

ESTRUCTURA Y DINAMICA DEL FITOPLANCTON DE LA LAGUNA DE FUQUENE (Cundinamarca, Colombia)*

Por *John Ch. Donato R.*
Santiago R. Duque E.
Luis Eduardo Mora-Osejo

INTRODUCCION

El vertiginoso crecimiento de la población humana ha llevado al aumento considerable de las necesidades de agua para el uso doméstico, industrial, agropecuario, entre otros. Sin embargo, paradójicamente, cada día aumenta el deterioro de la calidad de las aguas epicontinentales, lo cual constituye una de las grandes preocupaciones mundiales. Colombia no es una excepción a tal situación.

Al problema de la polución creciente, se suma el de la fertilización paulatina de los cuerpos de agua que consiste en el incremento de materia orgánica y de nutrientes, en dichos cuerpos de agua. Tales incrementos, por otra parte, favorecen el establecimiento de comunidades vegetales (macrófitos, micrófitos, fitoplancton) al interior de los sis-

temas lénticos, que a la vez deterioran aún más la calidad del agua.

La acción humana sobre los ecosistemas epicontinentales que rodean los sistemas lénticos crea nuevos factores de perturbación que se añaden a los ya mencionados, y agudizan aún más el desequilibrio del ecosistema. De allí la necesidad de tener en cuenta los fenómenos que se operen en la cuenca en el análisis de los factores más preponderantes que en un momento dado estén incidiendo en los procesos de alteración del sistema léntico respectivo.

Entre las acciones humanas que modifican más profundamente los ecosistemas acuáticos, se cuenta la de utilizar los cursos y cuerpos de agua como el medio más fácil para desembarazarse de toda clase de residuos; desde luego, es urgente evaluar los efectos que se producen, como consecuencia de esta inveterada costumbre, con el fin de derivar alternativas, aplicables a la eliminación de las aguas residuales.

Si se quiere compaginar el desarrollo económico con el bienestar humano, resulta indispensable prever las consecuencias, a corto y largo plazo, y planificar la puesta en práctica de soluciones, para lo cual resulta necesario estudiar y conocer las alteraciones que produce la "eutrofización cultural".

La Laguna de Fúquene tiene, hoy en día, múltiples aprovechamientos; entre otros, la utilización de sus aguas para el uso doméstico (acueducto de

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su reconocimiento al Fondo Especial de Investigaciones Científicas (CINDEC) de la Universidad Nacional por financiar la parte logística del presente trabajo; al Laboratorio de Aguas de la Corporación Autónoma Regional (CAR) y al Instituto de Ensayos e Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional por los análisis físico-químicos de las muestras. Del mismo modo expresan especial gratitud al Dr. PETER F.M. COESEL del Laboratorio Hugo de Vries de la Universidad de Amsterdam por la colaboración prestada en la identificación y corroboración de algunas especies de algas, principalmente de la Familia Desmidiaceae.

* Tesis de grado - Universidad Nacional de Colombia. Laboratorio de Morfología Vegetal - Investigación Depto. de Biología - Universidad Nacional AA. No. 23227 - Bogotá, Colombia.

Chiquinquirá y Capellanía), riego, trampa de sedimentos y amortiguador de inundaciones. También sus aguas albergan una población de carpas (*Cyprinus carpio*) utilizada para la pesca.

Los usos mencionados han producido en la Laguna gran deterioro en la calidad del agua. Tal deterioro procede, entre otros factores, del excesivo aporte de sustancias alóctonas procedentes de cultivos agrícolas y de desechos originados en asentamientos humanos. Lo anterior, conduce a la colmatación del vaso de la Laguna, fenómeno que la convertirá en área fangosa, sin recuperación posible, dentro de los próximos 55 años, de acuerdo con los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá CAR (1974).

En el intento de definir la magnitud y los efectos de la colmatación, corresponde papel preponderante al estudio de las diferentes comunidades biológicas presentes en la Laguna de Fúquene (bacterias, zooplancton, macrófitos y fitoplancton), sus características abióticas reinantes y en particular, la estructura y dinámica del fitoplancton. Como es bien sabido, el fitoplancton suele reflejar fielmente las modificaciones del medio. De allí que en el presente estudio se utiliza su conocimiento para detectar las etapas que conducirán a la parcial o total colmatación del sistema "Laguna de Fúquene".

DESCRIPCION DEL AREA

La Laguna de Fúquene es un sistema léntico ubicado al Norte del Departamento de Cundinamarca, sobre la vertiente Occidental de la Cordillera Oriental a 100 km al Noreste de Bogotá; su situación geográfica es: 5° 28' 12" Lat N y 73° 44' 14" Long W con una elevación de 2.543 m.s.n.m. (Fig. 1). (DE MIER, 1936).

Constituye el cuerpo de agua más septentrional del Valle de Ubaté que se encuentra precedido por las Lagunas de Cucunubá y Palacios; en conjunto pueden ser consideradas como restos de un desaparecido lago de altiplanicie. De acuerdo con los estudios realizados por CAR (1968, 1979a) y CAR (1965), su área aproximada es de 30 Km² (2.400-3.000 Ha), con una longitud en su eje mayor de 9.100 m y 6.200 m de ancho. El volumen de sus aguas oscila entre 45 - 90 millones de m³. La profundidad media es de 1 m y la máxima es de 7 m. (CAR, 1974).

La Laguna de Fúquene es de origen tectónico y al igual que la planicie circundante forma parte de un valle precuaternario que por movimiento de la corteza terrestre se represó hacia el Norte y luego se rellenó por sedimentos cuaternarios de fertilidad notable (HUBACH, 1953) (CAR, 1979a).

La Laguna de Fúquene y los pantanos adyacentes se formaron posiblemente a partir de un glaciar que existió en los cerros de Chiquinquirá. Las masas enormes de detritos arrancadas por el hielo de las formaciones sobre las cuales corría, se acumularon contra las rocas duras del cauce del río Suárez en las vecindades del sitio denominado La Copetona, localizándose en el punto en donde el río atraviesa los cerros que rodean el valle de Saboya.

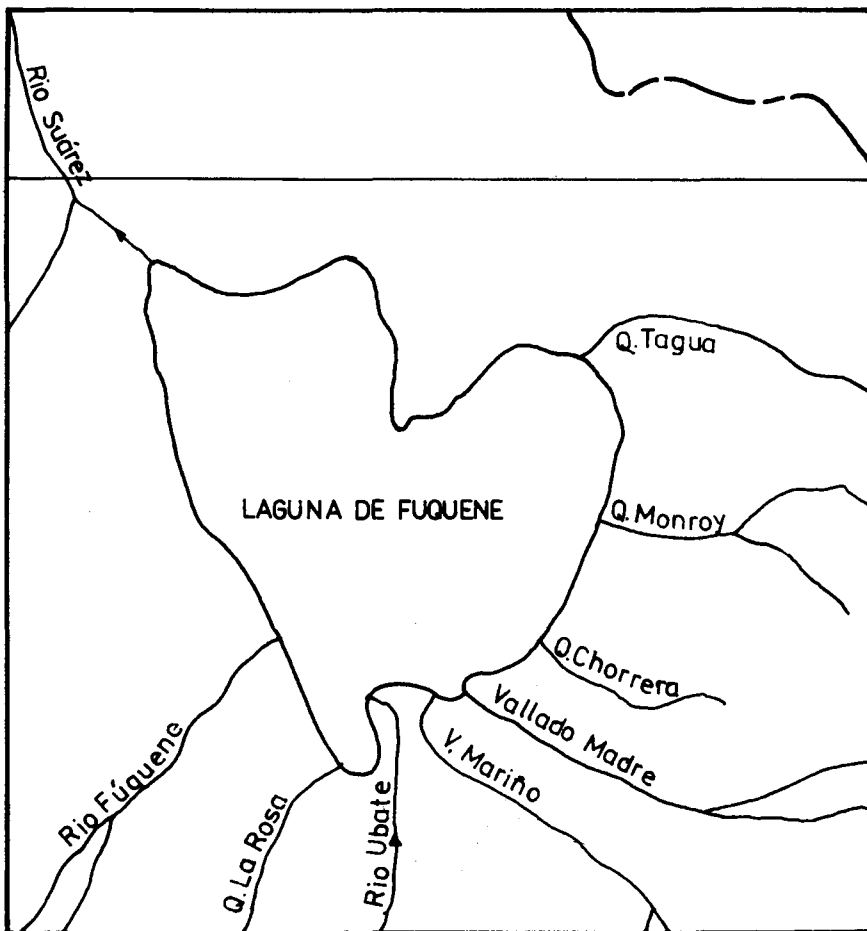
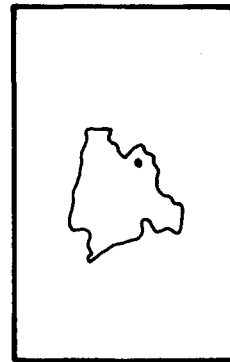
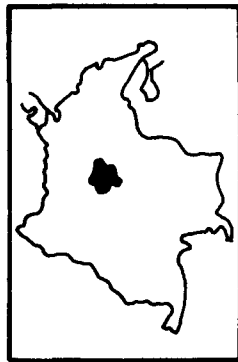
Las masas de material detrítico formaron una represa natural que detuvo la corriente de agua; poco a poco se formó la Laguna y llenó las ensenadas originadas por el levantamiento de la cordillera. En el sector ocupado por la represa descrita, el valle es angosto, lo cual permitió la acumulación rápida de los sedimentos requeridos para obstruir el paso de las aguas de deshielos y cuya única salida posible era el cauce del río Suárez. De modo que, resumiendo, el origen de la Laguna se explica por la acción conjunta de la glaciación y la presencia de una fosa tectónica (IGAC, 1965).

En el Valle de Ubaté afloran rocas sedimentarias del Cretáceo y del Terciario además de sedimentos inconsolidados del Cuaternario (fig. 2b). DE SPEELMAN (1982), observa que en la región del Valle de Ubaté existen dos ambientes de deposición estratigráfica, marina y continental. El Cretáceo se caracteriza por presentar un ambiente marino con variaciones en los niveles de influencia que van desde poco profundo pasando por sublitoral hasta plataforma continental que se caracteriza además por presentar una composición de areniscas y arcillolitas principalmente.

A finales del Cretáceo e inicios del Terciario (Formación Guaduas) se presenta una transición de ambientes de deposición del medio marino al continental fluvial. Posteriormente desde el Paleoceno al Holoceno el ambiente de deposición es continental produciendo variaciones en la composición litológica de las diferentes formaciones.

Las diferentes unidades estratigráficas presentan acuíferos y acuitardos que influyen en la hidroquímica de las aguas superficiales del Valle de Ubaté. De acuerdo con DE SPEELMAN (1982), las aguas subterráneas son de tipo bicarbonatada, clorurada, sulfatada, magnésica con calcio, magnesio o sodio como catión principal. Su conductividad oscila entre 54 y 8.000 mho/cm a 28°C, valores de dureza total entre 22 y 3.000 ppm, y presentan altos valores de Fe (0.02 a 155 ppm).

VAN DER HAMMEN y VAN GEEL (1982), analizan la secuencia vegetacional y climática de la Cordillera Oriental desde el Pleniglacial medio hasta el Holoceno, y registran las variaciones en el nivel de la Laguna, ocasionadas por el aumento en la precipitación, las variaciones en la temperatura y las deposiciones volcánicas periódicas. El estudio de



Escala 1:1000.000

FIGURA 1. Ubicación geográfica de la Laguna de Fúquene.

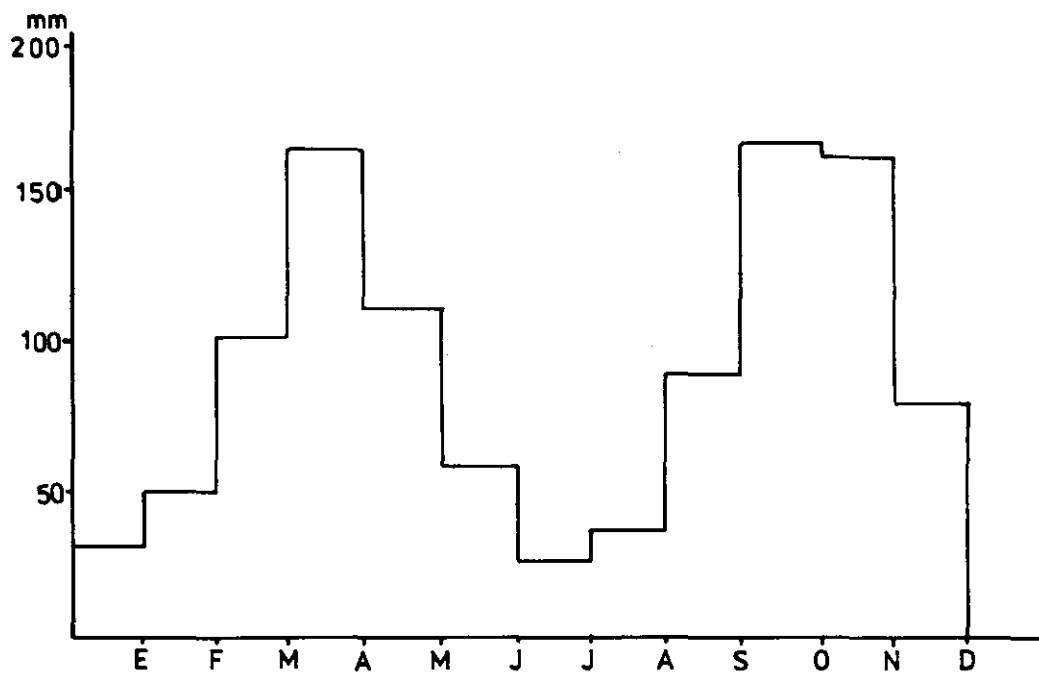


FIG. 2 a

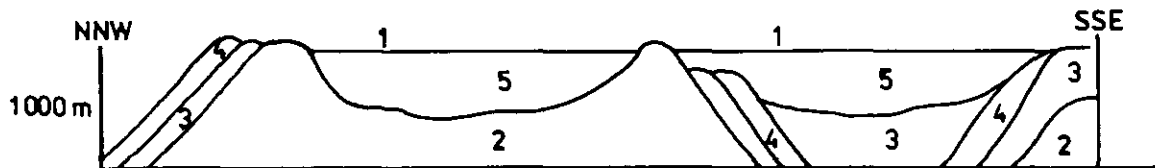


FIG. 2 b

- | | |
|---|--|
| 1 | Laguna de Fúquene |
| 2 | Formación San Gil |
| 3 | Formación arenisca de Chiquinquirá |
| 4 | Formación arenisca de Chiquinquirá medio |
| 5 | Depósito cuaternario lacustre. |

FIGURA 2 a. Precipitación media mensual (1966 - 1978) de la estación isla del Santuario, Laguna de Fúquene (datos según Serrano y Jousma 1980).

FIGURA 2 b. Corte geológico del sector de la Laguna de Fúquene. Según De Speelman. 1982.

las unidades estratigráficas por los autores mencionados, permitió evaluar la historia de ciertas poblaciones de algas predominantes. Así, se presentaron temporalmente considerables aumentos de las poblaciones de *Pediastrum sp* indicativos de la eutrofización de las aguas y el predominio en el Tardiglacial de *Coelastrum reticulatum*, debido a aumentos en la temperatura.

La Laguna de Fúquene es el elemento principal del sistema hidrográfico del Valle de Ubaté - Chiquinquirá. Los ríos Lenguazaque, Suta y Ubaté, desembocan en el costado Sur de la Laguna, después de reunir las aguas de numerosas quebradas y arroyos; en tanto que los vallados Madre y Mariño y las quebradas Tagua, Monroy y La Chorrera desaguan por el sector Oriental. El río Fúquene y la quebrada de La Rosa vierten sus aguas por el costado Occidental. El río Saravita o Suárez nace en la Laguna y constituye el único desagüe natural (Fig. 1).

El sistema hidrográfico del Valle de Ubaté se caracteriza particularmente por la elevación general de fondos (lechos fluvial y lacustre), lo cual determina la necesidad de utilizar compuertas para asegurar la regulación de las corrientes y caudales, antes de su desembocadura en la Laguna de Fúquene (CAR, 1979a). Las compuertas permanecen abiertas en sequía y cerradas en tiempo de lluvias (CAR, 1979a).

De acuerdo con los estudios realizados por CAR (1979a) y CAR (1974) el tiempo de retención hidráulica de la Laguna es de 6 a 9 meses.

El paso del cinturón de convergencia intertropical determina el régimen bimodal de lluvias, distribuidas en dos períodos húmedos (marzo a junio y septiembre a noviembre) y dos períodos secos (julio-agosto y diciembre a febrero) característico del clima de la Laguna. (Fig. 2a.).

La temperatura promedio del Valle es de 12-13°C y la precipitación promedio de 1.053 mm. Sin embargo, en el sector Sur, la precipitación es de 700 mm y en el sector Norte de hasta 1.300 mm (Fig. 3). Además, la condición de valle transversal causa variaciones locales en el clima.

Los suelos de las áreas circundantes de la Laguna corresponden a dos series. La zona Oriental donde predominan los relieves planos, se presenta la SERIE LAGUNA, conformada por suelos ácidos con buen drenaje y alta salinidad. En el Noreste se encuentra la SERIE TIERRA PANTANOSA, conformada por antiguos lechos de la Laguna, ahora en proceso de desecación que aún permanecen húmedos durante todo el año. (IGAC, 1965).

