *Pinnularia maior* (Kuetzing) Rabh.
- *Closterium moniliferum* (Bory) Ehrenberg
- *Closterium* sp.
- *Cosmarium* sp.
- *Hyalotheca mucosa* (Mertens) Ehrenberg
- *Gonatozygon brebisonii* de Bory
- *Mougeotia* sp.
- *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brebisson
- *Anabaena constricta* (Szafer) Geitler

ANEXO No. 5

Matriz de asociación (coeficiente de correlación) entre los parámetros físico-químicos estudiados en el embalse de Chuza.

	Alcal.	Acidez	CO2	Ca	Na	Conduct	Cl	Dureza	Mg	K
Alcal.	1									
Acidez	-0,527	1								
CO2	0,302	0,097	1							
Ca	0,544	-0,404	0,582	1						
Na	0,017	-0,068	0,229	0,566	1					
Conduct	0,137	0,178	0,244	0,478	0,678	1				
Cl	-0,404	-0,018	-0,426	-0,386	-0,074	-0,252	1			
Dureza	-0,327	0,319	-0,451	-0,433	0,268	-0,24	0,562	1		
Mg	-0,184	0,437	0,261	-0,189	-0,145	0,063	-0,333	-0,404	1	
K	-0,175	0,78	0,452	-0,247	-0,279	0,17	-0,305	-0,013	0,58	1
SO4	0,34	-0,224	0,236	0,306	0,471	0,489	-0,264	-0,258	-0,001	-0,002
PO4	-0,151	0,087	0,291	0,185	0,299	0,329	0,21	-0,348	0,115	0,043
NO2	-0,184	0,077	-0,5	-0,312	0,33	0,146	0,105	-0,09	0,116	-0,208
NO3	0,576	-0,622	0,239	0,61	0,299	0,167	-0,564	-0,455	-0,11	-0,325
Fe	-0,18	0,359	0,374	-0,356	-0,64	-0,408	-0,186	-0,024	0,443	0,646
pH	-0,185	0,268	0,17	-0,49	-0,637	-0,51	-0,172	0,027	0,411	0,503
O2	-0,43	0,045	-0,587	-0,322	0,078	-0,053	0,676	0,476	-0,518	-0,394
Temp.	-0,401	0,385	0,025	-0,546	0,004	-0,212	0,068	-0,031	0,382	0,331
Secchi	-0,249	0,19	-0,129	-0,302	-0,294	-0,342	0,627	0,832	-0,457	0,006
Turb.	-0,361	0,603	0,5	-0,123	-0,113	-0,045	0,079	-0,021	0,485	0,557

	SO4	PO4	NO2	NO3	Fe	pH	O2	Temp.	Secchi	Turb.
SO4	1									
PO4	-0,17	1								
NO2	-0,056	-0,029	1							
NO3	0,632	-0,406	-0,168	1						
Fe	-0,143	0	-0,601	-0,198	1					
pH	-0,015	-0,207	-0,445	-0,083	0,926	1				
O2	-0,448	0,211	0,437	-0,58	-0,474	-0,445	1			
Temp.	-0,136	0,027	0,531	-0,391	0,159	0,196	0,078	1		
Secchi	-0,293	-0,1	-0,377	-0,458	0,19	0,15	0,359	-0,042	1	
Turb.	-0,419	0,535	-0,262	-0,617	0,563	0,343	-0,083	0,354	0,22	1

ANEXO No. 6

Lista de familias, géneros y especies de algas fitoplanctónicas encontradas en el embalse de Chuza.

PROCARIOTAS

División: Cyanophyta

Clase: Cyanophyceae (Nostocophyceae)

Orden: Chroococcales

Familia: Chroococcaceae

Chroococcus dispersus

Dactylococcopsis sp.

Orden: Oscillatoriales

Familia: Oscillatoriaceae

Oscillatoria sp.

Familia: Nostocaceae

Anabaena sp.

EUCARIOTAS

División: Chlorophyta

Clase: Chlorophyceae

Orden: Volvocales

Familia: Volvocaceae

Eudorina elegans Ehrenberg

Familia: Dyctyosphaeriaceae

Botryococcus braunii Kuetzing

Familia: Palmellaceae

Sphaerocystis sp.

