

CICLO DEL FITOPLANCTON Y BACTERIOPLANCTON EN EL EMBALSE DE CLAVELLINOS, EDO. SUCRE, VENEZUELA

ELVIRA FERRAZ-REYES y ESTHER FERNANDEZ ALVAREZ

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela

RESUMEN: El Embalse de Clavellinos, Edo. Sucre, Venezuela, de forma dendrítica, fue visitado mensualmente desde septiembre 1983 a julio de 1984, se fijaron 5 estaciones que se muestrearon a intervalos de 5 m, desde la superficie al fondo. Se expresan los resultados de la estación 1. De acuerdo a la variabilidad de la temperatura, el embalse es monomítico cálido; presentó un período de estancamiento aproximadamente de abril-mayo a noviembre. La distribución vertical del oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación evidenciaron muy bajos niveles cuando la estratificación fue más acusada (septiembre-noviembre). La comunidad fitoplanctónica, en estos meses, estuvo dominada por clorofitas y diatomeas y se produjo el máximo incremento durante este período; su relación con la población bacteriana fue altamente significativa ($r= 0.90$). La población bacteriana heterotrofa mostró invariablemente aumentos entre 20 y 30 m, que se asocian a la oxiclina presente por su actividad respiratoria y la descomposición de la materia orgánica relacionada a la alta productividad primaria de la zona fótica. El efecto de los vientos alisios provocó el mezclamiento de la masa de agua, a partir de diciembre, como se hizo evidente por el comportamiento de los parámetros físicos y biológicos. No se observó dominancia entre los grupos fitopláctónicos; hubo una clara relación inversa entre la biomasa fitoplanctónica y la población bacteriana heterotrofa ($r= -0.90$). De acuerdo al porcentaje de saturación de oxígeno, el proceso de mezcla se completó en el mes de marzo, cuando se observó el mínimo número de organismos fitoplanctónicos y de bacterias hetrotrofas; con dominancia de cianofitas (*Microcystis aeruginosa*) hasta el final del período de muestreo. Se considera al embalse en proceso de eutroficación, tomando en cuenta la sucesión fitoplanctónica. Los análisis de coliformes demostraron que, en ese momento, el embalse reunía las condiciones exigidas por el MARNR para cuerpos de agua de esta naturaleza.

ABSTRAC: Clavellinos Dam (Sucre, State, Venezuela) has a dendritic form. The five stations chosen along the dam were sampled at 5 m intervals from the surface to the bottom, once a month, from September 1983 to July 1984. According to the distribution obtained during the sampling period, the dam can be classified as warm monomictic; stagnation of the waters occurred from April to November. The vertical distribution of oxygen and its saturation percentage showed very low values during the period September-November, when stagnation was most severe. The phytoplanktonic community was dominated by chlorophytes and diatoms throughout the study and a numerical increase occurred during the period mentioned above. It was found that there was a highly significant correlation ($r= 0.90$) between the phytoplanktonic and the bacterial community. The latter showed its highest numbers at the depth range of 20-30 m and was associated to the oxycline due to respiration and decomposition of organic matter. The Trade Winds generated mixing of waters from December onwards; this observation was evident from the vertical distribution of the physical and biological parameters studied. The floristic composition did not show any clear dominance among the main groups (chlorophytes, cyanophytes and diatoms). By March, the mixing process was complete and there occurred the lowest number of phytoplankton and heterotrophic bacteria; cyanophytes (*Microcystis aeruginosa*) dominated the community up to the end of the study. The diversity values of phytoplanktonic community were higher during the period of stagnation. The results indicate that the dam is slightly eutrophic and that by the time of the study the results of the coliform counts meet the standards set by MARNR for dams.