METODOLOGIA

La ubicación de las seis estaciones de muestreo se hizo con base en observaciones preliminares que abarcaron todo el cuerpo de aguas libres de la Laguna, teniendo en cuenta los siguientes parámetros distintivos: O₂, CO₂, pH, conductividad, transparencia y composición cualitativa del fitoplancton de acuerdo con las recomendaciones dadas por CASTAGNINO, (1982) y SALAS, (1983). (Fig. 3).

En cada estación se tomaron muestras para análisis biológico, tanto en la superficie como a 40 cm de profundidad, utilizando una botella Kemmerer de un litro de capacidad. Simultáneamente, se tomaron en el campo datos de temperatura superficial (°C), pH con un equipo Corning Meter pH 125, O₂ en ppm por el método Winkler (GREESON, 1979). Así mismo, dos muestras para efectuar análisis físico-químicos, en el laboratorio. Para la determinación de nitrógeno amoniacal se preservó una de las dos muestras a 4°C a la cual se le añadió H₂SO₄ concentrado, con el fin de obtener un pH inferior a 2 y asegurar de este modo la ausencia de fosfatos (APHA, 1963; CASTAGNINO, 1982). La otra muestra también refrigerada se utilizó para determinar la acidez, alcalinidad total, cloruros, conductividad, CO₂, dureza total debida al CaCO₃, fósforo total, Nitrógeno-Nitrito, Silicio, Sulfatos y D.B.O. Los análisis de las muestras se efectuaron dentro de las 24 horas siguientes a su recolección empleando los métodos estandarizados por APHA (1963). En las mismas estaciones se tomaron muestras de Erlenmeyer esterilizados para conteo total y fecal en placa y tubo de sedimentación, (GREESON, 1979). Con el objeto de complementar los análisis bacteriológico y de D.B.O., se colectaron muestras en el río Ubaté, 10 km antes de su desembocadura en la Laguna.

Las muestras de fitoplancton se fijaron en una solución de formol al 4% con lugol (0.5 ml de solución por 100 ml de muestra) y ácido acético al 70% (LUND *et al*, 1958). Las muestras de zooplankton se fijaron en una solución de formol al 3%. Los macrófitos se recogieron y montaron de acuerdo con las recomendaciones dadas por FORERO (1977).

Las diatomeas se limpiaron con el método de oxidación con KMnO₄ y H₂O₂ (FERNANDEZ, 1982), antes del estudio microscópico para la identificación. Las especies filamentosas se cultivaron en medio Bristol y Chu para facilitar la identificación (FOGG, 1965).

El análisis cuantitativo de las muestras de fitoplancton se efectuó con el método del microscopio invertido, observando de 5 a 20 ml de muestra sobre toda la cámara de sedimentación a fin de no

- CONVENCIONES**
- Contorno de la laguna
 - ▨ Isla Santuario y zona pantanosa.
 - Estación de muestreo
 - Isoyetas
 - == Carretera
 - ~ Ríos

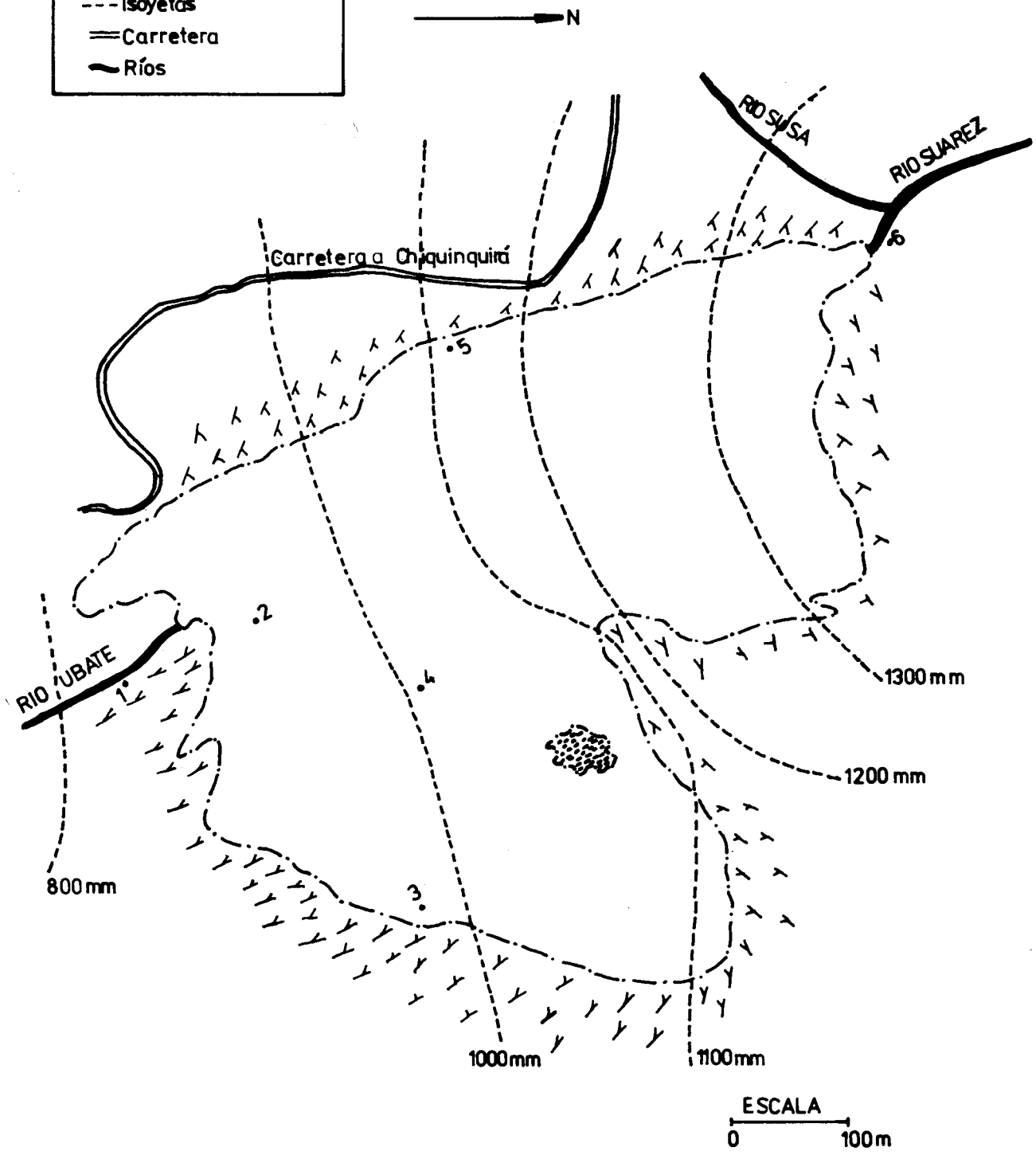


FIGURA 3. Mapa de la Laguna de Fúquene: Se indican los sitios de muestreo E₁..., y las isoyetas. Tomado de Nassar (1979).

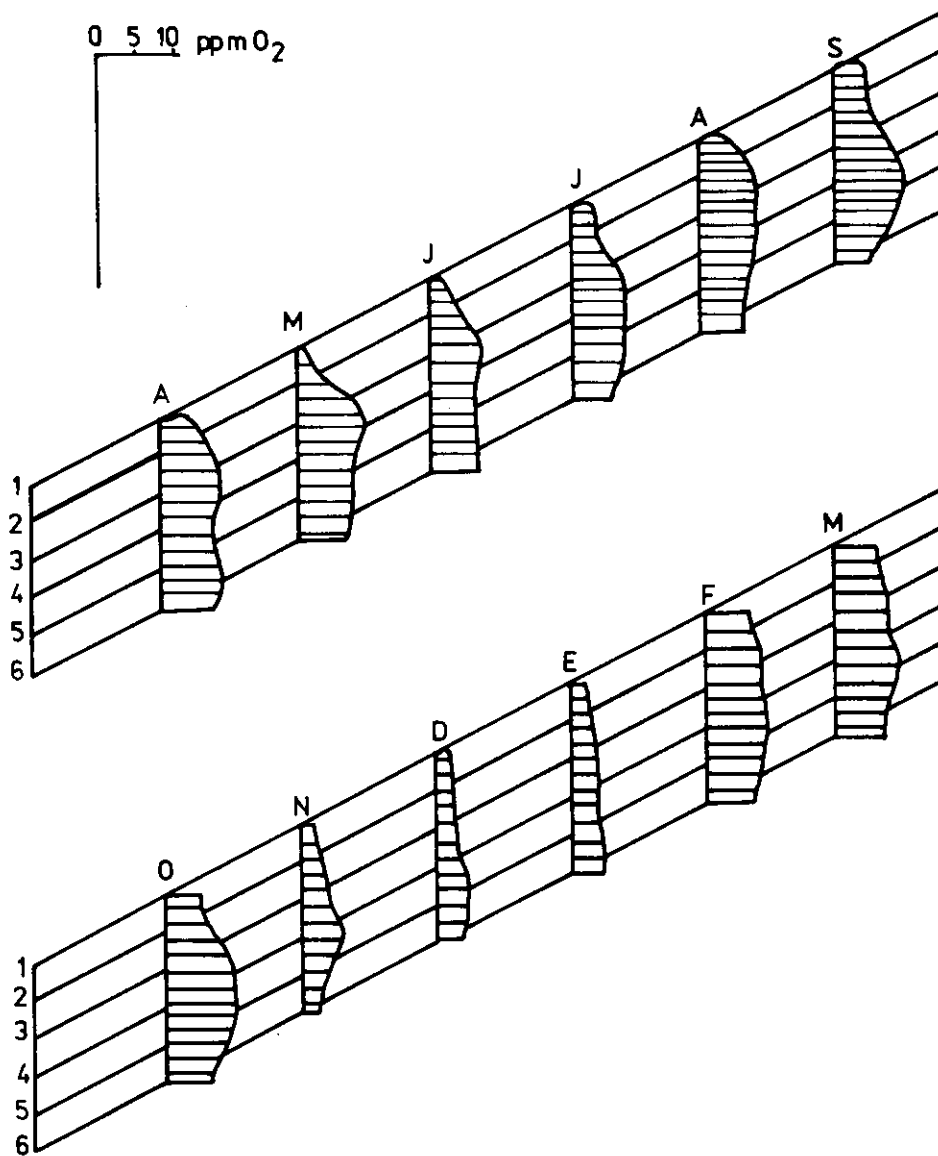


FIGURA 4. Variación de la concentración de oxígeno disuelto (ppm) durante los doce meses de muestreo (eje diagonal) en las seis estaciones (eje vertical) de la Laguna de Fúquene.

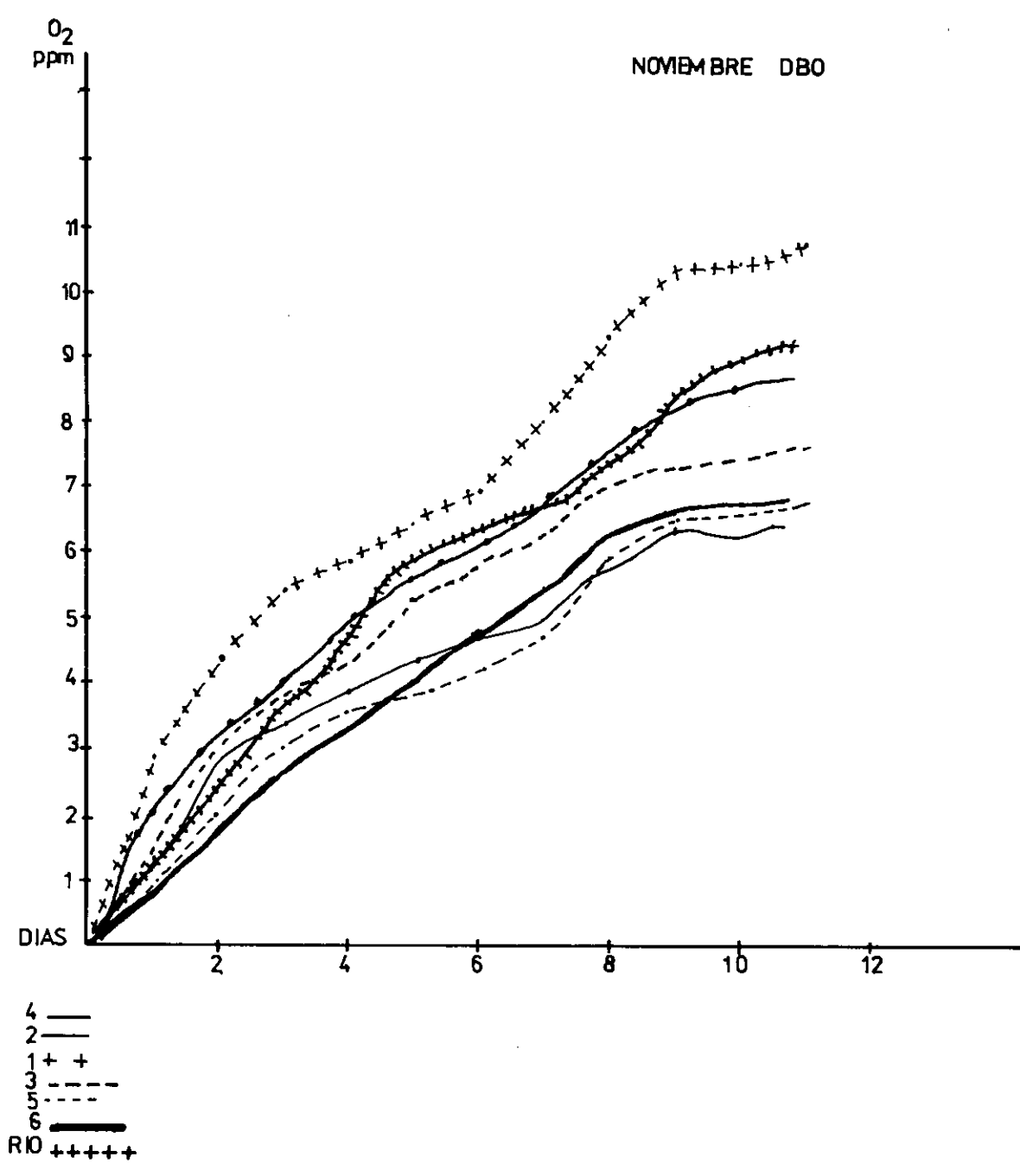


FIGURA 5. Valores en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por consumo de oxígeno (ppm) para las seis estaciones de muestreo y el río Ubaté en el mes de noviembre (1984) correspondiente a la época lluviosa.

sobrepasar el 10% de error en el límite de confiabilidad de 0,95 (LUND ET AL, 1958). Las algas filamentosas y/o coloniales se tomaron como un solo individuo, anotando el promedio de células por organismo en estas especies.

Para el análisis e interpretación de los datos se utilizaron técnicas de información para la diversidad (MARGALEF, 1957), y métodos de ordenación (CLIFFORD y STEPHENSON, 1975), mediante la elaboración de los respectivos algoritmos y posterior corrida en el Centro y Procesamiento de Información de la Universidad Nacional.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características Físico-Químicas

Las condiciones específicas de la cuenca del Valle de Ubaté se reflejan en las aguas de la Laguna de Fúquene principalmente a través del aporte de materia orgánica (utilización de fertilizantes en los cultivos agrícolas y presencia de aguas negras provenientes de los asentamientos humanos) y materia inorgánica (excesiva erosión, ocasionada por la disminución de la cobertura vegetal). Las variaciones en las concentraciones de Oxígeno disuelto (Fig. 4) muestran las diferentes formas de uso humano y el estado actual de los ecosistemas que inciden en la composición de las comunidades biológicas presentes en la Laguna. La figura muestra cómo las fluctuaciones en la entrada de sustancias alóctonas provenientes de la cuenca producen las variaciones en las concentraciones de Oxígeno disuelto en la Laguna. Así entre los meses de noviembre y enero se encuentran los menores valores puesto que el período más lluvioso comprende los meses de noviembre-diciembre y su efecto se extiende hasta enero. Pero la concentración de O_2 no es uniforme en todo el cuerpo de la Laguna, sino que varía espacialmente. Así la estación 4 (zona limnética), posee los valores más cercanos a la saturación (7.42 mg/lt, calculada según la fórmula de GOLTERMAN Y CLYMO, 1971). En contraste, las estaciones 1 y 2 presentan las concentraciones menores de Oxígeno disuelto, debido al consumo de Oxígeno en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Los valores de la D.B.O. obtenidos durante el mes de noviembre (Fig. 5, mes lluvioso) y en el mes de febrero (Fig. 6, mes seco) corroboran esta explicación.

Según MARGALEF (1983), las variables que muestran alta correlación positiva con la conductividad se consideran de proporcionalidad constante, ya que sus cambios son en cierto grado independientes de la actividad biológica y dependen, más que todo, de las características hidrogeológicas de la cuenca. El conjunto de estas variables caracteriza la composición mineralógica de la cuenca y, a la vez, refleja la composición química de las aguas subterráneas del Valle de Ubaté.

En la figura 7b, se muestran las variaciones de la dureza total expresada en forma de carbonato de calcio. Tales variaciones son apropiadas para apreciar la variación de la conductividad. Así mismo las variaciones del silicio, de los cloruros, y de los sulfatos, hacen ver tal variación, aunque en menor grado.

En la figura 8, se aprecia la alta correlación encontrada entre la concentración del CO_2 y la acidez total, que, como se sabe, mide la cantidad de equivalentes de iones de H^+ necesarios para neutralizar los iones OH^- , y determina en forma indirecta la capacidad tampón que poseen las aguas de la Laguna de Fúquene, principalmente ocasionada por la alta concentración del ión bicarbonato en las aguas subterráneas de la Laguna. De esta forma se aprecia también el efecto que produce este ión en la variación del pH.