Familia: Oocystaceae

Franceia ovalis (Francé) Lemmerman

Orden: Oedogoniales

Familia: Oedogoniaceae

Oedogonium sp.

Orden: Zygnematales

Familia: Zygnemataceae

Mougeotia sp.

Zygnema sp.

Familia: Desmidiaceae

Closterium kuetzingii Brebisson

Closterium ehrenbergii Meneghini

Closterium lunula (Mueller) Nitzsch.

Closterium diana Ehrenberg

Closterium aciculare West

Closterium sp.1

Penium spirostriolatum Barker

Micrasterias apiculata (Wolle) Croasdale

Cosmarium cf. *contractum* Kirchner

Staurastrum leptacanthum Nordstedt

Staurastum dickiei Croasdale

Staurastrum sp.

Staurodesmus convergens (Ehrenberg) Teiling

Staurodesmus lobatus (Borgesen) Bourrelly

Staurodesmus dejectus (Brebisson) Teiling

Xanthidium antilopaeum (Brebisson) Kuetzing

Xanthidium sp.

Hyalotheca mucosa (Mertens) Ehrenberg

División: Chrysophyta

Clase: Chrysophyceae

Orden: Ochromonadales

Familia: Dinobryaceae

Dinobryon divergens Imhof

Clase: Bacillariophyceae

Orden: Pennales

Familia: Naviculaceae

Navicula sp.

Familia: Epithemiaceae

Epithemia turgida (Ehrenberg) Patrick & Reimer

Familia: Fragilariaceae

Fragilaria virescens Ralfs

Tabellaria flocculosa (Roth) Kuetzing

Familia: Cymbellaceae

Cymbella lanceolata Ehrenberg

Cymbella cistula (Ehrenberg) Kirchner

Gomphonema acuminatum Ehrenberg

División: Pyrrophyta

Clase: Dinophyceae

Orden: Peridinales

Familia: Peridinaceae

Peridinium cinctum (Muller) Ehrenberg

Peridinium limbatum (Stokes) Lemmermann

ANEXO No. 7

Tipos de comunidades de los organismos pertenecientes al fitoplancton del embalse de Chuza.

COMUNIDAD	ESPECIE	REFERENCIA
Euplanctónica	<i>Chroococcus</i> sp.	Fogg, et al (1973)
	<i>Botryococcus braunii</i>	Margalef (1983)
	<i>Sphaerocystis</i> sp.	Fritsch (1977)
	<i>Dactylococcopsis</i> sp.	
	<i>Franceia ovalis</i>	
	<i>Oscillatoria</i> sp.	Fogg, et al (1973)
	<i>Closterium kuetzingii</i>	
	<i>Closterium ehrenbergii</i>	
	<i>Closterium lunula</i>	
	<i>Closterium diana</i>	
	<i>Closterium aciculare</i>	
	<i>Closterium</i> sp.1	
	<i>Penium spirostriolatum</i>	
	<i>Micrasterias apiculata</i>	
	<i>Cosmarium</i> cf. <i>contractum</i>	
	<i>Xanthidium antilopaeum</i>	
	<i>Xanthidium</i> sp.	
	<i>Staurodesmus lobatus</i>	
	<i>Staurodesmus dejectus</i>	
	<i>Staurodesmus convergens</i>	
<i>Staurastrum lepthacanthum</i>		
<i>Staurastrum dickiei</i>		
<i>Staurastrum</i> sp.1		
<i>Hyalotheca mucosa</i>		
<i>Mougeotia</i> sp.	Fritsch (1977)	
<i>Zygnema</i> sp.	Fritsch (1977)	
<i>Oedogonium</i> sp.	Fritsch (1977)	
<i>Tabellaria flocculosa</i>	Kuhn, et al (1981)	
Perifíticas y Bénticas	<i>Fragilaria virescens</i>	
	<i>Cymbella lanceolata</i>	
	<i>Cymbella cistula</i>	
	<i>Gomphonema acuminatum</i>	
	<i>Epithemia turgida</i>	
Neustónicas	<i>Eudorina elegans</i>	Goldstein (1964)
	<i>Dinobryon divergens</i>	
	<i>Peridinium cinctum</i>	
	<i>Peridinium limbatum</i>	

* Fuente: MARGALEF (1983) y DONATO & DUQUE (1987).

INDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA No. 1. Valores de sulfatos (mg/l SO ₄) y cloruros (mg/l Cl) para la laguna de Chingaza (octubre 1988-febrero 1990)	49
TABLA No. 2. Valores de alcalinidad y dureza en mg/l CaCO ₃ y conductividad en μ S/cm en la laguna de Chingaza (Oct. 88 feb./90)	50
TABLA No. 3. Concentración de iones (Na, K, Ca, Fe, Mg) durante el período de estudio en la laguna de Chingaza	55
TABLA No. 4. Valores de acidez (mg/l CaCO ₃), CO ₂ (mg/l CO ₂) y pH (H+) en la laguna de Chingaza (octubre 1988-febrero 1990)	57
TABLA No. 5. Valores de la relación N/P encontrados en la laguna de Chingaza durante el período de estudio	62
TABLA No. 6. Valores de oxígeno disuelto (mg/l O ₂) y temperatura (°C) para la laguna de Chingaza durante la época de estudio	63
TABLA No. 7. Características generales del embalse de Chuza	87
TABLA No. 8. Precipitación media anual en mm, volumen medio útil en miles de m ³ , temperatura media en °C y pH para el embalse de Chuza. Período 1988-1990	88
TABLA No. 9. Valores de Disco de Secchi (m), oxígeno disuelto (mg/l) porcentaje de saturación de O ₂ y temperatura (°C) en el embalse de Chuza	92

	Pág.
TABLA No. 10. Cambio en la concentración de acidez total (meq/l CaCO_3), CO_2 (ppm) y pH en el embalse de Chuza.	93
TABLA No. 11. Valores de dureza total (ppm CaCO_3) y conductividad ($\mu\text{ S/cm}$ a 25°C) en el embalse de Chuza. Período noviembre 1988-enero 1990)	95
TABLA No. 12. Valores de fósforo y nitrógeno ($\mu\text{ g-at/l}$) encontrados en el embalse de Chuza durante los meses de muestreo. Fósforo (ortofosfatos), nitrógeno (NO_3 , NO_2).	97
TABLA No. 13. Valores de pH, nitritos (mg/l NO_2), amonio (mg/l NH_4), nitrógeno total (mg/l N) y fósforo total (mg/l PO_4) en aguas profundas en el embalse de Chuza.	102
TABLA No. 14. Rango de variables físicas y químicas del embalse de Chuza en mg/l, comparados con las normas permisibles para agua potable.	113

INDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA No. 1. Estaciones de muestreo en la laguna de Chingaza. Salida del río Frío zona de aguas libres (Estaciones 1 y 5).	31
FOTOGRAFIA No. 2. Estación No. 2. de muestreo en la laguna de Chingaza. Zona adyacente con bosque.	31
FOTOGRAFIA No. 3. Estación No. 3. de muestreo en la laguna de Chingaza Entrada del río Frío	32
FOTOGRAFIA No. 4. Estación No. 4. de muestreo en la laguna de Chingaza. Zona adyacente con bosque.	32
FOTOGRAFIA No. 5. Estación No. 1. Desembocadura del río Chuza en el embalse de Chuza	33
FOTOGRAFIA No. 6. Estación No. 2. Parte Media o Compuertas en el embalse de Chuza	33
FOTOGRAFIA No. 7. Estación No. 3. Presa Golillas en el embalse de Chuza	34
FOTOGRAFIAS Algas presentes en el embalse de Chuza	106-107