INTRODUCCION

El Embalse de Clavellinos, de forma dendrítica (fig. 1), se encuentra ubicado sobre el Río Clavellinos, en el Edo. Sucre, al este de Venezuela. El propósito de la creación de este embalse fue para el suministro de agua potable de las Islas de Margarita y Coche, y a las poblaciones de Carúpano y vecinas a Cariaco; además de utilizarse para el riego en 6.200 Has. del sistema de riego Cariaco. El valle del río y, en especial, la parte del cierre consiste en formaciones de lutitas, areniscas y calizas estratificadas casi verticalmente, las cuales son bastante permeables. Algunas características físicas se mencionan en la Tabla 1 de acuerdo a GONZALEZ (1978) y BENTTEZ (*com. pers.*). Como otros ríos tributarios de importancia, se encuentran el río Sta. Cruz y el Sta. María. Los terrenos aledaños al embalse se encuentran limitados al norte por la carretera que une la población de Muelle de Cariaco con Caripe del Guácharo y pasa la cresta de la presa. Hacia el oeste hay potreros y sembradíos y hacia el sur y el este hay pequeñas poblaciones y cultivos de diferentes tipos.

Con el objeto de diversificar aún más la utilidad de este embalse se acometió el estudio de sus características físico-químicas y biológicas. BENTTEZ (1984) presentó los resultados de elementos nutritivos (fósforo y nitrógeno) y de sus características físicas. En esta oportunidad se presentan los resultados del estudio de bacterias, organismos del fitoplancton, biomasa fitoplanctónica, sus relaciones y sus repuesta a las variabilidad física de la columna de agua en el Embalse Clavellinos.

METODOLOGIA

Los datos que se analizan en este trabajo abarcan un período de 11 meses entre septiembre de 1983 y julio de 1984.

Se ubicaron cinco (5) estaciones (fig. 1), las cuales se visitaron mensualmente. Las muestras para los análisis físico-químicos y biológicos se colectaron cada 5 m. desde la superficie hasta los 30 m. de profundidad en la esta-