El fósforo y el nitrógeno intervienen intensamente en los procesos biológicos de la Laguna, por lo cual no presentan correlación positiva con respecto a la conductividad (Fig. 8); por la misma razón según MARGALEF (1983), se deben considerar como parámetros de proporcionalidad variable.

En la Laguna de Fúquene, de acuerdo con los resultados consignados en la figura 7a, durante los meses de mayo, enero y marzo disminuye la relación N/P; mientras que durante los meses de julio, septiembre, octubre, noviembre y febrero ocurre lo contrario. Los demás meses del año mantienen aproximadamente la relación teórica esperada. Las variaciones de la relación N/P dependen del aumento de la concentración de amonio, procedente de la descomposición de la materia orgánica de la Laguna y del aumento del fósforo ocasionado por los procesos del lavado de los suelos y de las zonas agrícolas de la cuenca. De modo que sólo indirectamente las variaciones de la relación N/P dependen, de las épocas de lluvia y de sequía.

El sulfato posee valores altos en la Laguna, por estar presente en las aguas subterráneas.

Las aguas de la Laguna de Fúquene presentan valores altos de amonio, sulfato, fosfato, hierro, manganeso, mientras que los valores de oxígeno disuelto están por debajo de los establecidos en las normas internacionales para uso humano, como se observa en la tabla 1. Por lo tanto, las aguas de los ríos Ubaté, Suárez y de la Laguna de Fúquene pertenecen a la clase II (CAR, 1979b).

Resumiendo, la Laguna de Fúquene es un sistema sometido a tensión o eutrofización. Los efectos de la eutrofización se minimizan merced a los mecanismos de homeóstasis que posibilitan el surgimiento de circuitos alternos al flujo principal de la materia, que regulan las variables mayormente implicadas en el fenómeno de la eutrofización, como

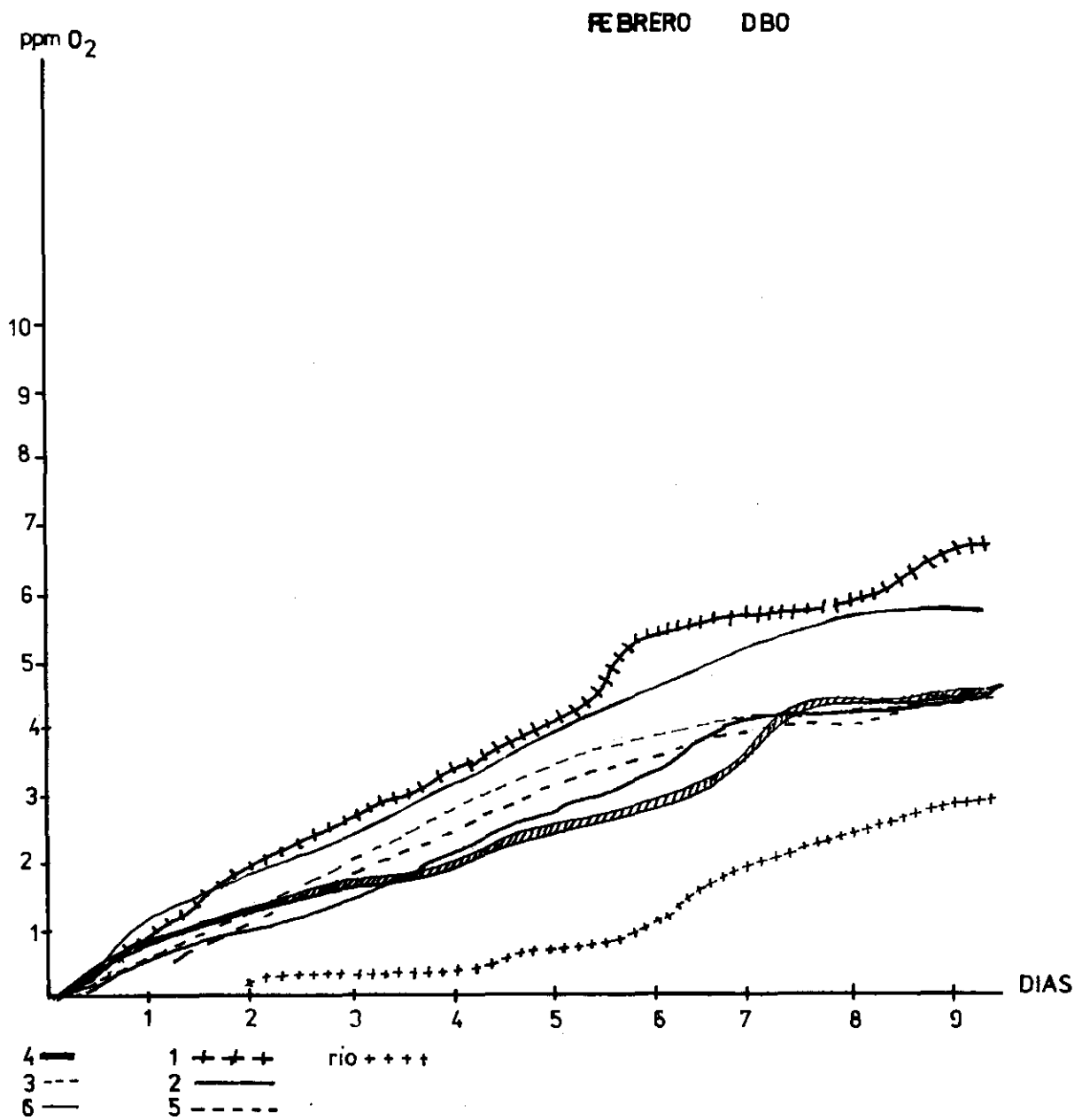


FIGURA 6. Valores en la demanda bioquímica de oxígeno (BDO) por consumo de oxígeno (ppm) para las seis estaciones de muestreo y el río Ubaté en el mes de febrero de 1985 correspondiente a la época seca.

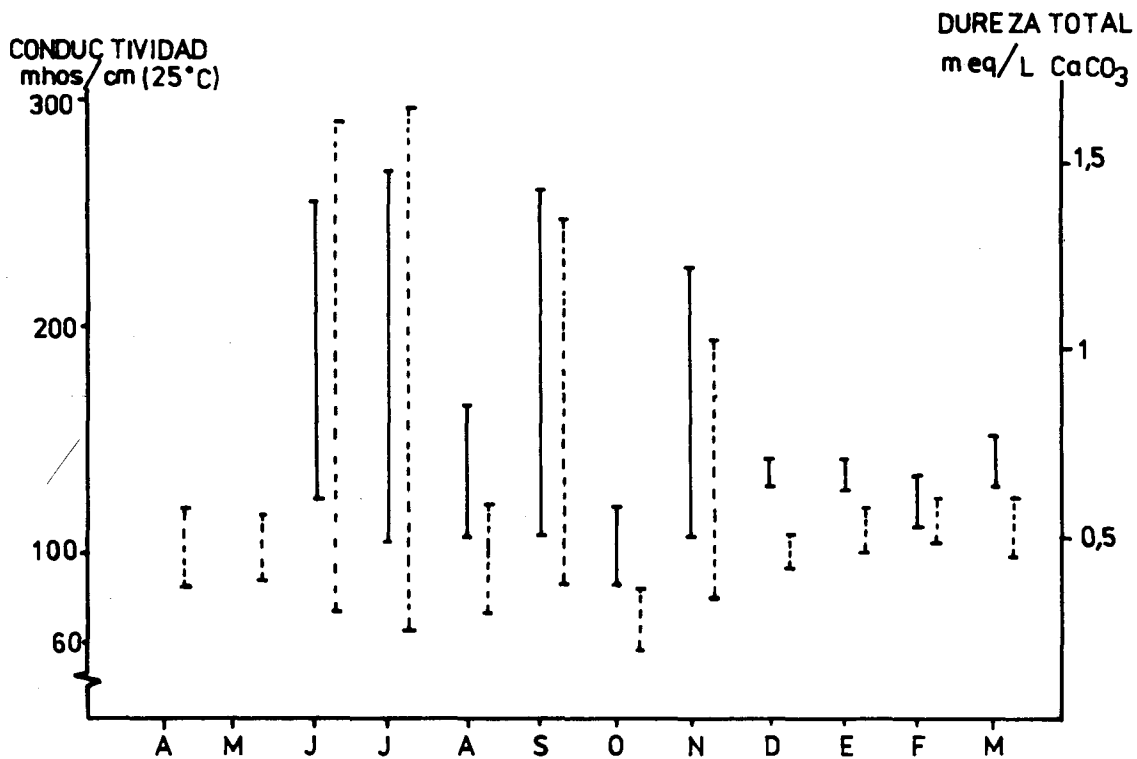
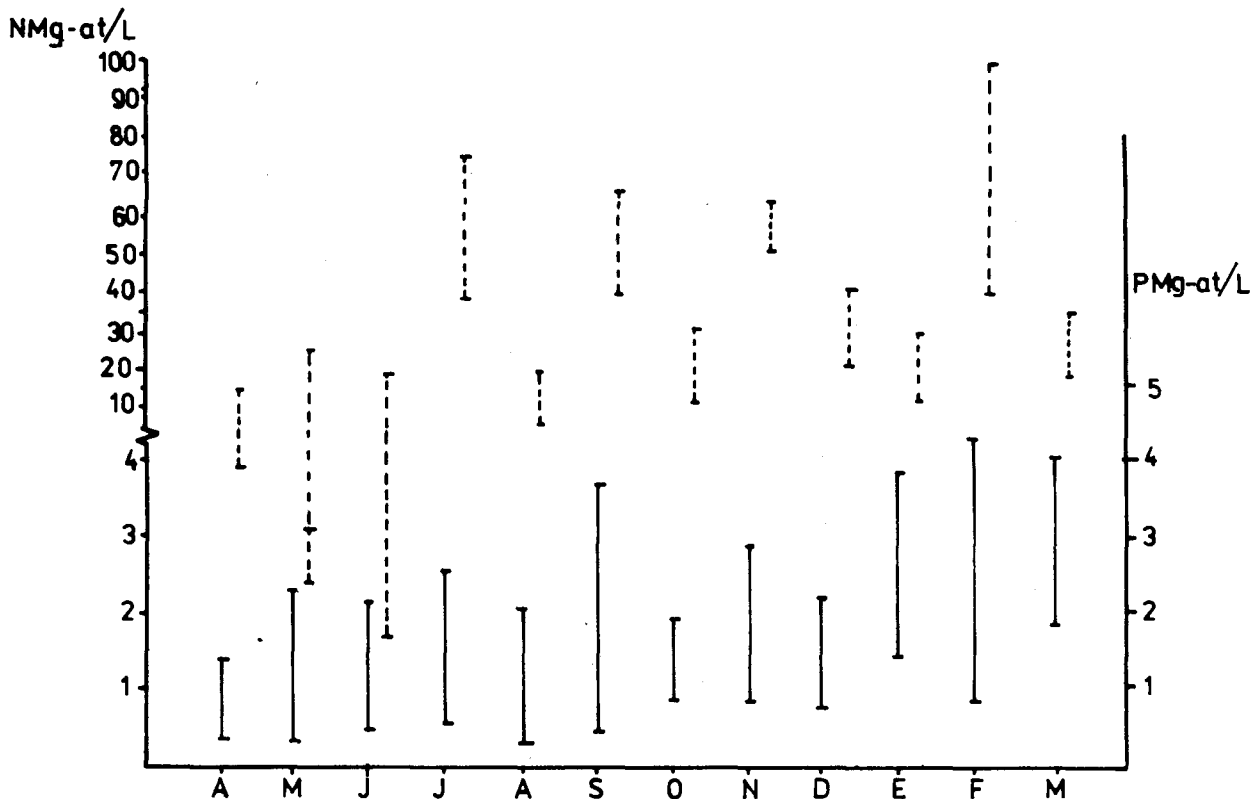


FIGURA 7

a- Rangos de variación para nitrógeno (-----) y fósforo (——) en Mg - at/L

b- Rangos de variación para la conductividad (-----) y la dureza total (——)

Para los doce meses de muestreo en la laguna de Fúquene.

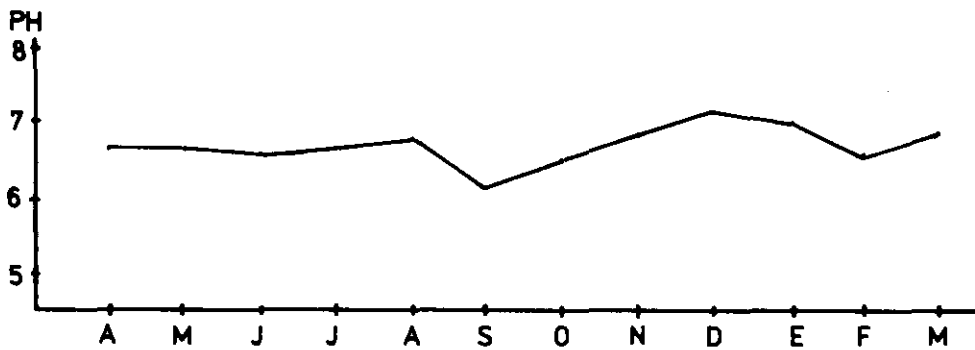
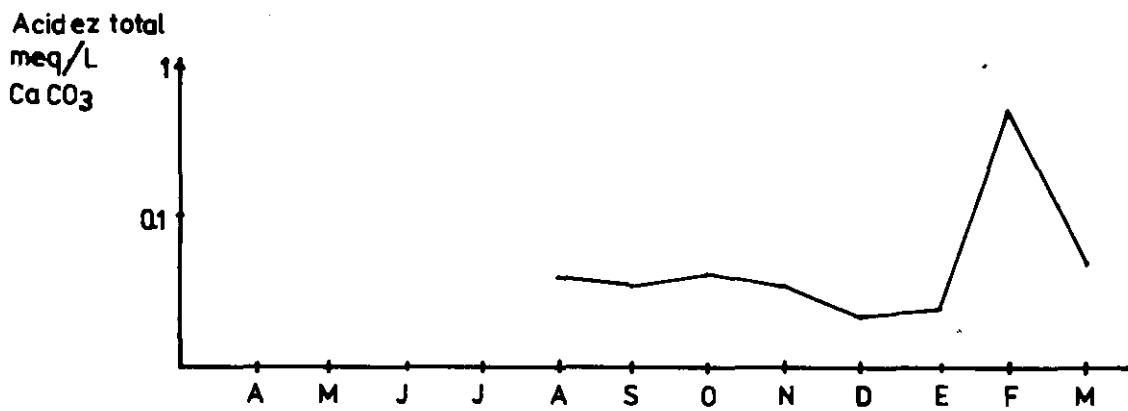


FIGURA 8. Variación en las concentraciones de CO₂ (ppm), acidez total (m-eq/L CaCO₃) y pH del promedio de la laguna de Fúquene.

TABLA 1. Rango de las Variables en la Laguna de Fúquene (en ppm), Comparados con las Normas Permisibles para uso Humano (en ppm).

<i>Variable</i>	<i>Laguna</i>	<i>Norma permisible</i>
O ₂	1-9	más de 5
pH	5-8	5-8
NO ₃	0.0-1.87	menos de 10
NO ₂	0.0-0.16	menos de 10
NH ₄	0.013-1.50	menos de 0.2
PO ₄	0.001-0.39	menos de 0.05
Dureza Total (CaCO ₃)	18-71	menos de 8 (Aguas blandas)
Acidez Total (CaCO ₃)	0.0-55.9	menos de 100
SO ₄	0.8-71.15	menos de 50
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	7.2-43.39	menos de 50
CL	5.4-28.8	menos de 250
SiO ₂	0.0-52	menos de 100
Conductividad (Mmhos/ cmaa 25° c)	60-297.5	menos de 250
*Fe	7-8	menos de 0.3
*Mn	0.2-0.5	menos de 0.3
*Mg	40	menos de 0.5

* Tomado de CAR, 1974.

lo ha demostrado SCHINDLER (1977). Tales circuitos para el nitrógeno son los siguientes:

Aguas libres ⇌ Sedimento ⇌ Atmósfera

Y para el fósforo: Agua libres ⇌ Sedimento

Como es bien sabido, el papel regulador de estos circuitos alternos ha sido objeto de comentarios por parte de MARGALEF (1983).

En el esquema se resumen los fenómenos de regulación creados por el sistema Laguna de Fúquene para los ciclos de N y P, y las reacciones de las respectivas comunidades biológicas de la Laguna.

Las condiciones hidroquímicas de la Laguna de Fúquene favorecen la insolubilización y precipitación del fósforo en el sedimento, debido principalmente a las altas concentraciones de Ca y Fe presentes en el medio. Sin embargo, el fósforo atrapado en el sedimento puede retornar al medio como el resultado de fenómenos físico-químicos o biológicos. Lo primero ocurre cuando las aguas intersticiales, en contacto con el sedimento, son reductoras y por lo tanto tienden a liberar el fósforo. Tal tendencia es mayor en el caso del fosfato férrico que en el del fosfato cálcico (PATRICK y KALID, 1974).

Por otra parte, la ubicación geográfica de la Laguna con respecto al Valle de Ubaté, sobre el eje N-S, favorece la marcada influencia del viento, en cuanto que éste impide la segregación de capas (estratificación) por diferencia de densidad, debido a la temperatura reinante promedio (15°C), permitiendo de esta forma que la mezcla de las aguas llegue hasta el sedimento y se recicle nuevamente el fósforo atrapado.