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA No. 1. Relaciones entre las variables que influyen en la estructura y dinámica del fitoplancton en el embalse de Chuza	23
FIGURA No. 2. Esquema de las relaciones existentes entre las algas del perifiton y los parámetros físicos y químicos estudiados en la laguna de Chingaza	25
FIGURA No. 2a. Provincias geográficas de Colombia, según aspectos limnológicos	27
FIGURA No. 3. Diseño de las placas de colonización de perifiton	35
FIGURA No. 4. Mapa de la laguna de Chingaza, indicando las estaciones de muestreo	42
FIGURA No. 5. Valores de precipitación media para un período de 25 años (1966-1990) y precipitación media para el período de muestreo (octubre 1988-febrero 1990). Laguna de Chingaza	45
FIGURA No. 6. Valores de temperatura media para 5 años (1986-1990) y para el período de estudio. Laguna de Chingaza	46
FIGURA No. 7. Análisis de coordenadas principales para los parámetros físicos y químicos estudiados en la laguna de Chingaza	48
FIGURA No. 8. Red de correlaciones estadísticas positivas entre variables físicas y químicas de la laguna de Chingaza	51
FIGURA No. 9. Red de correlaciones estadísticas negativas entre variables físicas y químicas de la laguna de Chingaza	52
FIGURA No. 10. Valores de alcalinidad (mg/l CaCO_3) y conductividad ($\mu\text{ S/cm}$) encontrados en la laguna de Chingaza	53

	Pág.
FIGURA No. 11. Valores de pH encontrados en la laguna de Chingaza	54
FIGURA No. 12. Valores de CO ₂ (mg/l CO ₂) y acidez total (mg/l CaCO ₃) encontrados en la laguna de Chingaza.	56
FIGURA No. 13. Valores de nitritos y nitratos (mg/l N) para la laguna de Chingaza.	58
FIGURA No. 14. Amonio (mg/l N) y ortofosfatos (mg/l PO ₄) encontrados en la laguna de Chingaza.	59
FIGURA No. 15. Valores de oxígeno disuelto (mg/l O ₂) y temperatura (°C) en la laguna de Chingaza.	60
FIGURA No. 16. Valores de turbidez (U. nefelométricas) para la laguna de Chingaza.	61
FIGURA No. 17. Valores de sílice (mg/l SiO ₂) para la laguna de Chingaza.	61
FIGURA No. 18. Análisis de Coordenadas Principales (PCORD) entre muestras de fitoplancton en la laguna de Chingaza.	65
FIGURA No. 19. Dendrograma de asociación entre especies de fitoplancton de la laguna de Chingaza, a partir del coeficiente de asociación de Bray-Curtis.	66
FIGURA No. 20. Dendrograma de asociación entre especies perifíticas a partir del coeficiente de Bray-Curtis.	69
FIGURA No. 21. Análisis de coordenadas principales para las algas del perifiton de la laguna de Chingaza.	71
FIGURA No. 22. Variación de las principales especies de algas perifíticas en cada estación de muestreo en la laguna de Chingaza	72
FIGURA No. 23. Valores de abundancia de individuos de los diferentes grupos de algas perifíticas.	73
FIGURA No. 24. Valores de diversidad (índice de Shannon-Weaner) para las algas del perifiton de la laguna de Chingaza.	74
FIGURA No. 25. Variación en la abundancia del fitoplancton en la laguna de Chingaza.	76
FIGURA No. 26. Variación en la abundancia media de especies entre las estaciones de muestreo en la laguna de Chingaza.	76
FIGURA No. 27. Histograma de los principales grupos de algas fitoplanctónicas encontrados en la laguna de Chingaza.	77
FIGURA No. 28. Valores de calcio (mg/l Ca) encontrados en la laguna de Chingaza.	83