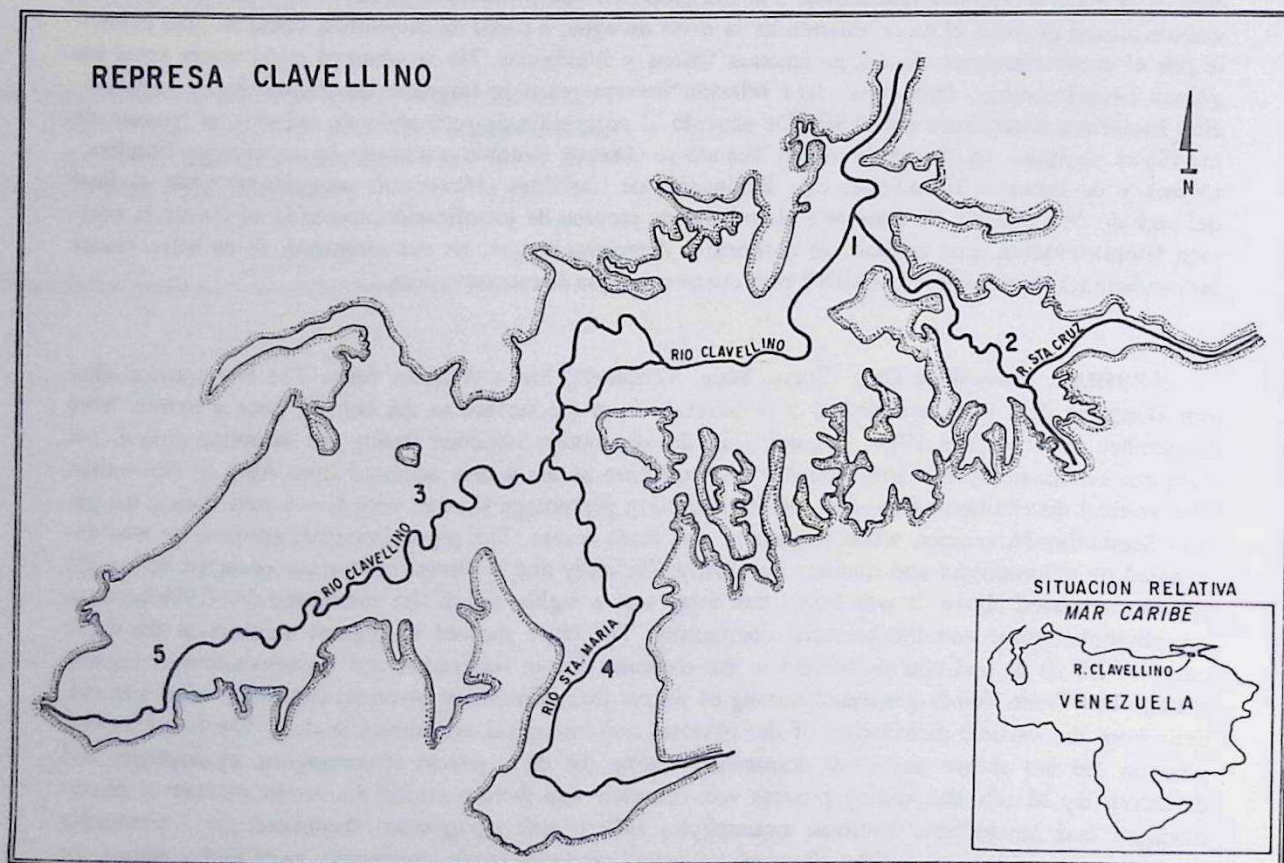


Fig.1.- Situación geográfica del Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) y ubicación de las estaciones muestreadas.

TABLA 1.- RESUMEN DE CARACTERISTICAS DEL EMBALSE CLAVELLINOS, EDO. SUCRE.

Latitud 10°20' N
Longitud 63°38' W
Elevación sobre nivel del mar 290 m.
Area del Embalse 1050 hectáreas
Volumen normal de agua $135 \times 10^6 \text{ m}^3$
Profundidad máxima 30 m.
Profundidad promedio 19 m.

ción 1 ubicada en la parte más profunda del embalse cerca de la torre-toma. Las otras fluctuaron entre 2 y 15 m. de profundidad. Los análisis de temperatura se realizaron con termómetro de superficie graduado en $0,10^\circ \text{ C}$ y la transparencia del agua se midió con un disco de Secchi de 25 cm. de diámetro. La concentración de oxígeno disuelto se determinó por el método de WINKLER (descrito por STRICKLAND y PARSONS, 1972). Las muestras de fitoplancton fueron preservadas en solución de lugol y posteriormente analizadas en el laboratorio utilizando el método de sedimentación diseñado por UTERMOHL (1958). La concentración de la biomasa fitoplanctónica (pimientos fotosintetizadores) fue determinada mediante la técnica de LORENZEN (descrita por STRICKLAND y PARSONS *op. cit.*). Se realizaron recuentos en placas de bacterias heterotrofas, utilizando para ello, dos modalidades y medios de cultivo: siembra por placa profunda y placa superficial (AARONSON-1970; COLWELL *et al.*, 1977), obteniéndose los mejores resultados con la segunda técnica. Los medios de cultivo usados fueron agar nutriente (Merck) con glucosa (Merck) añadida al 0,1% y agar marino (Difco). Los resultados que se discuten corresponden a los obtenidos en agar nutriente más glucosa.

Se realizaron determinaciones de coliformes sólo en seis oportunidades, practicando la técnica de tubos múltiples o número más probable (NMP) según las normas de la A.P.H.A (1980).

Los estudios bacteriológicos se comenzaron en octubre de 1983.