También los procesos biológicos, en la Laguna de Fúquene, cumplen papel preponderante en el retorno del fósforo al medio. La vegetación de la zona litoral ejerce gran influencia en la dinámica del ecosistema de la Laguna, en cuanto constituye un sistema de transporte activo de nutrientes, entre el sedimento y el agua, que contrarresta la tendencia natural hacia la condición oligotrófica. Según MARGALEF (1983), los macrófitos desempeñan papel preponderante en la renovación del fósforo, aunque la lentitud de su descomposición determina que la velocidad de retorno del P a las aguas libres, sea lenta; más lenta inclusive que por la vía dentrítica. MITCHELL (1974) acepta parcialmente esta tesis, pero se aparta de ella en cuanto que, en términos cuantitativos, de todos modos los macrófitos aportan el 60% del C y demás nutrientes, entre otros el P, a las aguas libres. O sea que su aporte es mayor incluso que el de la vegetación terrestre.

La liberación de P por los macrófitos, representa una fuente adicional neta de este elemento para la zona litoral; y así, los organismos que viven allí, es decir, los que conforman las comunidades tico o tetoplanctónicas, perifíticas y bénticas son favorecidas por la diversificación de los nichos presentes (MITCHELL op. cit.; CARIGNAN y KALFF, 1982). Esto refuerza aún más la tesis, planteada en este trabajo, según la cual la comunidad de macrófitos y el fitoplancton del litoral cumplen papel significativo en la biología y funcionamiento de la Laguna de Fúquene.

La población de carpas (*Cyprinus carpio*) presente en la Laguna de Fúquene incrementa los procesos de circulación del fósforo del sedimento, ya sea removiéndolo, aumentando el oxígeno o produciendo cambios en los gradientes de pH y potencial redox, principalmente (MURPHY, 1962).

En el caso del Nitrógeno, el ciclo alterno: Laguna ⇌ atmósfera hace más difícil el manejo de este nutriente, por ejemplo, cuando se trata de regular procesos de eutrofización (SCHINDLER, 1977). Como es bien sabido, este fenómeno descrito como desnitrificación y/o fijación de nitrógeno ocurre principalmente cuando predominan en el medio los procesos de reducción que inducen alta degradación y bajos niveles de oxígeno disuelto. En la Laguna de Fúquene las condiciones predominantes y la gran cantidad de materia orgánica y arcillas presentes en los sedimentos disminuyen la dispo-

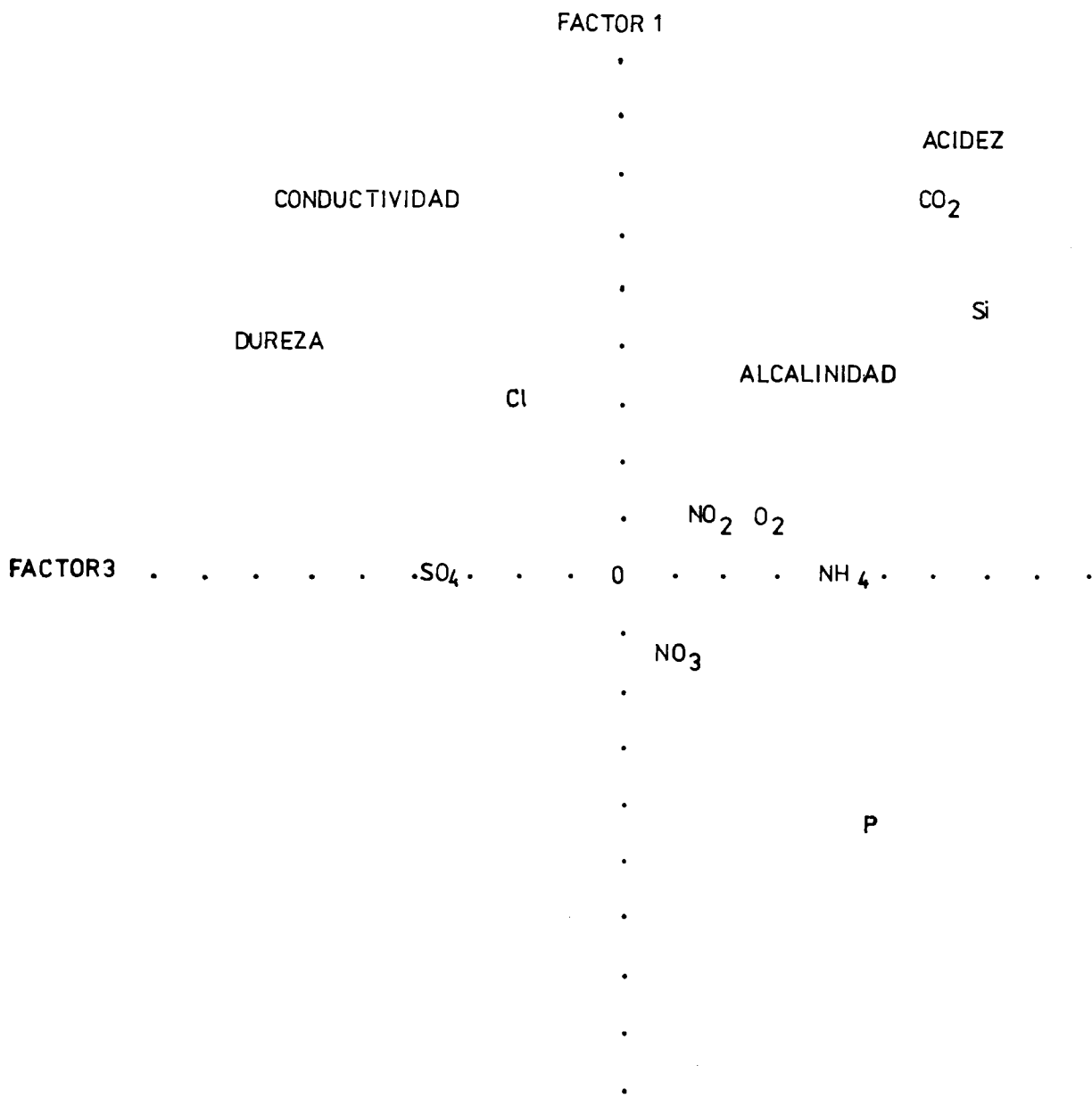


FIGURA 9. Componente principal (primer y tercer factor 0.39 y 0.22 de explicación) : con base a las correlaciones de la tabla 3 de los parámetros físico-químicos en la Laguna de Fúquene.

bilidad de nitrógeno para las comunidades vegetales, especialmente en las estaciones 1 y 2, donde la concentración de oxígeno disuelto decrece fuertemente y el proceso de desnitrificación aumenta. Las algas cianófitas y las bacterias, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico, que abundan en la Laguna de Fúquene, disponen, bajo tales condiciones, del medio más favorable para su desarrollo. Sin embargo, para la fijación del nitrógeno atmosférico, se requiere que ocurran entre otras, la formación de cámaras anaeróbicas en los heterocistes y en las células vegetativas. Pero aún bajo condiciones óptimas la fijación del N, no llegaría a ser un fenómeno evidente y generalizado en la Laguna, ya que de acuerdo con FOGG (1971), solamente representaría el 1% del nitrógeno total disponible en el medio.

Más aún, es probable que las bacterias jueguen un papel más decisivo que las Cianofíceas en la fijación del N. Por todo lo anterior, en este trabajo se plantea la hipótesis, según la cual, la gran abundancia de Cianofíceas en la Laguna de Fúquene debe estar más relacionada con los procesos de nutrición heterotrófica que con la fijación del nitrógeno atmosférico. De ser así, las Cianofíceas presentes en la Laguna satisfacerían las necesidades de nitrógeno, aprovechando otras fuentes alternas. FOGG *et al* (1973) y SHILO (1980) encontraron que las algas azul-verdosas, aprovechan como fuente alterna de nitrógeno, el amonio albuminoide. En desarrollo del presente trabajo también se confirmó el aprovechamiento de esta misma fuente por la comunidad de neuston presente en la Laguna.

Características Biológicas

FITOPLANCTON

Como resultado del presente estudio se registraron 57 especies de algas, de las cuales 26, son nuevos registros para Colombia, según se desprende de la tabla 2 (WETS, 1914; TAYLOR, 1935; MOLINA, 1983). Entre los nuevos registros, se incluye también *Staurastrum volans* var. *fuquenense*, presente en la Laguna (COESEL, DONATO y DUQUE, en prensa).

Las especies de algas de la Laguna de Fúquene conforman una comunidad fitoplanctónica producto de la convivencia de organismos de diferente origen, superpuestos en el mismo espacio (cuerpo limnético). En la tabla 3 aparecen 27 especies pertenecientes al euplancton, 10 al neuston 4 al tico-plancton (tetoplancton para MARGALEF, 1983) y 16 al perifiton-bentos.

La diferenciación espacial de las comunidades del fitoplancton de la Laguna, condiciona la particular distribución de las estaciones y subestaciones de muestreo, cuya ubicación se indica en la figura 10. Así, la presencia de macrófitos favorece la diversifi-

TABLA 2. Taxonomía de la Comunidad de Fitoplancton encontrada en la Laguna de Fúquene. (Fritsch, 1977); Fernández 1982; Lewin y Gibbs, 1981).

* Primer reporte para Colombia.

** Primer reporte para Sur América.

C = Clase O = Orden F = Familia

- C. Cyanophyceae
 - O. Chroococcales
 - F. Chroococcaceae
 - * *Aphanocapsa delicatissima* West & West
 - Chroococcus turgidus* (Kütz) Näg
 - Gloeocapsa* sp
 - Microcystis aeruginosa* Kütz
 - O. Nostocales
 - F. Oscillatoriaceae
 - Oscillatoria* sp
 - Porphyrosiphon* sp
 - F. Nostocaceae
 - * *Anabaina (Anabaena) circinalis* Rabenhorst
 - Anabaina* sp1
 - Anabaina* sp2.
- C. Chlorophyceae
 - O. Volvocales
 - F. Volvocaceae
 - Eudorina elegans* Ehr.
 - F. Palmellaceae
 - Sphaerocystis* sp.
 - O. Chlorococcales
 - F. Characiaceae
 - Characium* sp
 - F. Oocystaceae
 - Oocystis* sp
 - F. Dictyosphaeriaceae
 - Dictyosphaerium pulchellum* Wood
 - F. Hydrodictyaceae
 - Pediastrum boryanum* (Turp) Menegh
 - Pediastrum duplex* Meyen
 - F. Scenedesmaceae
 - Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb
 - * *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh) Chodat
 - Scenedesmus denticulatus* Lag.
 - Scenedesmus arcuatus* Lemm.
 - * *Scenedesmus ecornis*
 - * *Scenedesmus abundans* (Kirch) Chodat
 - F. Botryococcaceae
 - Botryococcus braunii* Kütz
 - O. Oedogoniales
 - F. Oedogoniaceae
 - Oedogonium* sp
 - O. Conjugales
 - F. Zygnemaceae (Zygnemataceae)
 - Zygnema* sp
 - Spirogyra* sp
 - F. Mougeotiaceae
 - Mougeotia* sp
 - F. Desmidiaceae
 - * *Closterium limneticum* Lemm.
 - * *Closterium acutum* Bréb

- * *Staurodesmus lobatus* var. *ellipticus* forma *minor*
(Sinonimo: *Cosmarium contactum* var. *papollatum*)
- * *Staurodesmus dejectus* (bréb) Teil
- * *Cosmarium punctulatum* Bfeb
- * *Staurastrum chaetoceras* (Schröd) Smith
- ** *Staurastrum volans* W & G. S. West

C. Xanthophyceae

- O. Heterochloridales
- F. Heterochloridaceae
- Pleurochloris* sp

C. Bacillariophyceae

- O. Centrales
- F. Coscinodiscaceae
- * *Cyclotella bodanica* Eulens
- * *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs
- Melosira italica* Kütz
- O. Pennales
- F. Fragilariaceae
- * *Fragilaria construens* (Ehr.) Grun
- Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz
- F. Naviculaceae
- * *Navicula capitata* Ehr.
- Navicula rhynchoncephala* Kütz
- Navicula* sp
- F. Cymbellaceae
- * *Cymbella ventricosa* Kütz
- F. Gomphonemaceae
- Gomphonema parvulum* (Kütz) Grun
- F. Epithemiaceae
- * *Epithemia zebra* (Ehr.) Kütz

C. Euglenophyceae

- F. Euglenaceae
- * *Euglena acus* Ehr.
- * *Euglena oxyuris* Schmarda
- * *Euglena elastica* Prescott
- * *Euglena gracilis* Klebs
- Euglena* sp
- * *Trachelomonas hispida* (Perty) Stein
- * *Trachelomonas armata* (Ehr.) Stein
- * *Trachelomonas acanthophora* Stokes
- Leponcinclis* sp
- * *Phacus triqueter* (Ehr.) Duj.
- * *Phacus longicauda* (Ehr.) Duj.

l de la figura. Los procesos dinámicos de utilización y degradación de la materia orgánica, se observaron en las estaciones de los grupos 2 y 3.

Tal como muestra la misma figura, las subestaciones situadas a 40 cm de profundidad presentan mayor abundancia de organismos, debido a la turbulencia que desplaza a las comunidades a zonas más profundas. La sedimentación pasiva favorece la concentración de organismos en capas sub-superficiales, como ya fuera observado en otros sitios por otros autores (MURPHY, 1962; TITMAN y KILHAM, 1976). Además, parece que la reproducción es favorecida por condiciones de baja intensidad lumínica de acuerdo con MARGALEF (1978a); ya que entonces los procesos de fotooxidación (inhibición fotosintética por saturación de los centros de reacción de las moléculas de clorofila) son menores de acuerdo con MURPHY (op. cit.) y SHILO (1980).

En la Laguna de Fúquene, se distinguen tres grandes grupos de organismos del fitoplancton con respecto al manejo del fósforo.

El primer grupo está conformado por *Scenedesmus* spp, *Microcystis aeruginosa*, *Pediastrum* spp, *Cosmarium* spp y Diatomeas penales, organismos que toman rápidamente el P en cantidad excesiva, cuando está disponible y lo convierten en polifosfatos. Este comportamiento les permite multiplicarse con relativa rapidez; sin embargo, excretan al medio reducidas cantidades de P, por lo cual su contribución a la renovación de este elemento es baja. Por esto mismo no son buenos indicadores del P presente en el medio, como ha sido ya mencionado por OWENS y ESAJAS (1976) en su revisión sobre el significado fisiológico de los principales factores que influyen sobre la biología de las algas.

El segundo grupo está conformado por las Diatomeas centrales cuplanctónicas, tales como *Cyclotella bodanica* y las especies de *Melosira* presentes en la Laguna. Estas algas se multiplican rápidamente cuando hay aumento en la concentración de P disponible, y presentan altas tasas de renovación de fosfatos por ser permeables a estos compuestos. Por esta razón, son buenas indicadores de las concentraciones reales del P disponible en la Laguna de Fúquene. Ya LUND (1959) registró el mismo comportamiento de poblaciones de la especie *Melosira italica* en la utilización y dinámica del P interno, en el Lago Windermere (Gran Bretaña).

La velocidad de renovación del P en las células de las especies de *Anabaina* es intermedia, en cuanto toman fosfato rápidamente y en cantidad excesiva, pero en la misma medida, la tasa de excreción es alta.

La captación del P del medio depende del complejo enzimático que hidroliza los fosfatos or-

cación de hábitats en la zona litoral. Para poder observar esta diversificación, se estableció el conjunto formado por las estaciones y subestaciones: 1, 2, 3, 5 y 6 que se ubican cerca de la zona litoral. La estación 4 difiere notablemente por pertenecer a la zona limnética. El máximo influjo de materia orgánica alóctona por el río Ubaté caracteriza el grupo

TABLA 3. Tipos de Comunidades de los Organismos del Fitoplancton de la Laguna de Fúquene definidos de acuerdo con los criterios establecidos por Margalef (1983).