	Pág.
FIGURA No. 29. Modelo conceptual de los factores que influyen sobre la estructura y dinámica del perifiton de la laguna de Chingaza.	84
FIGURA No. 30. Ubicación geográfica del embalse de Chuza y estaciones de muestreo	86
FIGURA No. 31a,b. Precipitación media mensual (1963-1988) y durante el período de estudio (nov/88-ene/90). Embalse de Chuza.	90
FIGURA No. 32a,b. Volumen y nivel promedio mensual (nov/88-ene/90) en el embalse de Chuza (Datos E.A.A.B.).	91
FIGURA No. 33. Variaciones promedio de temperatura (°C) y pH (H+) para el embalse de Chuza.	94
FIGURA No. 34a. Variación promedio mensual en la concentración de CO ₂ (mg/l CO ₂).	94
FIGURA No. 34b. Variación promedio mensual en la acidez total (mg/l CaCO ₃) del embalse de Chuza.	95
FIGURA No. 35. Red de correlaciones estadísticas entre los parámetros físico-químicos en el embalse de Chuza.	96
FIGURA No. 36 a, b. Rangos de variación durante los meses de muestreo en la concentración de nitrógeno en forma de NO ₃ y NO ₂ (mg/l N) para el embalse de Chuza.	98
FIGURA No. 37. Rangos de variación para el fósforo en mg/l PO ₄ para los meses de muestreo en el embalse de Chuza.	99
FIGURA No. 38. Comportamiento físico-químico anual durante el período de estudio en el embalse de Chuza.	100
FIGURA No. 39. Dendrograma de las variables físico-químicas para aguas profundas, del embalse de Chuza.	101
FIGURA No. 40. Abundancia media de especies para los meses de muestreo, en el embalse de Chuza.	103
FIGURA No. 41a. Distribución vertical promedio de <i>Peridinium cinctum</i> . Período nov/88-jul/89 para el embalse de Chuza.	104
FIGURA No. 41b. Distribución vertical promedio de <i>Dinobryon divergens</i> . Período nov/88-jul/89 para el embalse de Chuza.	104
FIGURA No. 42. Distribución vertical promedio de <i>Dactylococcopsis</i> sp. en el período nov/88-ene/90, embalse de Chuza.	105
FIGURA No. 43. Dendrograma de la distribución promedio anual del fitoplancton, durante el período de estudio en el embalse de Chuza.	108

	Pág.
FIGURA No. 44 a,b. Variación de la diversidad promedio según el índice de Shannon-Weaner para los meses de muestreo y para las sub-estaciones verticales en el embalse de Chuza.	110
FIGURA No. 44c. Variación de la diversidad promedio en las estaciones de muestreo, embalse de Chuza.	111
FIGURA No. 45. Histograma de los principales grupos de algas presentes en el embalse de Chuza.	114
FIGURA No. 46. Variación sucesional estacional del fitoplancton en el embalse de Chuza.	117
FIGURA No. 47. Modelo preliminar del funcionamiento del fitoplancton del embalse de Chuza.	119
FIGURA No. 48. Perfiles de temperatura y oxígeno en la laguna de Chingaza.	122
FIGURA No. 49. Perfiles de temperatura y oxígeno en el embalse de Chuza.	123
FIGURA No. 50. Síntesis de los principales aspectos físicos, químicos y biológicos de la laguna de Chingaza.	126
FIGURA No. 51. Síntesis de los principales aspectos físicos, químicos y biológicos del embalse de Chuza.	128
FIGURA No. 52. Modelo general de funcionamiento de lagunas de páramo.	129
FIGURA No. 53. División de los sistemas acuáticos de páramo de Colombia, con base en sus características limnológicas y uso de la tierra.	132

PUBLICACIONES DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

COLECCION JORGE ALVAREZ LLERAS

- Volumen 1 - Mora-Osejo, L.E. 1987. Estudios morfológicos, autoecológicos y sistemáticos en Angiospermas. 1/16. 196 pp, 75 figs.
- Volumen 2 - Murillo, M.T. & M.A. Harker. 1990. Helechos y plantas afines de Colombia. 1/16. 326 pp, 145 figs.
- Volumen 3 - Lozano Contreras, G. 1994. Las Magnoliaceae del Neotrópico 1/16 148 pp, 57 figs.
- Volumen 4 - Eslava, J. Aspectos relacionados con la erupción del volcán Nevado del Ruiz. 1/16 174 pp, 46 figs.
- Volumen 5 - Rocha Campos Marta. Diversidad en Colombia de los Cangrejos del género *Neostrengeria*. 1/16 IV + 144 pp, 47 figs.
- Volumen 6 - Mora-Osejo, L. E. & Sturm Helmut. 1994. Estudios Ecológicos del Páramo y del bosque altoandino. Cordillera Oriental de Colombia. Tomos I y II. 716 pp, 190 figs.
- Volumen 7 - Díaz, J. M.; Garzón-Ferreira J. & Zea Sven. 1995. Los arrecifes coralinos de la Isla de San Andrés, Colombia: estado actual y perspectivas para su conservación. 1/16. 152 pp, 15 figs, 27 tablas y 15 láminas a color.
- Volumen 8 - Eslava Ramírez, J.A. 1995. Régimen de la presión atmosférica en Colombia. 1/16. 152 pp, 94 figs, 59 tablas.
- Volumen 9 - Donato, J.Ch. Gonzalez, L.E. & Rodriguez, C.L. 1996. Ecología de dos Sistemas Acuáticos de Páramo. 1/16. 168 pp, 53 figs, 14 tablas, 9 fotografías.