Las muestras de fitoplancton no fueron analizadas en diciembre (1983), ni en junio (1984), debido a problemas técnicos; en los demás meses los resultados se muestran integrados. Las especies coloniales como *Microcystis aeruginosa* se contaron por colonias, ya que los tratamientos para romper el mucílago resultaron deletéreos para otras especies (ZOHARY y PAIS MAIDEIRA, 1987). Se utilizó el índice de SHANNON-WEAVER (citados por ALVAREZ, 1986) para obtener la diversidad del fitoplanc-

ton y para las correlaciones entre bacterias y fitoplancton, las fórmulas dadas por SOKAL y ROHLF, 1969. Siguiendo el criterio de LEWIS y RIEHL (1982) en cuanto a la sistemática de las cianobacterias, hemos mantenido las separaciones entre especies que no muestran evidencias de morfología intermedias que hagan suponer que pertenecen a la misma. Aunque esto no excluye la posibilidad de que puedan pertenecer al mismo taxón. Por este método se mantiene el acuerdo de las separaciones tradicionales entre especies.

RESULTADOS

Entre todas las estaciones muestreadas y que abarcan el embalse se escogió como representante del mismo la estación 1, donde se observó de manera más definida la fluctuación de los diferentes parámetros, si bien, en todas las estaciones se observó la misma tendencia como se destaca en la Tabla 2. La Tabla 3 muestra los parámetros físicos y biológicos medidos en la estación 1.

TEMPERATURA:

La figura 2 muestra la estructura termal de la columna de agua en el Embalse Clavellinos durante el período de muestreo. La temperatura media del Embalse fue de $27,06^\circ \text{ C}$ con un rango de $26,2^\circ \text{ C}$ a $28,7^\circ \text{ C}$ (Tabla 3). Las máximas temperaturas se observaron desde septiembre de 1983 hasta noviembre del mismo año, en este período fue evidente la estratificación de la columna de agua, la cual desapareció completamente entre diciembre de 1983 y enero de 1984. La condición de mezcla de la columna de agua se mantuvo hasta mayo de 1984; en estos meses se observaron las menores temperaturas en el agua del embalse. Al partir de mayo comenzó a observarse un débil inicio de estratificación, el cual se acentuó en el último mes de muestreo, julio de 1984.

OXIGENO DISUELTO EN EL AGUA:

El oxígeno disuelto evidentemente es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan una respiración de tipo aerobio (WETZEL 1983), y su concentración es la resultante del equilibrio entre el agua y la atmósfera de la actividad fotosintética y de la respiración de los organismos acuáticos presentes en el cuerpo de agua.

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua del Embalse Clavellinos, se muestra en la Fig. 3. La concentración media de oxígeno disuelto fue de $3,70 \text{ ml O}_2 \cdot \text{l}^{-1}$, con un rango desde

TABLA 2.- COMPARACION DE RANGOS VALORES PROMEDIOS (\pm DESVIACIONES ESTANDARD) DE VALORES MEDIDOS EN LAS ESTACIONES 2, 3, 4 y 5 EN EL EMBALSE CLAVELLINOS, ESTADO SUCRE.

ESTACIONES	T (°C)		O ₂ (ml.l ⁻¹)		% Sal. O ₂		Transparencia (m)		PROF. (m)				
	RANGO	X \pm	RANGO	X \pm	RANGO	X \pm	RANGO	X \pm					
2	33	26.1 - 28.8	27.2 \pm 0.68	33	0.21 - 4.85	4.08 \pm 1.10	33	3.82 - 101.00	75 \pm 26.72	11	1.30 - 4.00	2.19 \pm 0.89	12
3	22	26.2 - 29.4	27.65 \pm 0.78	22	3.70 - 6.20	4.71 \pm 0.58	22	66.07 - 135.78	89 \pm 14.02	11	1.20 - 3.00	1.89 \pm 0.68	7
4	44	26.3 - 29.4	27.47 \pm 0.78	44	1.04 - 5.43	3.95 \pm 1.55	44	19 - 106.00	75 \pm 25.67	11	1.20 - 2.50	1.72 \pm 0.43	18
5	22	26.2 - 29.4	28.2 \pm 0.89	22	3.97 - 5.65	4.95 \pm 0.42	22	70 - 106.00	91 \pm 8.63	11	0.80 - 2.15	1.39 \pm 0.52	5

Ciclo del fitoplancton y bacterioplancton en el Embalse de Clavellinos.