Comunidad	Organismos	Referencias
Euplanctónica	<i>Anabaina circinalis</i>	Margalef (1983); Lund (1959)
	<i>Anabaina sp1</i>	Margalef (1983); Lund (1959)
	<i>Anabaina sp2</i>	Margalef (1983); Lund (1959)
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	Fogg <i>et al</i> (1973); Margalef (1983)
	<i>Chroococcus turgidus</i>	Fogg <i>et al</i> (1973)
	<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	Fogg <i>et al</i> (1973); Fritsch (1977)
	<i>Gloeocapsa sp</i>	Fogg <i>et al</i> (1973)
	<i>Eudorina elegans</i>	Goldstein (1964)
	<i>Sphaerocystis sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Scenedesmus denticulatus</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Scenedesmus arcuatus</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Scenedesmus ecornis</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Scenedesmus abundans</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Oocystis sp</i>	Fritsch (1977); Margalef (1983)
	<i>Staurastrum volans</i>	Coesel (com. personal)
	<i>Stauroidesmus dejectus</i>	Coesel (com. personal)
	<i>Stauroidesmus lobatus</i> var. <i>ellipticus</i> forma <i>minor</i>	Coesel (com. personal)
<i>Closterium acutum</i>	Coesel (1979, com. personal)	
<i>Closterium limneticum</i>	Coesel (1979, com. personal)	
<i>Staurastrum chaetoceras</i>	Coesel (1979, com. personal)	
<i>Melosira italica</i>	Lund (1959); Margalef <i>et al</i> (1976)	
<i>Melosira granulata</i>	Lund (1959); Margalef <i>et al</i> (1976)	
<i>Cyclotella bodanica</i>	Lund (1959); Fritsch (1977)	
<i>Botryococcus braunii</i>	Margalef (1983)	
Neustónica	<i>Euglena acus</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Euglena elastica</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Euglena gracilis</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Euglena sp</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Leponcinclis sp</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Trachelomonas hispida</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Trachelomonas armata</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Trachelomonas acanthophora</i>	Margalef (1978 a 1983)
	<i>Phacus triqueter</i>	Margalef (1978 a 1983)
<i>Phacus longicauda</i>	Margalef (1978 a 1983)	
Tricoplanctónica	<i>Pediastrum duplex</i>	Margalef (1983) Donato y Duque (en prensa)
	<i>Pediastrum boryanum</i>	Margalef (1983)
	<i>Cosmarium punctulatum</i>	Coesel (1979, com. personal)
	<i>Pleurochloris sp</i>	Fritsch (1977)
Perifítica y Béntica	<i>Porphyrosiphon sp</i>	Fogg <i>et al</i> (1973)
	<i>Oscillatoria sp</i>	Fogg <i>et al</i> (1973)
	<i>Characium sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Spirogyra sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Mougeotia sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Zygnema sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Oedogonium sp</i>	Fritsch (1977)
	<i>Cymbella ventricosa</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981); Fritsch (1977)
	<i>Navicula capitata</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
	<i>Epithemia zebra</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
	<i>Gomphonema parvulum</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
	<i>Navicula rhynchoncephala</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
	<i>Tabellaria flocculosa</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
	<i>Fragilaria construens</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)
<i>Navicula sp1</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)	
<i>Navicula sp2</i>	Kuhn <i>et al</i> (1981)	

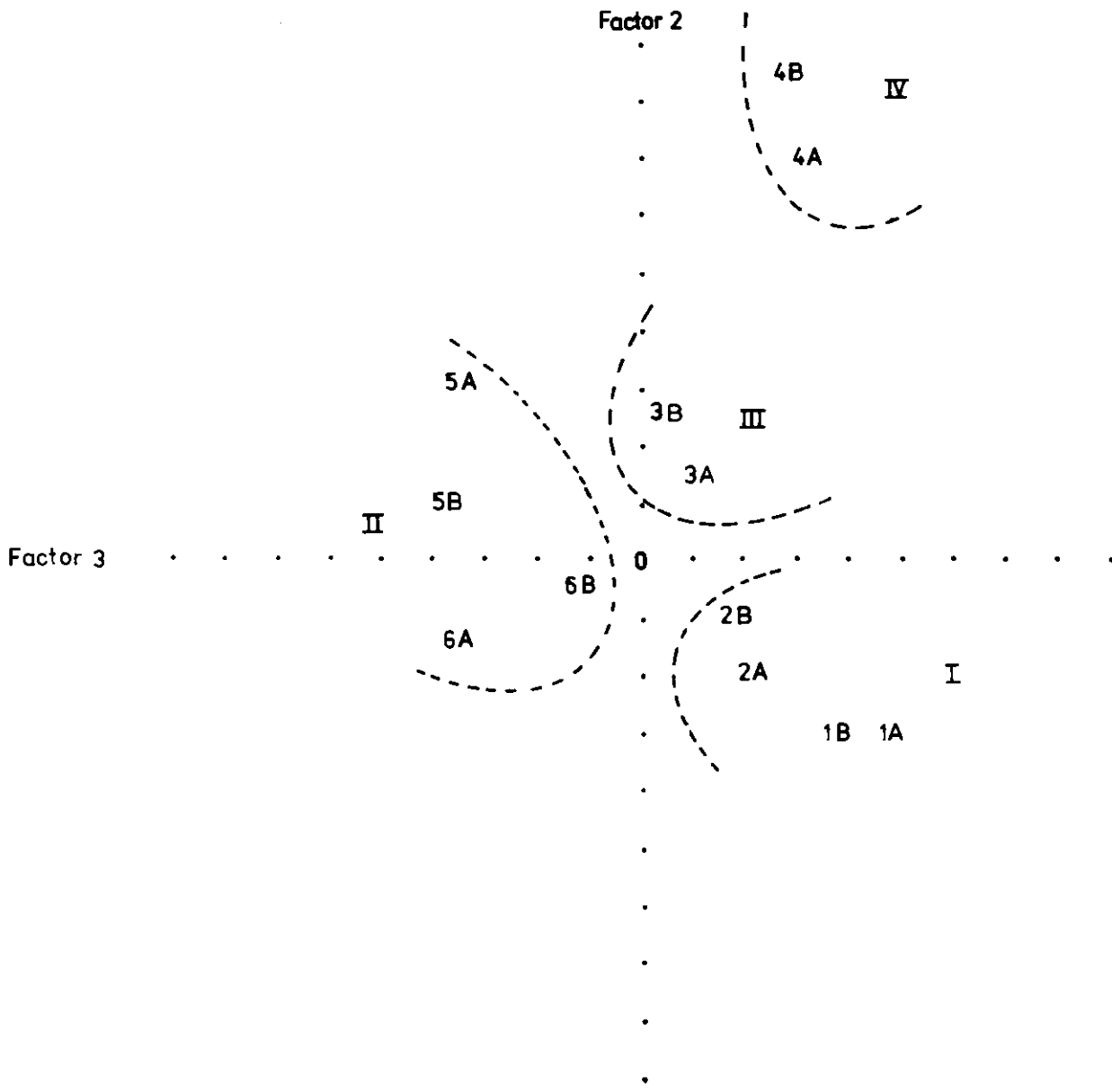


FIGURA 10. Componente principal (segundo y tercer factor 0.13 y 0.087 de explicación) de las correlaciones en las diferentes estaciones y subestaciones de la Laguna de Fúquene.

gánicos e inorgánicos y los convierte en la forma asimilable, es decir, en ortofosfatos (OWENS y ESAIAS, 1976; ELGAVISH *et al*, 1982). El complejo enzimático denominado fosfatasa alcalina, es sintetizado por las células cuando el medio carece del P disponible. De acuerdo con el grupo de algas, su activación es diferente. La mayor activación se presenta en las algas verdes, posteriormente en las algas verde-azuladas y por último en las diatomeas.

Los valores de fósforo total (disuelto y particulado) obtenidos en los diferentes muestreos en la Laguna de Fúquene fueron altos. Sin embargo, la disponibilidad real de fosfato para el fitoplancton depende de la magnitud de la fracción insoluble, de acuerdo con los mecanismos analizados anteriormente, y de la cantidad de fósforo disponible en forma de ortofosfatos.

A diferencia del fósforo, el nitrógeno se encuentra en varias formas, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , N_2 , urea, aminoácidos libres y péptidos pequeños. El estado más reducido es el preferido por los organismos, según OWENS y ESAIAS (1976).

Es bien sabido que para la captación del nitrógeno del medio existen sitios específicos en la membrana celular relacionados con el complejo enzimático ATPasa del cloruro. La captación es independiente de la concentración externa; depende de si los sitios específicos de penetración están o no saturados; lo cual, a la vez, está relacionado con el grado de agitación del agua que circunda la célula (OWENS y ESAIAS, op. cit.). Por lo tanto el nitrógeno externo no es necesariamente reflejo de las condiciones nutricionales de las algas con respecto a este elemento.

TABLA 4: Organismos encontrados en la Laguna de Fúquene, asociados a aguas eutróficas con alta o baja turbulencia.

Organismos	Referencia
<i>Microcystis aeruginosa</i>	Margalef, et al 1976
<i>Anabaina circinalis</i>	Lund, 1959
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	Margalef, et al 1976
<i>Pediastrum boryanum</i>	Margalef, et al 1976
<i>Pediastrum duplex</i>	Bellinger, 1979
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Bellinger, 1979
<i>Botryococcus braunii</i>	Díaz, et al 1984 Márquez, 1985
<i>Closterium limneticum</i>	Coesel, 1975, 1983b
<i>Closterium acutum</i>	Coesel, 1975, 1983b
<i>Staurastrum chaetoceras</i>	Coesel, 1975, 1983b
<i>Melosira granulata</i>	Margalef, 1983
<i>Melosira italica</i>	Lund, 1959
<i>Tabellaria flocculosa</i>	Kuhn, et al 1981
<i>Gomphonema parvulum</i>	Kuhn, et al 1981

Las condiciones de la Laguna de Fúquene, descritas anteriormente, determinan que, en general, la relación N/P sea alta. Esto se refleja también en la composición de la comunidad euplanctónica, donde el grupo principal, está constituido por las algas verde-azules.

En la tabla 4, se resumen los organismos encontrados en la Laguna de Fúquene, los cuales reflejan las características eutróficas y de turbulencia presentes en la Laguna.

ZOOPLANCTON

Características Biológicas

La comunidad zooplanctónica de la Laguna de Fúquene coincide con la de las aguas eutróficas, compuesta principalmente por rotíferos y en menor número cladóceros y copépodos. El grupo principal de rotíferos parece utilizar, como alimento principal, material detrítico más que plancton. Junto con las bacterias y los hongos, los rotíferos utilizan y descomponen la materia orgánica disuelta autóctona y alóctona. MARGALEF *et al* (1976), se refieren a estos organismos como la biomasa más considerable de los ecosistemas acuáticos tensionados, donde sus poblaciones presentan altas tasas de reproducción.

Si bien, en este trabajo, no se estudió cuantitativamente el zooplancton, aparentemente la afluencia de nutrientes no produce en la Laguna de Fúquene un aumento del zooplancton, a diferencia de lo que se observa en el fitoplancton. Esto se explica, si se tiene en cuenta que en el ecosistema estudiado los fenómenos de mezcla, turbulencia y sedimentación, minimizan los efectos máximos del pastoreo. Además, según HASLER y JONES (1948) los macrófitos litorales inhiben el zooplancton, especialmente los rotíferos.

BACTERIAS

Características Biológicas

En la tabla 5, se registran los valores obtenidos en las seis estaciones de muestreo, y en el río Ubaté, estación 7. En la Laguna abundan las bacterias del tipo Coli (240 col/100 ml), las que presentan alta correlación positiva con la materia orgánica disuelta (BELLINGER, 1979) y su distribución espacial varía en la Laguna, siendo mayor en la zona litoral (estaciones 1 y 6) y menor en las estaciones 5 y 3 y en la zona limnética, estación 4. En estos últimos sitios ocurren procesos de alta mineralización de la materia orgánica que dependen, principalmente, de la disponibilidad de oxígeno disuelto.

TABLA 5: Análisis Bacteriológico de las Estaciones de la Laguna de Fúquene y el Río Ubaté. (Estación 7).

	Conteo en Placa (colonias/mL A 35°C, 48H)	Coliformes Totales (N.M.P./100 mL)	Coliformes Fecales (N.M.P./100 mL)
1.	19 × 10 ³	1.000	150
2.	35 × 10 ³	> 1.100	43
3.	16 × 10 ³	460	0
4.	13 × 10 ³	240	0
5.	26 × 10 ⁴	> 1.100	43
6.	34 × 10 ³	> 1.100	240
7.	14 × 10 ³	> 1.100	> 1.100

El alto valor encontrado en la estación 7, (véase tabla 5), se explica por la mayor concentración de bacterias, dependiente del menor volumen de aguas del río en un punto dado, con respecto a la de la Laguna tomada en conjunto. Por la misma razón, cuando la carga orgánica penetra a la Laguna, se diluye, produciendo así, menores valores de coliformes fecales.

La comunidad de bacterias juega un papel decisivo en la dinámica del fósforo por cuanto estos microorganismos compiten efectivamente por el fósforo con los macrófitos y con el fitoplancton, como ha sido demostrado por MARGALEF (1983) y por RHEE (1972), respectivamente.

MACROFITOS

Características Biológicas

La comunidad de macrófitos de la zona litoral en la Laguna de Fúquene comprende 20 especies, distribuidas en 15 familias y 2 divisiones (tabla 6). De acuerdo con la forma de vida de la planta y, en particular, teniendo en cuenta su posición en relación con los límites y fronteras del cuerpo de agua (superficie y sedimento) las 20 especies registradas se distribuyen en cuatro formas de vida principales, de acuerdo con la tabla 7.

La especie *Altenstenia cf. fimbriata*, es un helófito de raíces pequeñas, que no se ajusta a ninguno de los tipos definidos en la tabla 7, por cuanto, las raíces no hacen contacto directo con el sedimento, ya que se apoyan en las plantas vecinas.

Una visión general del proceso sucesional de las comunidades de macrófitos litorales presentes en la Laguna de Fúquene se aprecia en la figura 11. Cada etapa sucesional ocupa una franja concéntrica, que se expande en sentido centripetal hasta cubrir, finalmente, todo el cuerpo de agua. De tal modo que la sucesión se proyecta, en este caso, también en el espacio.

TABLA 6. Taxonomía de los Organismos de la Comunidad de Macrófitos Litorales encontrados en la Laguna de Fúquene.

Pteridophyta	
F. Azollaceae	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.
Spermatophyta	
Dicotiledoneae	
F. Convolvulaceae	<i>Cuscuta americana</i> L.
F. Compositae	<i>Bidens laevis</i> Britt, Sterns & Pogg. <i>Cotula coronopifolia</i> L.
F. Haloragaceae	<i>Myriophyllum acuaticum</i> (Vellozo) Verdcourt
F. Lentibulariaceae	<i>Utricularia gibba</i> L.
F. Oenotheraceae	<i>Ludwigia peploides</i> (H.B.K.) reportada como <i>Ludwigia cf. peruviana</i> (Cleef y Hooghiemstra 1984)
F. Polygonaceae	<i>Polygonum hidropiperoides</i> Pursh. <i>Polygonum acuminatum</i> H.B.K.
F. Ranunculaceae	<i>Ranunculus sp</i>
Monocotiledoneae	
F. Cyperaceae	<i>Cyperus rufus</i> H.B.K. <i>Scirpus californicus</i> Britton
F. Hydrocharitaceae	<i>Hydromistria laevigata</i> (Willd) A.T. Hunziler
F. Lemnaceae	<i>Lemna minor</i> Lam.
F. Orchidiaceae	<i>Altenstenia cf. fimbriata</i> H.B.K.
F. Poaceae (Gramineae)	<i>Holcus lanatus</i> Lam.
F. Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mort) Solms.
F. Potamogetonaceae	<i>Potamogeton bertereanus</i> Phil. <i>Potamogeton illinoënsis</i> Morong.

Las poblaciones de limnófitos (*Potamogeton illinoënsis* y *Potamogeton bertereanus*) configuran la primera etapa de la sucesión, se hallan más cerca a la zona limnética y aprovechan el carbono presente en el agua en forma de CO₂. La siguiente etapa sucesional, situada más hacia afuera de la laguna, está constituida por los pleustófitos (tabla 7), que asimilan el CO₂ atmosférico. La última etapa de la sucesión corresponde a los rizófitos, que como los pleustófitos, utilizan el CO₂ proveniente de la atmósfera y disponen de una fuente inagotable de



- 01 Potamogeton Minoensis
- 02 Potamogeton berteroanus
- 03 Eichornia crassipes
- 04 Mikromyria laevigata
- 05 Lemna minor
- 06 Azolla filiculoides.
- 07 Ludwigia peploides
- 08 Bidens laevis
- 09 Polygonum hydroperoides
- 10 Polygonum acuminatum
- 11 Myriophyllum aquaticum.
- 12 Scirpus californicus
- 13 Ranunculus sp
- 14 Holcus lanatus
- 15 Cyperus rufus

FIGURA II Esquema general de las etapas de sucesión de la comunidad de Macrofitos litorales de la laguna de FUGUENE

TABLA 7. Clasificación de los Organismos de la Comunidad de Macrófitos de la Laguna de Fúquene con base en su forma de vida de acuerdo con los criterios establecidos por Margalef (1983).

Pleustófitos (Acropleustófitos)

Azolla filiculoides
Hydromistria laevigata
Lemna minor
Eichhornia crassipes

Rizophytos

Limnophytos
Potamogeton berteroanus
Potamogeton illinoënsis
Anfiphytos
Ludwigia peploides (Plántula)
Helophytos
Ranunculus sp
Bidens laevis
Cotula coronopifolia
Myriophyllum aquaticum
Utricularia gibba
Ludwigia peploides
Polygonum hydropiperoides
Polygonum acuminatum
Rumex obtusifolius
Cyperus rufus
Scirpus californicus
Holcus lanatus

Helphyto no Rizophyto

Altenstenia cf. fimbriata

Acompañante (Enredadera)

Cuscuta americana sobre
Scirpus californicus, *Myriophyllum aquaticum*
y *Ludwigia peploides*

fósforo (fosfatos orgánicos e inorgánicos) en el sedimento, con una menor tasa de renovación con respecto a las comunidades anteriormente citadas.

Este proceso sucesional (Fig. 11) no es uniforme a lo largo del perímetro de la Laguna, ya que las condiciones particulares que prevalecen en cada sitio, determinan que las etapas sucesionales ocupen espacios diferentes. Además, puntualmente algunas etapas pueden desaparecer, creando así alta heterogeneidad de la comunidad de macrófitos litorales presentes en la Laguna de Fúquene.