COLECCION ENRIQUE PEREZ ARBELAEZ

- Volumen 1 - Memorias del Seminario en conmemoración del Centenario de Erwin Schrödinger. 1/16. 221 pp.
- Volumen 2 - Díaz, S. & A. Lourteig. 1989. Génesis de una Flora. 1/16. xii. + 362 pp, 35 figs.
- Volumen 3 - Cubillos, G., F.M. Poveda & J.L. Villaveces. 1989. Historia Epistemológica de la Química. 1/16. 128 pp.
- Volumen 4 - Hernández de Alba, G. & A. Espinosa. 1991. Tratados de Minería y Estudios Geológicos de la época Colonial, 1616-1803. 1/16 xii + 92 pp, 1 fig.
- Volumen 5 - Díaz-Piedrahita, S. (Editor) 1991. José Triana, su vida, su obra y su época. 1/16 Viii + 188 pp, 73 figs.
- Volumen 6 - Díaz-Piedrahita, S. 1991. La Botánica en Colombia, hechos notables en su desarrollo. 1/16 x + 126 pp, 30 figs.
- Volumen 7 - Mantilla, L.C. & S. Díaz-Piedrahita. 1992. Fray Diego García, su vida y su obra científica en la Expedición Botánica. 1/16 xv + 284, 14 figs.
- Volumen 8 - Arias de Greiff, J. 1993. Historia de la Astronomía en Colombia. 1/16 200 pp, 23 figs.

Volumen 9 - **Lértora Mendoza, C. A.** 1995. Fuentes para el estudio de las ciencias exactas en Colombia. 1/16. 316 pp.

Volumen 10 - **Gauss, C. F.** 1995. Disquisitiones Arithmeticae. Traductores: Hugo Barrantes Campos, Michael Josephy, Angel Ruiz Zúñiga. 1/16. 540 pp.

COLECCION JULIO CARRIZOSA VALENZUELA

Volumen 1 - **Castillo, G.** 1992. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. Tomo primero. 1/16 xxxii + 410, 77 figs.

Volumen 2 - **Bernal de Ramírez, I.** 1993. Análisis de Alimentos. 1/16 XVIII + 314 pp, 28 figs.

Volumen 3 - **Castillo, G.** 1994. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. 1/16. Tomo segundo, XX+406 pp, 45 figs.

Volumen 4 - **Cáceres, D.** (Editor). 1995. Creando ciencia Crean docencia. 1/16. 140 pp, 38 figs.

Volumen 5 - **Romero, C. M. & Blanco L. H.** 1996. Tópicos en Química Básica. 1/16. 240 pp, 56 figs.

Volumen 6 - **Peña L., G. A. & Pinto N., M.** 1996. Mamíferos más comunes en sitios precerámicos de la sabana de Bogotá. 1/16. 98 pp, 1 mapa, 6 dibujos a color, 18 láminas y 48 gráficas.

COLECCION MEMORIAS

Volumen 1 - Memorias del Seminario Nacional "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista 1/16. VIII + 184 pp.

Volumen 2 - Memorias del Seminario Konrad Lorenz sobre Etología. 1/16 IV + 38 pp.

Volumen 3 - Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana. 1/16. 116 pp.

Volumen 4 - Memorias Primer Congreso de Neurocomputación. 1/16. XIV + 184 pp.

Volumen 5 - Memorias Primer Congreso Nacional sobre Cambio Climático. 1/16.
(Próximo en aparecer)

Este libro se terminó de
imprimir el día 29 de junio de 1996
en los talleres gráficos de
Editora Guadalupe Ltda.,
Santafé de Bogotá, Colombia

Las anteriores publicaciones pueden ser solicitadas directamente a la Academia,
Apartado 44763, Santafé de Bogotá, D.C., o Fax (571) 2838552.

E.Mail accefyn@colciencias.gov.co

Se ofrecen en venta o mediante intercambio por publicaciones similares.