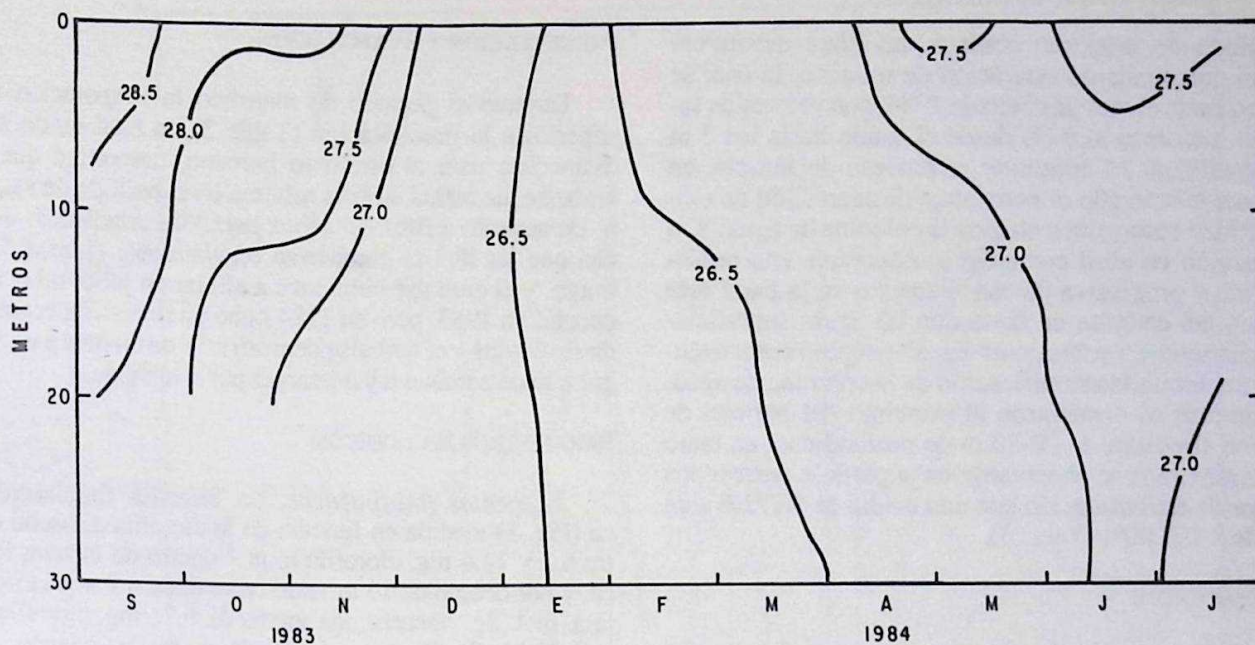


Fig. 2.- Estructura térmica (°C) del Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) durante septiembre 1983 - Julio 1984.

0.15 ml O₂. l⁻¹ hasta 5.45 ml O₂. l⁻¹ (Tabla 3). La máxima concentración se observó desde la superficie hasta los 10 m de profundidad con picos a 5 m. Desde septiembre a noviembre de 1983, se mantuvo la estratificación del oxígeno en la columna de agua. Entre diciembre 1983 y febrero 1984 la distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto en el agua fue homogéneo. Desde abril

a julio de 1984 comenzó a definirse nuevamente la estratificación del contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua.

PORCENTAJE DE SATURACION DE OXIGENO:

En el Embalse de Clavellinos (Fig. 4), al principio

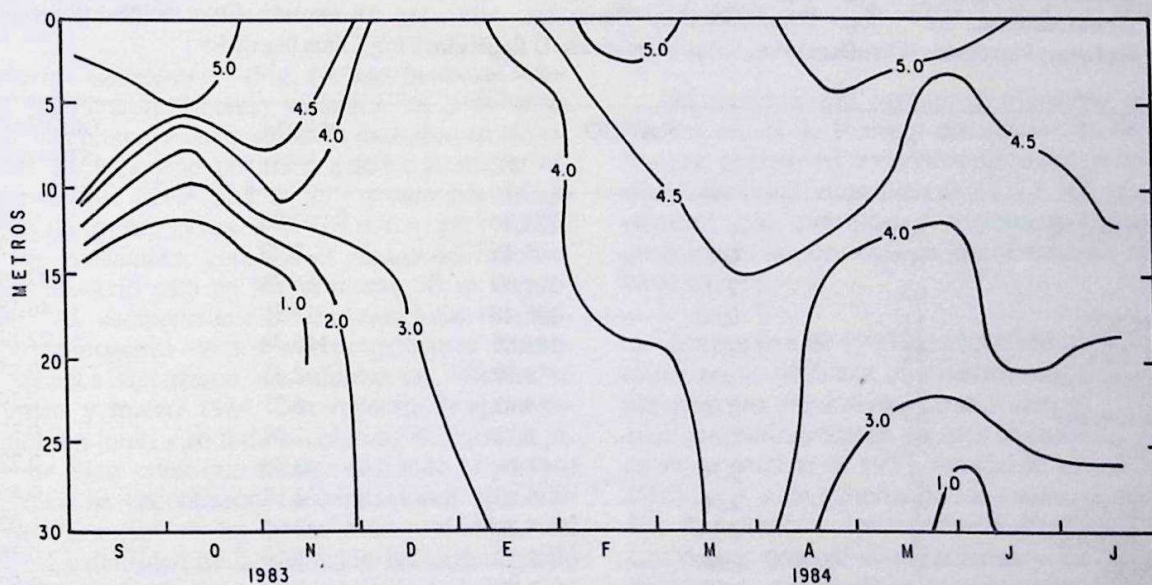


Fig. 3.- Distribución vertical del oxígeno disuelto (mlO₂.l⁻¹) en el Embalse Clavellinos durante septiembre 1983-Julio 1984.

del período de muestreo observó una clara estratificación del porcentaje de saturación de oxígeno, la cual se mantuvo hasta el mes de enero de 1984, con valores de saturación inferiores al 50% desde el fondo hasta los 5 m de profundidad. Al continuar el proceso de mezcla, en marzo del mismo año el porcentaje de saturación de oxígeno se hizo homogéneo en toda la columna de agua. Y, a continuación en abril comenzó a observarse una reducción lenta y progresiva de este elemento en la parte más profunda del embalse en tanto que las aguas superficiales se encontraron sobresaturadas de oxígeno comenzando de esta forma la estratificación de la columna de agua. Los mínimos se observaron al principio del período de muestreo alrededor de 20-30 m de profundidad, en tanto que los máximos se observaron en superficie durante los períodos de estratificación con una media de 66.73% y un rango de 2-109.00% (Tabla 3).

TRANSPARENCIA:

Las mediciones realizadas con el Disco de Secchi (Tabla 3), oscilaron entre 1,25 en julio de 1984, al comienzo del período de lluvias y 3,70 m en diciembre de 1983, al comienzo de la época de sequía, con una media de 2,45 m; el 1% de luz incidente en superficie osciló entre 3,10 y 9,50 m.

PRECIPITACION Y EVAPORACION:

Durante el período de muestreo la evaporación fue superior a la precipitación (Tabla 3), lo cual unido a la extracción para el consumo humano, determinó que el embalse alcanzará su cota mínima en el período de sequía. De acuerdo a BENITEZ (*com. pers.*) las estadísticas indican que las lluvias comienzan regularmente entre abril y mayo, y el embalse comienza a aliviar en julio, tal como ocurrió en 1983; pero en 1984 hubo un retraso en la entrada de lluvias y el embalse demoró más de un mes para llegar a su cota máxima y descargar por el aliviadero.