De acuerdo con MARGALEF (1983), la disponibilidad de carbono en forma de CO₂ es el factor determinante y crucial que opera sobre la sucesión de las comunidades de macrófitos litorales en los ecosistemas lacustres. La transición de los limnófitos a los pleustófitos es particularmente relevante, por cuanto ocurre solamente si la disponibilidad de nutrientes es adecuada y si existe la posibilidad que los macrófitos litorales anclen sus raíces en el sus-

trato, como fuera ya observado correctamente por PENFOUND y EARLE (1948). Sin embargo, según la hipótesis de WOLEK (1974) citado por MARGALEF (1983), ... "la profundidad a la que pueden extenderse las raíces es el factor decisivo en los procesos sucesionales de los macrófitos litorales en ecosistemas dulceacuícolas y en ecosistemas marinos...". En la Laguna de Fúquene existe evidencia que los pleustófitos, eventualmente, retroceden para ceder espacio a los rizófitos, principalmente del grupo de los helófitos, favorecidos por los nutrientes presentes en el sedimento. Esto mismo fue observado en otros sitios por BRISTOW y WHITCOME (1971).

En resumen, se puede discernir las estrategias ecológicas sucesionales de los macrófitos litorales en la Laguna de Fúquene sobre el eje r-K de acuerdo con el modelo propuesto por MARGALEF (1983).

DIVERSIDAD

Características Biológicas

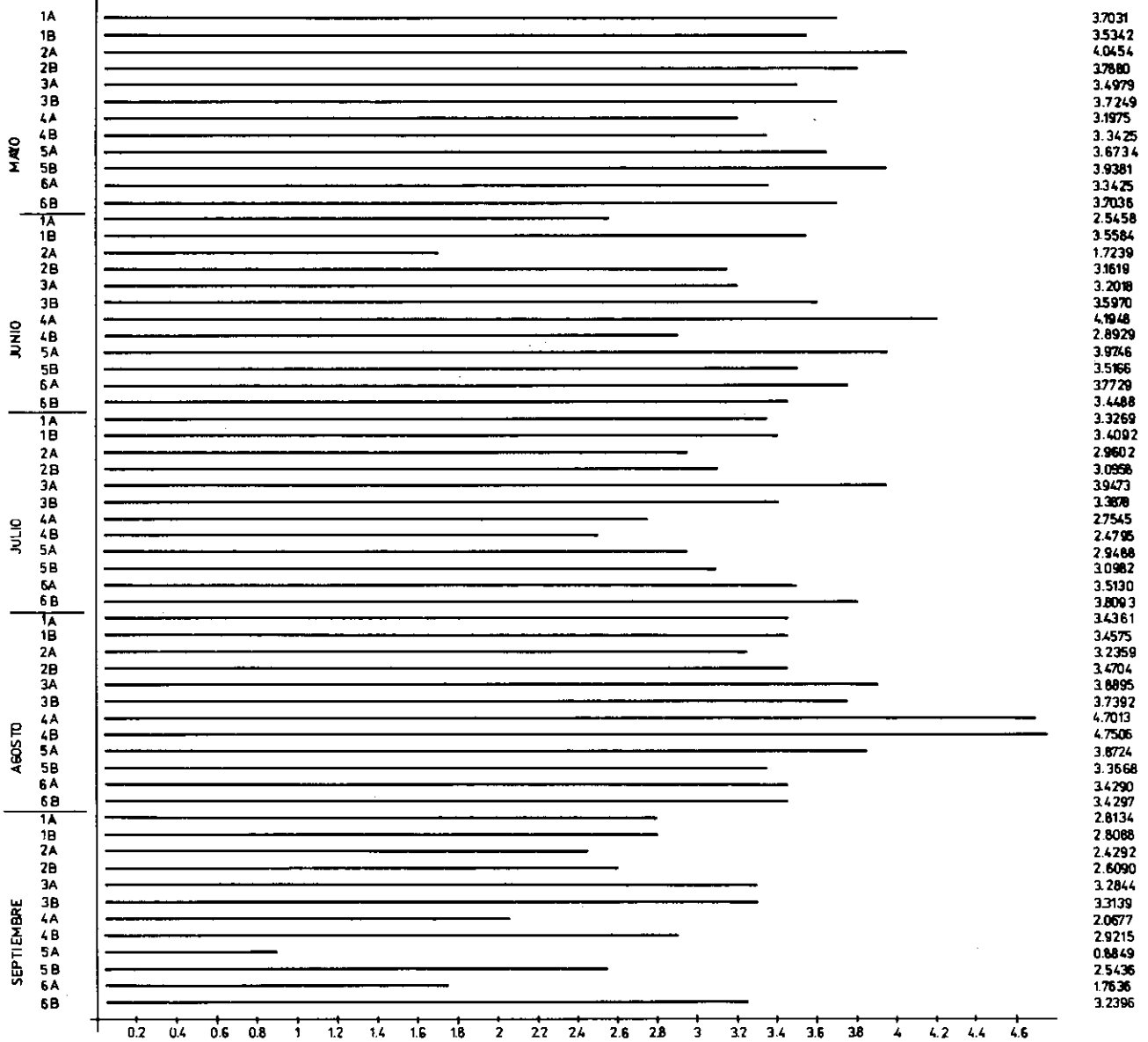
En el presente trabajo la diversidad se determinó mediante el análisis de la taxocenosis (fitoplankton), y la aplicación del índice inspirado en la Teoría de la Información de SHANNON-WEAVER, citado por MARGALEF (1957):

$$H = - \sum \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N}$$

donde H, es la diversidad, N_i el número total de individuos de la especie i, y N el número total de individuos encontrados en la muestra. Los valores de H se expresan en "bits" de información, utilizando el log en base 2, ya que de acuerdo con MARGALEF (op. cit) se sabe que las comunidades naturales se ajustan más a una curva geométrica o log normal.

Diversidad por estaciones de muestreo

Los resultados obtenidos en la determinación de la diversidad, en cada estación, a lo largo de 11 meses de muestreo, se resumen en las figuras 12 y 13. Las estaciones 1 y 2 se encuentran ubicadas más cerca de la desembocadura del río Ubaté, por esta razón presentan mayor grado de polución y poseen los mayores valores de D.B.O. (Figs 5 y 6). Por esto último, presentan también, en general, los menores valores de diversidad, fenómeno normal en las aguas polutas, de acuerdo con BRANCO (1984). En contraste, las estaciones 3 y 4 tienen las mejores condiciones y por ello los valores de diversidad son los mayores.



Histograma de diversidad utilizando el índice de Shannon-Weaver en bits de información durante MAYO (1984) a MARZO (1985), en las seis estaciones y subestaciones de la laguna de FUQUENE.

FIGURA. 12

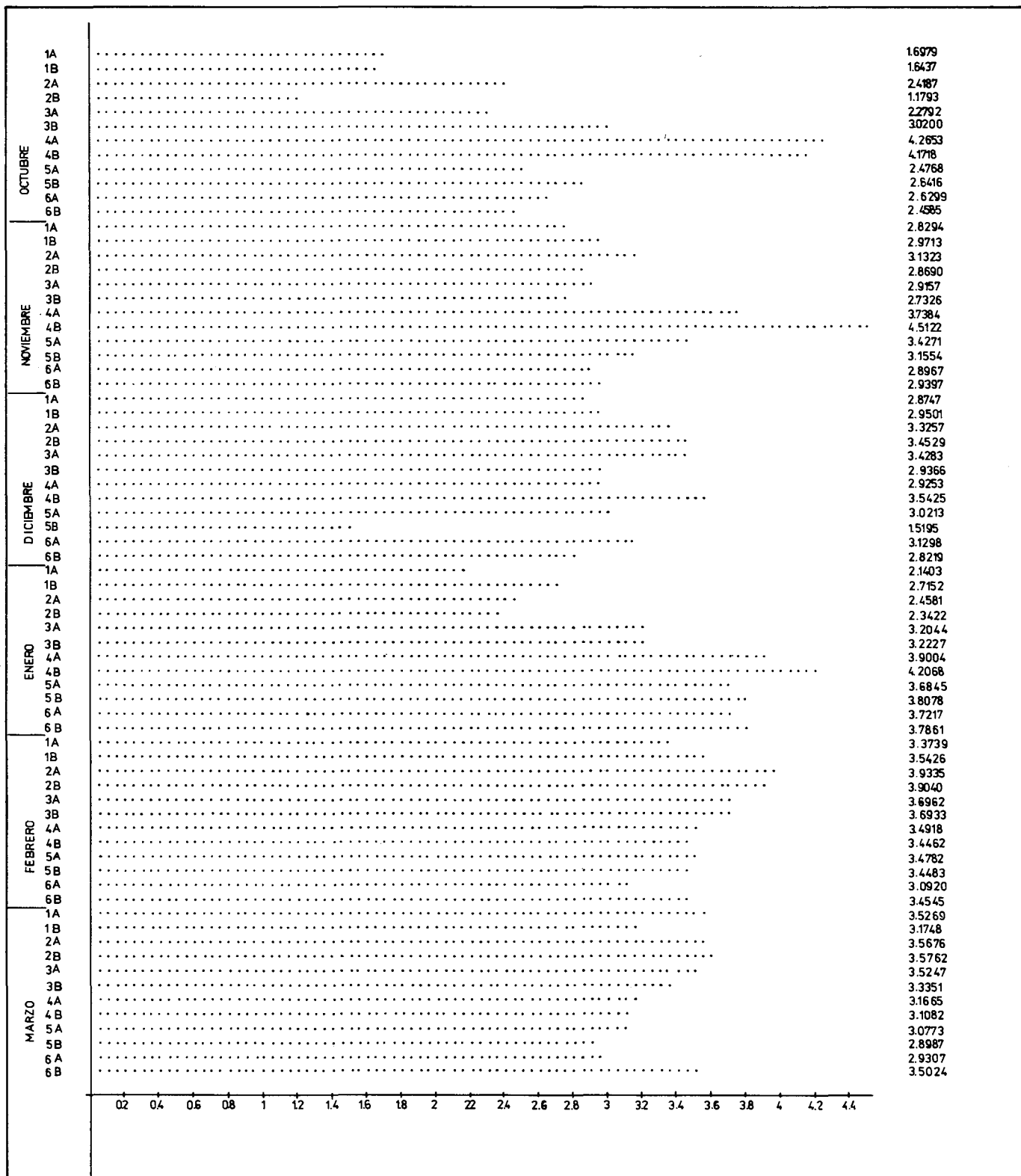


FIGURA 13.-Histograma de diversidad utilizando el índice de Shannon-Weaver en bits de información durante MAYO(1984) a MARZO(1985), en las seis estaciones y subestaciones de la laguna de FUQUENE.

Los valores de diversidad encontrados en la Laguna de Fúquene (Figs. 12 y 13) poseen un espectro de variación de 1 a 5 *bits*, cuyos extremos corresponden teóricamente a, ecosistemas en tensión (estructura simple, rápidas tasas de renovación) y a ecosistemas maduros (estructura compleja, lentas tasas de renovación, entre otras), respectivamente. La ocurrencia de estas variaciones extremas en los valores de diversidad, indica que la Laguna está sometida a cambios frecuentes en el espacio y en el tiempo (variaciones en la proporción numérica de los organismos encontrados). Tales cambios originan alta complejidad, propia de ecosistemas de diferente estructura y organización (zona litoral, zona limnética, cuenca) que interactúan en un mismo espacio (aguas libres de la laguna).

En algunas estaciones de muestreo, no se comprobó la existencia de una relación inversa entre la polución y la diversidad, como habría de esperarse, según la hipótesis de BRANCO (1984), no obstante las elevadas tasas de polución. Sin embargo, estos resultados podrían explicarse si se tienen en cuenta los efectos de la elevada turbulencia propia de las aguas de la Laguna de Fúquene. Como es bien sabido, la turbulencia mezcla las poblaciones (euplankton, ticoplankton, perifiton, bentos) de espacios considerables, las uniformiza, impide su segregación local y, en consecuencia, produce el aumento de la diversidad. Quizás el modelo expuesto por MARGALEF (1980) resulte más apropiado para captar el comportamiento global de la diversidad términos de un espectro rectangular. Si se analiza tal espectro se puede comprobar que la turbulencia produce el aumento de la diversidad hacia el extremo inferior del espectro y, sobre volúmenes pequeños, en los cuales el efecto HUTCHINSON (paradoja del plancton) es más aparente que en aguas estratificadas y poco turbulentas.

De acuerdo con MARGALEF (1974) otro factor que contribuye a incrementar la diversidad, es la alta congeneridad de las especies del fitoplancton. En la Laguna de Fúquene también opera este factor, como se desprende de la tabla 3. Es decir, que conviven diferentes especies de *Cosmarium*, de *Scenedesmus*, de *Euglena*, de *Phacus* y de *Navicula*. Estos organismos congéneres tienen necesidades similares, por lo cual tienden a presentarse en ambientes similares (WETZEL, 1981), donde no existen procesos de exclusión competitiva ya que para que ésta ocurra deben coexistir más de 300.000 células/ml (MARGALEF, 1980); hecho que no ocurre en la Laguna de Fúquene donde se obtienen hasta 100.000 células/ml.

De tal manera que las especies que conforman el fitoplancton en la Laguna de Fúquene han consolidado, con el correr del tiempo, un "statu-quo" caracterizado por baja presión de competencia y alta diversidad. Pero, como bien lo afirma ODUM (1980a), la diversidad no siempre es un índice de organización o estabilidad, por lo tanto, cualquier

correlación positiva que se determine entre la diversidad y la alta organización de un ecosistema, es una relación secundaria y no primaria. En consecuencia, se recomienda precaución si se pretende usarla como índice de polución o perturbación.

Si se calcula la diversidad con la fórmula de SHANNON-WEAVER y se reemplaza N por el número de células por unidad de volumen, y no por el número de individuos, como se hizo en este trabajo, los valores calculados de diversidad, disminuyen drásticamente. Consideramos que desde el punto de vista biológico general, es erróneo evaluar el valor de la diversidad, con base en el número de células por unidad de volumen, puesto que en el caso de colonias y/o filamentos, son precisamente estas agrupaciones de células las que representan las unidades funcionales en el ecosistema, y por la misma razón, reflejan mejor el papel que puede jugar una especie dada en la dinámica del mismo.

En apoyo de lo anterior, se menciona a continuación el caso que se presentó, en desarrollo de este trabajo, en la estación 1 (río Ubaté). En este sitio el predominio de las Euglenoficeas refleja claramente las condiciones ecológicas presentes. Con las Euglenoficeas coexisten colonias de *Microcystis aeruginosa*. Cada colonia comprende, en promedio (tabla 8), 250 células, de modo que si se determina

TABLA 8. Promedio de Células por Colonia o Filamento para las Especies de Algas encontradas en la Laguna de Fúquene.

<i>Microcystis aeruginosa</i>	250 cel/colonia
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	140 cel/colonia
<i>Chroococcus turgidus</i>	3 cel/colonia
<i>Gloeocapsa sp</i>	5 cel/colonia
<i>Oscillatoria sp</i>	14 cel/filamento
<i>Porphyrosiphon sp</i>	26 cel/filamento
<i>Anabaina circinalis</i>	15 cel/filamento
<i>Anabaina sp1</i>	19 cel/filamento
<i>Anabaina sp2</i>	13 cel/filamento
<i>Eudorina elegans</i>	32 cel/colonia
<i>Sphaerocystis sp</i>	14 cel/colonia
<i>Oocystis sp</i>	6 cel/colonia
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	19 cel/colonia
<i>Pediastrum boryanum</i>	14 cel/colonia
<i>Pediastrum duplex</i>	16 cel/colonia
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	4 cel/colonia
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	8 cel/colonia
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	4 cel/colonia
<i>Scenedesmus arcuatus</i>	4 cel/colonia
<i>Scenedesmus ecornis</i>	4 cel/colonia
<i>Scenedesmus abundans</i>	2 cel/colonia
<i>Botryococcus braunii</i>	15 cel/colonia
<i>Oedogonium sp</i>	16 cel/filamento
<i>Mougeotia sp</i>	9 cel/filamento
<i>Melosira granulata</i>	7 cel/filamento
<i>Melosira italica</i>	15 cel/filamento

la diversidad teniendo en cuenta el número de células, se tendría que *M. aeruginosa* produce mayor información con respecto a la estructura de la comunidad que el grupo de las Euglenoficeas. Pero sucede que *M. aeruginosa* no explica realmente, los factores y condiciones presentes en la desembocadura del río Ubaté (estación 1). *M. aeruginosa* prolifera en condiciones de alta eutrofización producida por el aumento de nutrientes inorgánicos (P y N) mientras que las especies de Euglenoficeas se ven favorecidas con altos valores de materia orgánica, por utilizar una fuente alterna de alimento; aspecto característico de los planos inundables (ciénagas) del sistema del río Magdalena (COESEL *et al*, en prensa).

Amplitud del Nicho

Dentro de una comunidad, el espacio físico donde tienen lugar las interacciones de los factores ecológicos presentes, es susceptible de dividirse en diferentes segmentos de tipo estocástico (nichos), distribuíbles entre las especies que conforman la comunidad; de tal modo, que la abundancia de una especie es proporcional a la magnitud del espacio que puede ocupar, o sea, a la amplitud de su respectivo nicho.

Las especies más significativas en la amplitud del nicho, de acuerdo con la figura 14, son: *Anabaina* sp₁, *Mougeotia* sp, *Melosira itálica*, *Trachelomonas hispida*, *Pleurochloris* sp y *Botryococcus braunii*. Las especies que aportan escasa información sobre la estructura de la comunidad, dada su poca abundancia, son: *Porphyrosiphon* sp, *Scenedesmus acuminatus*, *S. arcuatus*, *Sphaerocystis* sp, *Cymbella ventricosa*, *Navicula capitata*, *N. rhynchoncephala*, *Tabellaria flocculosa* y *Euglena* sp. De tal manera que la presencia de estas especies en las aguas libres de la laguna se explica simplemente por el azar. En cambio, estas mismas especies pueden suministrar mayor información utilizable para el conocimiento de la estructura y funcionamiento de la comunidad litoral, ya que la mayoría de ellas pertenece a esta comunidad (tabla 3).

FITOPLANCTON

Modelo Funcional

El fitoplancton de un cuerpo de agua, es un sistema pobremente controlado desde adentro, por carecer de un sistema de transporte bien estructurado, como sí ocurre en la comunidad de macrófitos litorales de la Laguna de Fúquene o en un bosque. Así, el fitoplancton de la Laguna de Fúquene está enteramente controlado por el ambiente físico, el cual a la vez depende de los factores externos a la propia Laguna, en forma de energía exosomática. Entre tales factores se cuentan la turbulencia (acción

mecánica del viento que mezcla la masa total de agua) y la afluencia alóctona de nutrientes que favorecen a ciertos compartimientos del sistema Laguna de Fúquene.

Las propiedades morfológicas, mecánicas, fisiológicas que no cambian fácilmente en los organismos, son, en última instancia, las relevantes para el entendimiento de la estructura funcional de la comunidad de fitoplancton, como lo comprueban MUNK y RILEY (1952); LUND (1959); MARGALEF *et al* (1976).

Una comunidad de plancton sobrevive si se mantiene un equilibrio temporal entre el sostenimiento de una reserva (*stock*) de población a flote y la pérdida por sedimentación. La mejor forma de visualizar este equilibrio temporal es dividiendo los factores que interactúan en una serie de compartimientos interrelacionados, a la manera de esquemas cibernéticos.

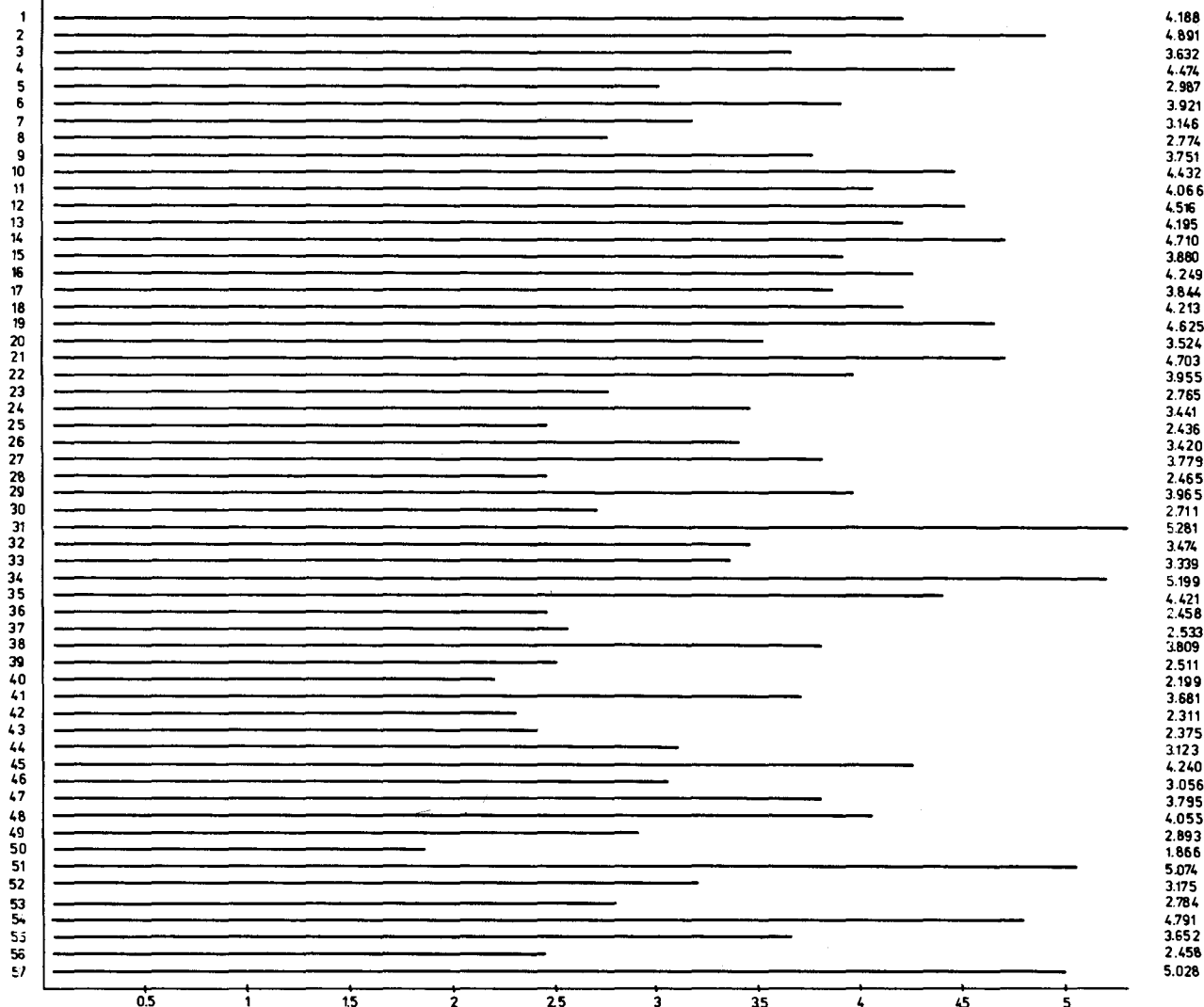
Cambio de la población $\frac{W}{T} = \text{Tasa de incremento} - \text{Tasa de pastoreo}$

– Hundimiento ± Mezcla o turbulencia

Tasa de incremento: La composición fisicoquímica de las aguas de la Laguna de Fúquene, determina la concentración de los diferentes nutrientes y fuentes alternas de energía (materia orgánica), los cuales a la vez actúan selectivamente y definen cuál estructura de la comunidad de fitoplancton es la óptima dadas las características predominantes del medio.

La modificación del ciclo del fósforo disponible en la Laguna, favorece diversos grupos de algas que metabolizan en forma distinta este nutriente. Las Cianoficeas y Cloroficeas tienen, por ejemplo, la capacidad de almacenarlo como polifosfatos; las Bacillarioficeas lo asimilan rápidamente de los flujos pulsantes; las Cloroficeas superan a las Cianoficeas y Bacillarioficeas en el poder de convertir los diversos compuestos de fósforo a la forma asimilable. La materia orgánica, otra fuente alterna de nutrientes, favorece la presencia y abundancia de las Cianoficeas y Euglenoficeas. Este último grupo abunda principalmente en las estaciones 1 y 2 de muestreo.

Los valores de abundancia, entre 1.500 a 10.000 individuos/ml (20.000 a 100.000 cel), están muy por debajo de los requeridos para suscitar competencia inter e intraespecífica. Se requiere, para que esta ocurra, más de 300.000/ml. Como se explicó anteriormente los valores de diversidad encontrados en la Laguna de Fúquene (hasta 5 bits de información), la alta congeneridad de algunas especies del fitoplancton y la convivencia de organismos de diferente origen que se suponen en el mismo espacio (cuerpo limnético), determinan que el fenómeno



1 ANABAINA CIRCINALIS	28 EUDORINA ELEGANS	55 PHACUS TRIQUETER
2 ANABAINA SP ₁	29 SPHAEROCYSTIS SP	56 PHACUS LONGICAUDA
3 ANABAINA SP ₂	30 SPIROGYRA SP	57 BOTRYOCOCCUS BRAUNII
4 MICROCYSTIS AERUGINOSA	31 MOUGEOTIA SP	
5 CHROOCOCCUS TURGIDUS	32 ZYGNEMA SP	
6 APHANOCAPSA DELICATISSIMA	33 OEDOGONIUM SP	
7 GLOEOCAPSA SP	34 MELOSIRA ITALICA	
8 PORPHYROSIPHON SP	35 MELOSIRA GRANULATA	
9 OSCILLATORIA SP	36 CYMBELLA VENTRICOSA	
10 STAURODESMUS LOBATUS	37 NAVICULA CAPITATA	
11 COSMARIUM PUNCTULATUM	38 EPITHEMIA ZEBRA	
12 CLOSTERIUM LIMNETICUM	39 GOMPHONEMA PARVULUM	
13 CLOSTERIUM ACUTUM	40 NAVICULA RHYNCHONCEPHALA	
14 STAURASTRUM CHAETOCERAS	41 CYCLOTELLA BODANICA	
15 STAURASTRUM VOLANS	42 TABELLARIA FLOCCULOSA	
16 STAURODESMUS DEJECTUS	43 NAVICULA SP	
17 CHARACIUM SP	44 FRAGILARIA CONSTRUENS	
18 OOCYSTIS SP	45 EUGLENA ACUS	
19 PEDIASTRUM DUPLEX	46 EUGLENA ELASTICA	
20 PEDIASTRUM BORYANUM	47 EUGLENA OXYURIS	
21 DICTYOSPHAERIUM PULCHELLUM	48 EUGLENA GRACILIS	
22 SCENEDESMUS QUADRICAUDA	49 EUGLENA SP	
23 SCENEDESMUS ACUMINATUS	50 LEPONCINCLIS SP	
24 SCENEDESMUS DENTICULATUS	51 TRACHELOMONAS HISPIDA	
25 SCENEDESMUS ARCUATUS	52 TRACHELOMONAS ARMATA	
26 SCENEDESMUS EORNIS	53 TRACHELOMONAS ACANTHOPHORA	
27 SCENEDESMUS ABUNDANS	54 PLEUROCHLORIS SP	

FIGURA 4-Histograma de la amplitud del nicho para las 57 especies de organismos del fitoplancton encontrados en la laguna de FUGUENE.

de la paradoja del fitoplancton sea muy evidente (HUTCHINSON, 1981).

La morfología, condiciona también indirectamente el incremento de la población, en cuanto que las condiciones de la Laguna favorecen la presencia de organismos no móviles de tamaño pequeño (microplancton y nanoplancton) es decir, de alta razón superficie/volumen y reproducción. El tamaño predominante de los organismos del fitoplancton en la Laguna de Fúquene, favorece los altos valores de productividad primaria bruta; sin embargo, bajo las condiciones de la Laguna, la tasa respiratoria es alta, por lo tanto, es baja la productividad primaria neta y su contribución a la producción de biomasa disponible para otros compartimientos.

La presencia de organismos pertenecientes al neuston (tabla 3) pone en evidencia un biotopo de diferentes características al del euplancton que está caracterizado por baja turbulencia y alta disponibilidad de materia orgánica (estación 1 y en menor grado estación 2 de muestreo).

Tasa de Pastoreo: La comunidad de zooplancton en la Laguna de Fúquene, como ya se mencionó, se compone principalmente de rotíferos filtradores (sestófagos) de material particulado de tamaño pequeño, como materia orgánica, bacterias y, en menor grado, nanoplancton. Por consiguiente, este compartimiento no ejerce efecto negativo sobre la comunidad de fitoplancton.

Hundimiento: El fitoplancton de las aguas dulces posee una densidad superior a la de su medio, por lo cual, la sedimentación es normal e inevitable y es susceptible de incrementarse en la Laguna de Fúquene, por el tamaño de los organismos (micro y nanoplancton). Para incrementar la flotabilidad de las algas en la Laguna de Fúquene, estas adoptan, entre otras, las siguientes estrategias:

- Vacuolos gasíferos en Cyanophyceae.
- Forma espiral en *Anabaina circinalis*.
- Gran cantidad de mucílago (Cyanophyceae y Chlorophyceae).
- Acumulación de grasas en *Botryococcus braunii*.
- Altas tasas de reproducción (Bacillarophyceae, principalmente el grupo *Melosira*)

Mezcla o Turbulencia: Este fenómeno afecta a todo el cuerpo de agua, por lo cual puede ejercer efecto positivo o negativo en la productividad de la comunidad de fitoplancton. Lo primero ocurre cuando el movimiento de las comunidades es hacia arriba; lo segundo, cuando la turbulencia dispersa las comunidades, alejándolas de la capa fótica.

Modelo General

Cada sistema es un conjunto de elementos, compartimientos o unidades organizacionales, inter-

actuantes, esto es, influenciábles entre sí, por los estados que puedan tener en un momento dado distintos elementos. Tales interrelaciones de variables pueden ser conceptualizadas y traducidas a un lenguaje lógico, expresable en un modelo que, a la vez, es sometible a análisis, mediante disección de sus partes constituyentes de acuerdo con MARGALEF (1980); STRASKRABA (1979, 1980); ODUM (1980b); HINSON y BASTA (1982).

En el caso que nos ocupa, el funcionamiento del modelo de la Laguna de Fúquene es aleatorio, ya que está regulado por variables netamente externas. Este modelo reúne los cuatro (4) órdenes jerárquicos cibernéticos, de acuerdo con STRASKRABA (1980), a saber: el nivel bioquímico, el fisiológico, el orgánico y el poblacional. La figura 15 visualiza el modelo general del funcionamiento de la Laguna de Fúquene y su interrelación con factores externos, de acuerdo con la simbología recomendada por ODUM (1980b), haciendo énfasis en los ciclos de las variables implicadas, cuando el sistema "Laguna de Fúquene" se encuentra en tensión, especialmente causada por el fósforo y la materia orgánica. El tamaño de los compartimientos refleja la preponderancia de los mismos en el funcionamiento del sistema.

Del modelo se desprende que el sistema "Laguna de Fúquene" posee una estructura adaptable a los cambios frecuentes producidos por el impacto de las variables biogeofísicas del Valle de Ubaté. Tales variables y las que se derivan de su influencia en los sistemas hidrológicos y ecológicos, actúan como una unidad en el proceso de eutrofización de la Laguna.

Las condiciones de tensión actuales sobre la Laguna de Fúquene producen ciclos alternos que minimizan los efectos por la retención, en el sedimento, de los compuestos que producen dicha tensión (fósforo y materia orgánica principalmente). Los organismos más capaces de utilizar eficazmente esta reserva son los macrófitos litorales. Por lo mismo, constituyen en la Laguna de Fúquene el compartimiento más favorecido. Tal condición se manifiesta en la alta productividad neta, en la diversificación de hábitats para organismos microfíticos no euplanctónicos con un flujo acelerado del ciclo de nutrientes esenciales. De esta manera, los macrófitos contribuyen a aumentar la tensión y a conformar en última instancia una estructura altamente compleja que exporta sus excedentes a las aguas libres de la Laguna, principalmente en forma de detritos, con lo cual, a la vez, se constituyen en la vía principal de utilización creando además, compartimientos que se benefician (bacterias, hongos, zooplancton) (RIGLER, 1980).

En síntesis, los procesos analizados favorecen la ocupación de nuevas áreas por las comunidades de macrófitos sobre las aguas libres, acelerando los procesos de sedimentación y terrización. El aumen-

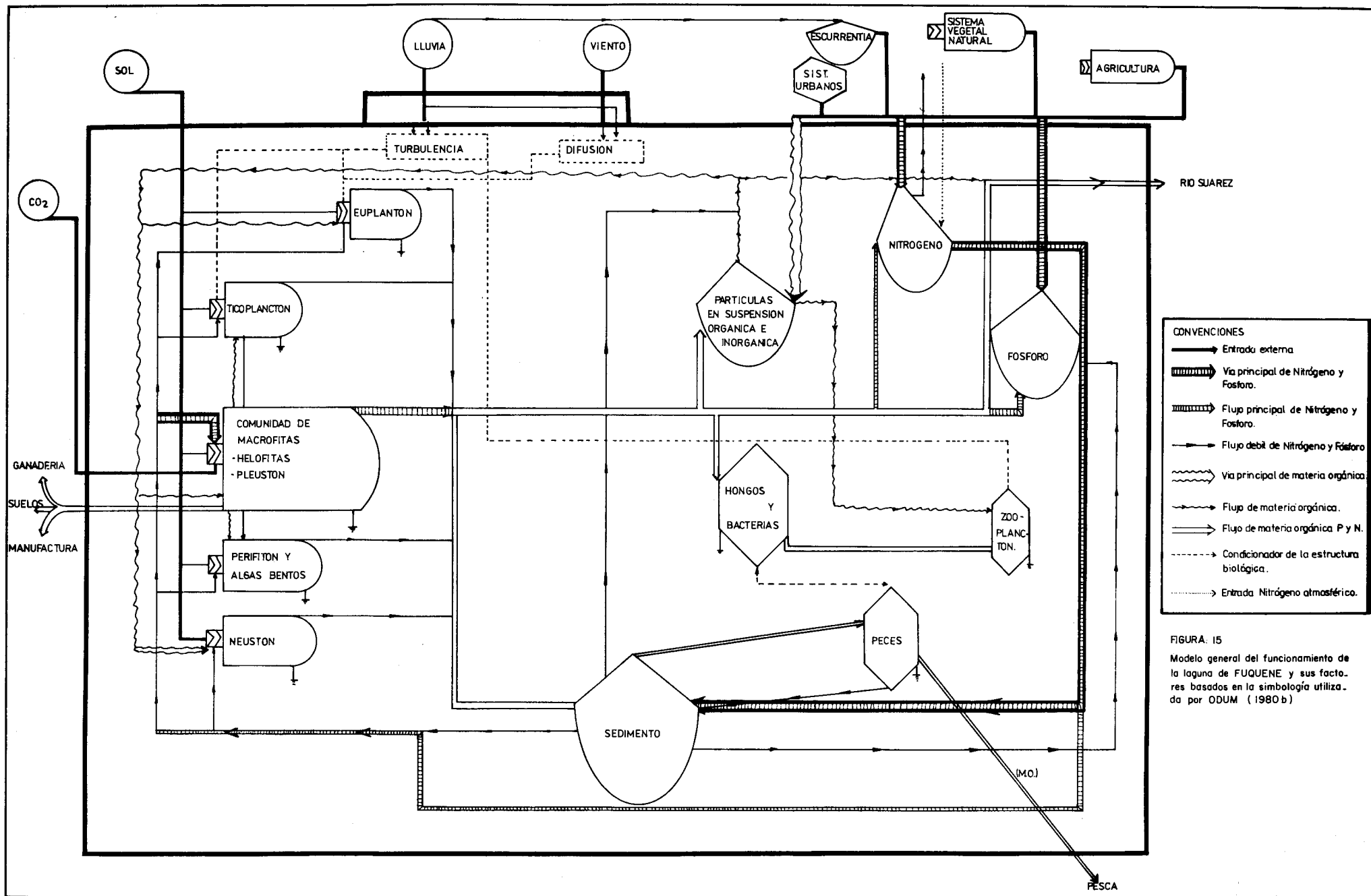


FIGURA: 15
 Modelo general del funcionamiento de la laguna de FUQUENE y sus factores basados en la simbología utilizada por ODUM (1980 b)

to de la velocidad de los ciclos (nitrógeno, fósforo, materia orgánica) por procesos físicos (acción mecánica) y biológicos (macrófitos y peces) crea tensión en la Laguna y minimiza los efectos de ajuste, magnificando, todo ello, el proceso de terrización. Sumado a lo anterior, el fenómeno de turbulencia favorece selectivamente las formas, tamaños y comportamiento de la comunidad fitoplanctónica, principalmente del euplancton de la Laguna de Fúquene. Sin embargo, como se vio, el fitoplancton juega un papel secundario en los procesos dinámicos del sistema, ya que en éste prima la vía detrítica sobre la del pastoreo.