PARAMETROS BIOLOGICOS:

Pigmentos fotosintéticos. La biomasa fitoplanctónica (Fig. 5) medida en función de la clorofila *a*, osciló entre 6.1 y 14.4 mg. clorofila *a*. m⁻³ dentro de la zona fótica, y por debajo de 15 m varió entre 0.8 y 8.9 mg. clorofila *a*. m⁻³. Se observó una media de 6.73 mg. clorofila *a*. m⁻³ (Tabla 3). Durante el período de lluvias ocurrió una fuerte estratificación y los máximos valores. La estratificación se rompió en diciembre de 1983 y la situación de mezcla continuó hasta abril de 1984. La mínima concentración de la biomasa fitoplanctónica se encontró en marzo del mismo año. A partir de abril los resultados mos-

TABLA 3.- Características hidroquímicas y biológicas del Embalse Clavellinos, Edo. Sucre (1983-1984). Temperatura: T°C; Oxígeno disuelto en el agua: O₂ml⁻¹; Porcentaje de la saturación de oxígeno en el agua: % sat. O₂; Precipitación: ml³; Evaporación: ml³; Transparencia: m; Biomasa fitoplanctónica clorof. *a* mg.m⁻³; Unidades formadoras de colonias de heterotrofos: log U.F.C.ml⁻¹; Logaritmo número total de organismos del fitoplancton. ml⁻¹; log. NTO; Cyanobacterias. ml⁻¹; log. Cyanobacterias, Diatomeas. ml⁻¹; log Diatomeas, Chlorophytas. ml⁻¹; log Chlorophytas; Flagelados (Dinoflagelados, Cryptomonadales, U flagelados): log. Otros flagelados.

	n	RANGO			MEDIA	DESVIACION STANDARD
TEMPERATURA °C	63	26.20	—	28.70	27.06	0.62
O ₂ ml.l ⁻¹	63	0.13	—	5.45	3.70	1.42
% SAT. O ₂	63	2.00	—	109.00	66.73	27.99
PRECIPITACION	11	0.00	—	105.20	53.55	46.58
EVAPORACION +	12	110.10	—	181.80	140.78	22.19
TRANSPARENCIA	11	1.25	—	3.70	2.45	0.88
CLOROF. <i>a</i> . mg. m ⁻³	63	0.80	—	14.42	6.73	2.74
LOG. UFC. ml ⁻¹	54	1.43	—	2.78	2.09	0.35
LG. NTO	9	3.36	—	4.04	3.76	0.22
LOG. CHLOROPH.	9	2.36	—	3.85	3.18	0.45
LOG. DIATOMEAS	9	0.38	—	3.79	2.93	1.02
LOG. CYANOB.	9	2.80	—	3.52	3.19	0.26
LOG. OTROS FLAG.	9	1.88	—	3.28	2.39	0.52

+ PROMEDIOS MENSUALES DE 7 AÑOS, 1969 - 1976.

Ciclo del fitoplancton y bacterioplancton en el Embalse de Clavellinos.