CONCLUSIONES

El comportamiento de la Laguna de Fúquene puede extrapolarse a los otros cuerpos lénticos (Laguna de Cucunubá y Palacios) también situados en el Valle de Ubaté, pero no a otros sistemas acuáticos de la zona alto-andina colombiana.

La Laguna está circundada por un sistema mayor, el del Valle de Ubaté, de donde provienen las influencias externas responsables de su funcionamiento. Actualmente, se encuentra en proceso de colmatación y eutrofización crecientes, por el influjo de sustancias alóctonas (nitrógeno, fósforo, materia orgánica), provenientes de la cuenca. Bajo el estado de tensión, en la Laguna han surgido ciclos alternos al ciclo principal de nutrientes, que tienden a minimizar la tensión.

Las características hidroquímicas de la Laguna favorecen la insolubilización y retiro del fósforo del medio y su precipitación en el sedimento, en razón de las altas concentraciones de hierro y calcio; de este modo el sedimento es el sumidero y principal ciclo alterno de homeóstasis.

El nitrógeno es atrapado por la gran cantidad de arcilla y materia orgánica presentes, las cuales lo llevan hacia el sedimento. No es evidente la existencia de una vía de nitrógeno hacia la atmósfera (Desnitrificación), en la Laguna; pero aun si existiera no sería la responsable de las altas abundancias de algas verde-azules y bacterias; tales abundancias elevadas se explican con mayor facilidad por los altos valores de materia orgánica presente que por la capacidad que poseen los mencionados organismos para fijar nitrógeno atmosférico.

La alta turbulencia de las aguas de la Laguna, sumada a las características eutróficas ya anotadas, favorece la presencia de organismos fitoplanctónicos de pequeño tamaño (micro y nanoplancton), de alta tasa reproductiva y respiratoria, productores de escasa biomasa hacia los demás compartimientos del sistema, por lo cual el papel de tales organismos en la dinámica del sistema es secundario.

La comunidad del neuston está presente en un biotopo de características diferentes, dada su baja

turbulencia y alta disponibilidad de materia orgánica.

El cinturón de macrófitos, en la zona litoral, favorece la diversificación de hábitats ocupados por comunidades de algas asociadas a los primeros (ticoplancton, perifiton y bentos). El fenómeno de eutrofización implica acumulación de elementos nutricios en el sedimento, lo cual favorece preferentemente a la comunidad de macrófitos del litoral; la cual puede disponer de esta reserva que le permite expandirse sobre las aguas libres de la Laguna y de este modo acrecentar el fenómeno de terrización.

La presión diferente que ejerce la cuenca sobre las diferentes zonas de la Laguna, produce sitios de diferente respuesta, creando así, condiciones limnológicas diferentes, tales como:

- La zona Sur de la Laguna presenta las condiciones más críticas por estar allí situada la desembocadura del río Ubaté.
- La zona Oeste presenta condiciones intermedias.
- Mientras, que la zona Este posee las mejores condiciones por coincidir con las de los sistemas lóticos que allí desembocan.

Hasta cierto punto, se puso en evidencia, que la Laguna posee cierto grado de autodepuración; sin embargo, los fenómenos de reciclaje favorecidos por la acción mecánica del viento, por la presencia de macrófitos y por la acción bioturbadora de la carpa (*Cyprinus carpio*), disminuye el ajuste de la Laguna, por lo tanto, las características del afluente (río Suárez) no son favorables para su utilización.

Tomando en cuenta todos los fenómenos anteriormente citados, la Laguna de Fúquene puede considerarse como un sistema muy particular, de características especiales, por cuanto la zona litoral es la que aporta la mayor producción neta al sistema, por presentar gran cantidad de materia orgánica disuelta, que en última instancia, favorece la vía detrítica, disminuyendo el papel del fitoplancton en el funcionamiento del sistema. Por otra parte, en este sistema, se crean estructuras móviles de diferente organización que se superponen, favoreciendo la diversificación de los hábitats y nichos.

La rápida acomodación de las algas a las diferentes intensidades de luz, debido a su capacidad diaria de síntesis y descomposición de pigmentos, así como las diferencias en los valores de saturación y la estructura y función de los cloroplastos (MARGALEF, 1983), produce que la luz como factor limitante, dada la alta turbidez presente en las aguas de la Laguna de Fúquene, no se considere un parámetro importante que condicione el funcionamiento del fitoplancton en la Laguna, puesto que la turbulencia, nutrientes y la competencia por estos últimos que favorece a otros compartimientos del sistema, son los responsables de la regulación y condicionamiento de las poblaciones de algas presentes en la Laguna de Fúquene.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 1963. Métodos standard para el examen de Aguas y Aguas de desechos. México.
- BELLINGER, E. G., 1979 in James A. and L. Evison (Ed). The response of Algal populations to changes in Lake Water Quality, in Biological Indicators of Water Quality. John Wiley & Sons. 9-19.
- BRANCO, S. M., 1984. Limnología sanitaria, estudio de la polución de Aguas Continentales. OEA Washington, 155 pp.
- BRISTOW, J. M. and M. Whitcombe, 1971. The role of Roots in the Nutrition of Aquatic Vascular Plants. Amer. J. Bot. 58 (1): 8-13.
- CORPORACION AUTONOMA REGIONAL (CAR), 1965. Análisis del estado actual de la Laguna de Fúquene y su posible ciclo de inundaciones. 10 pp.
- 1968. Hoya del río Suárez. Proyecto Ubaté-Lenguazaque. Estudio realizado por Factibility Development and Resource Corporation N. Y., U.S.A.
- 1974. Levantamiento Batimétrico de la Laguna de Fúquene. U. Distrital Francisco José de Caldas. 96 pp.
- 1979a. Estudio de la Laguna de Fúquene. Bogotá. 25 pp.
- 1979b. Normas para controlar calidad de las aguas de uso público y residuales en el Area de Jurisdicción de la CAR. Acuerdo 09 de 1979. 19 pp.
- CARIGNAN, R. and J. KALFF, 1982. Phosphorus release by submerged macrophytes: Significance to epiphyton and phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 27 (3): 419-427.
- 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 pp.
- CLEFF, A. M. and H. HOOGHIEMSTRA, 1984 in Van der Hammen. T. (ED). Present Vegetation of the Area of the High plain of Bogotá. In El Cuaternario in Colombia. 10: 42-66.
- CLIFFORD, H. T. and W. STEPHENSON, 1975. An Introduction to Numerical Classification, Academic Press N. Y., 229 pp.
- COESEL, P.F.M., 1975. The relevance of Desmids in the Biological Typology and Evaluation of Fresh Waters. Hydrobiological Bulletin (Amsterdam) 9 (3): 93-101.
- 1979. Desmids of the broads Area of N. W. - Overijssel (The Netherlands) I-II. Acta Botánica Neerl. 28 (6): 385-423; 28 (4/5): 257-279.
- 1983b. The significance of Desmids as indicators of the Trophic Status of Freshwaters. Schweiz. Z. Hydrol. 45 (2): 388-393.
- COESEL, P.F.M., J.CH., DONATO, S. DUQUE, 1986 *Staurastrum volans* VAR *fuquenense* Nov. Var., An Interesting Desmid Taxon in the Phytoplankton of Laguna Fuquene (Colombia). En prensa: Revista Caldasia.
- DE MIER, R. C., 1936. Geología de la región de la Laguna de Fúquene y pantanos adyacentes. Informe (38). Ingeominas.
- DE SPEELMAN, H. V., 1982. Hidrogeología de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Boletín Geológico 25 (1): 1-59.
- DIAZ, W., S. DUQUE, J. MOJICA, J. MOLINA, J. ROMERO, 1984. La Trucha en el Embalse del Neusa. Estudio Convenio CAR. Bogotá.
- DONATO, J. y S. DUQUE, (en prensa). Estudios ficológicos Colombianos I: Efecto de la Pluviosidad en la Dinámica Poblacional. Boletín Divulgativo. Depto. Biología. U. Nacional, Bogotá.
- ELGAVISH, A., M. HALMAN and T. BERMEN, 1982. A comparative study of phosphorus utilization and storage in batch cultures of *Peridinium cinctum*, *Pediastrum duplex* and *Cosmarium sp.* from Lake Kinneret (Israel). Phycologia. 21 (1): 47-54.
- FERNANDEZ, A., 1982. Guía para el estudio de las Algas. Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- FOGG, G. E., 1965. Algal Cultures and Phytoplankton Ecology. University of London. The Athlone Press. 125 pp.
- , 1971. Nitrogen Fixation in Lakes. Plant and Soil. Special Volume. 394-401.
- , W. D. P. Stewart, P. Fay and A. E. Walsby, 1973. The Blue-Green Algae. Academic Press - London. 459 pp.
- FORERO, E. (Ed), 1977. Instrucciones para coleccionar plantas. Notas Divulgativas I. C. N. Universidad Nacional, Bogotá, 29 pp.
- FRITSCH, F. E., 1977. The structure and reproduction of the Algae. 1-2. Cambridge University Press (Reprinted).
- GOLDSTEIN, M., 1964. Speciation and Mating Behavior in *Eudorina*. J. Protozool. 11 (3): 317-344.
- GOLTERMAN, H. L. and R. S. CLYMO, (Ed), 1971. Methods for Chemical Analysis of fresh waters. IBP Handbook (8) Oxford p 166.
- GREESON, P. E., (Ed) 1979. Methods for collection and analysis of aquatic biological and microbiological samples. Techniques of water-resources investigations of the U. S. Geological Survey. Chapter A4 Book 5. Laboratory Analysis. pp 91-111.
- HAMMEN, VAN DER, T y B. GEEL VAN, 1982. Historia geológica y secuencia vegetacional y climática de la Cordillera Oriental. Revista de Geografía de la Universidad Nacional. 3: 225-235.
- HASLER, A. D. and E. JONES, 1948. Demonstration of the Antagonistic action of Large Aquatic plants on Algae and Rotifers. Ecology 30 (3): 359-364.
- HINSON M. O. and D. J. BASTA, 1982 in Bosta and Bower (Ed). Analyzing surface receiving water bodies. In Analyzing Natural Systems. Resources for the Natural Washington, D. C. 245-388.
- HUBACH, E., 1953. Geología de la Isla El Santuario Laguna de Fúquene. Cund. Informe 901. Ingeominas 5 pp.
- HUTCHINSON, G. E., 1981. Introducción a la Ecología de las Poblaciones. Ed. Blume. Barcelona. 489 pp.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC), 1965. Suelos de Ubaté y Chiquinquirá. Estudio detallado de la zona (Valle y General) 1 (1) Bogotá.
- KUHN, D. L., J. L. PLAFKIN, J. CAIRNS Jr. and R. L. LOWE, 1981. Qualitative characterization of Aquatic Enviroments using Diatom Life-form strategies. Trans. Am. Microsc. Soc. 100 (2): 165-182.
- LEWIN, R. A. and S. P. GIBBS, 1982 in Rosowski and Parker (Ed). Algae of uncertain taxonomic position: Introduction and Bibliography. In Selected Paper in Phycology II. Lawrence, Kansas, U. S. A. 659-662.
- LUND, J. W. G., C. KIPLING and E. D. LE CREN, 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hidrología 2: 143-170.
- LUND, J. W. G., 1959. Bouyancy in relation to the Ecology of the freshwater phytoplankton. British Phycological Bulletin. 1 (7): 1-17.

- MARGALEF, R. 1957. La Teoría de la Información en Ecología. Mem. R. Acad. Ciencias. Artes Barcelona. 32 (13): 373-449.
- , 1974. Asociación o exclusión en la distribución de especies del mismo género en algas unicelulares. Mem. R. Acad. Cienc. Artes Barcelona. 42 (8): 2530272.
- , 1978a. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. Oceanológica Acta. 1 (4): 493-509.
- , 1980. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona, 951 pp.
- , 1983. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona. 1.010 pp.
- MARGALEF, R., D. P. LANAS, J. ARMENGOL, A. VIDAL, N. PRAT, A. GUISET, J. TOJA y M. ESTRADA, 1976. Limnología de los embalses españoles. Dirección General de Obras Hidráulicas Ministerio de Obras Públicas. Madrid. 452 pp.
- MARQUEZ, G., 1985. Sucesión Ecológica e Impacto Ambiental en el Embalse de Hidroprado, Tolima, Colombia. Boletín Dpto. de Biología Univ. Nacional. 2 (6): 69-85.
- MITCHEL, D. S., (Ed) 1974. Aquatic vegetation and its use and control. UNESCO 135 pp.
- MOLINA, J., 1983. Estudios del Fitoplancton de aguas tropicales frías y continentales. Embalse del Sisga. Trabajo de Tesis. U. Javeriana. Bogotá.
- MUNK, W. H. and G. A. RILEY, 1952. Absorption of Nutrients by Aquatic Plants. J. Mar. Res. 11: 215-240.
- MURPHY, G. C., 1962. Effect of mixing depth and turbidity on the productivity of fresh water impoundments. Trans. Am. Fish. Soc. 61: 69-75.
- NASSAR, M. C., 1979. Notas e Hidrología. Río Ubaté-Suárez. CAR. 24 pp.
- ODUM, E. P., 1980a. En Van Dobben y Lowe-McConnell (Ed). La Diversidad como función del Flujo de Energía. En conceptos unificadores en Ecología. Editorial Blume. Barcelona. 14-18.
- ODUM, T. H., 1980b. Ambiente, energía y sociedad. Editorial Blume. Barcelona.
- OWENS, O. H. and W. E. ESAIAS, 1976. Physiological Responses of phytoplankton to major environmental factors. Ann. Rev. Plant. Physiol. 27: 461-483.
- PATRICK, W. H. and R. A. KHALID, 1974, Phosphate release and sorption by soils and sediments: Effect of Aerobic and Anaerobic conditions. Science. 186: 53-55.
- PENFOUND, W. T. and T. T. EARLE, 1948. The Biology of the water hyacinth. Ecological Monographs, 18 (4): 449-472.
- RHEE, G. Y., 1972. Competition between an Alga and an aquatic bacterium for phosphate. Limnol. Oceanogr. 17: 505-514.
- RIGLER, F. H., 1980. En Van Dobben y Lowe-McConnell (Ed). El concepto de flujo de energía y el flujo de nutrientes entre niveles tróficos. En conceptos unificadores en Ecología. Editorial Blume. Barcelona. 19-35.
- SALAS, J. H., 1983. Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos (antes, Lagos Tropicales). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y Organización Panamericana de la Salud (OPS). 14 pp.
- SCHINDLER, D. W., 1977. Evolution of Phosphorus limitation in lakes. Science. 195: 260-262.
- SERRANO, S. y G. JOUSMA, 1980. Hidrología de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Informe 1927, Ingeominas. Bogotá.
- SHILO, M., 1980. En Van Dobben y Lowe-McConnell (Ed). Factores implicados en la dinámica de las proliferaciones de Algas en la naturaleza. En Conceptos Unificadores en Ecología. Editorial Blume. Barcelona. 160-167.
- STRASKABA, M., 1979. Natural Control Mechanisms in Models of Aquatic Ecosystems. Ecological Modelling. 6: 305-321.
- , 1980. Cybernetic Categories of Ecosystem Dynamics. ISEM Journal. 2 (1-2): 81-96.
- TAYLOR, W. R., 1935. Alpine Algae from the Sta. Marta mountains Colombia. Amer. Journal Bot. 22 (9): 763-778.
- TITMAN, D. and P. KILHAM, 1976. Sinking in freshwater phytoplankton: Some ecological implications of cell nutrient status and physical mixing processes. Limnol. Oceanogr. 21 (3) 409-417.
- WETS B. S., 1914. En Fuhmann et Mayor (Ed). A contribution to our knowledge of fresh water algae of Colombia. In voyage d'exploration scientifique en Colombia. 1013-1051. New Chatel.
- WETZEL, R. G., 1981. Limnología. Omega Ediciones, Barcelona. 679 pp.