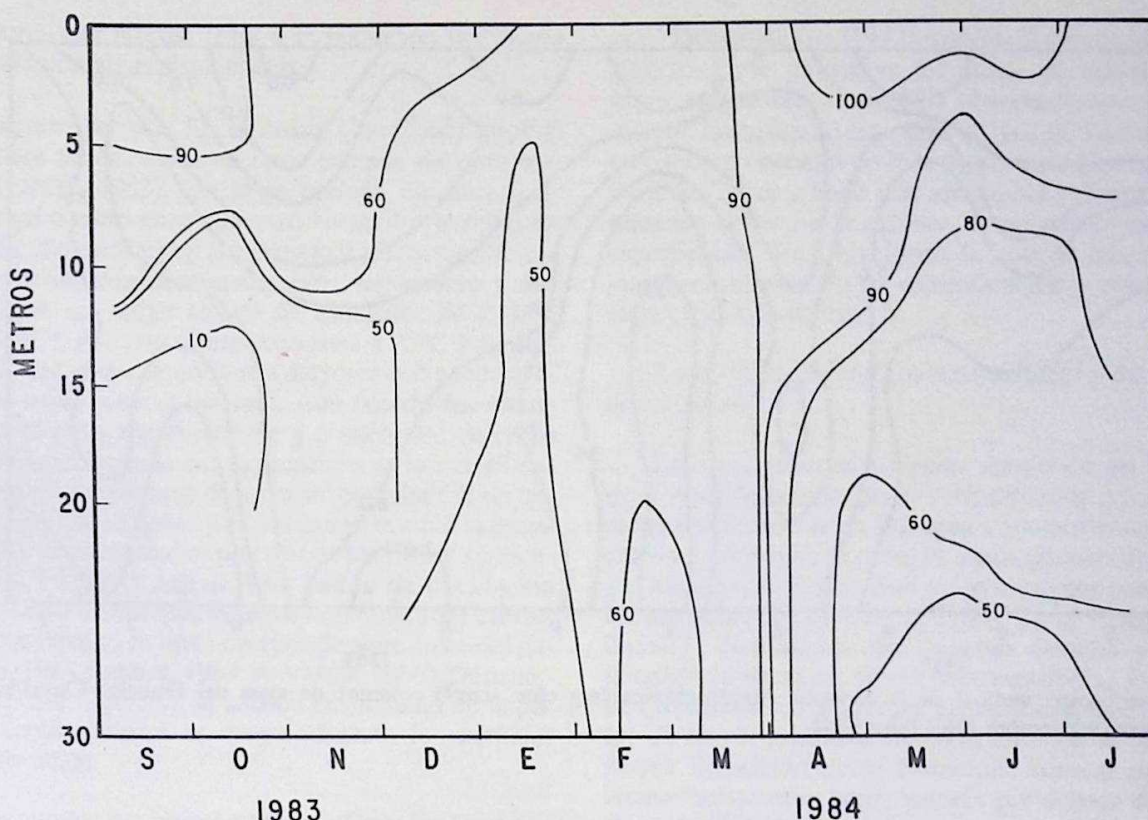


Fig. 4.- Distribución vertical del porcentaje de saturación de oxígeno en el Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) durante septiembre 1983-Julio 1984.

traron el comienzo de la estratificación con valores relativamente bajos en aguas profundas, lo cual sugiere un inicio de estabilidad de la masa de agua.

Bacterias heterotrofas (Fig. 6). Las bacterias heterotrofas presentaron valores variables en la columna de agua, al comienzo del período de muestreo se observaron dos núcleos, uno por encima de los 20 m con valores menores de 1×10^2 u. f. c. ml^{-1} y otro por debajo con los valores superiores a 2×10^2 u. f. c. ml^{-1} en octubre. En noviembre continuó el núcleo del hipolimnio, pero apareció otro en los primeros 10 m de profundidad. Al romperse la estratificación hubo una distribución homogénea de los microorganismos heterotrofos, quienes alcanzaron un mínimo en diciembre 1983, enero y marzo 1984, con repuntes de aguas superficiales en junio y en toda la columna de agua en julio. Es de hacer notar que durante casi todo el período de muestreo se encontraron concentraciones más elevadas de bacterias en las aguas más profundas del embalse. La densidad de la población bacteriana osciló entre 2.7×10^3 - 6.0×10^3 con una media de 1.2×10^3 (Tabla 3).

Variación anual del fitoplancton (Fig 7). La densidad del número total de organismos del fitoplancton fluctuó desde 2.3×10^3 hasta 11.0×10^3 org. ml^{-1} (Tabla 3).

Al comienzo del período de muestreo, que coincidió con los meses de lluvia y estratificación de la columna de agua, se observó la máxima densidad de organismos fitoplanctónicos con un pico de 11.0×10^3 org. ml^{-1} en noviembre. Las clorofilas y diatomeas constituyeron los grupos más importantes en la columna de agua del Embalse Clavellinos.

En octubre de 1963 las clorofitas alcanzaron una dominancia de 64% con el número mayor de especies (18) *Staurastrum tetradron*, *Cosmarium* sp. y *Dyctiosphaerium pulchellum* fueron las más abundantes. Las diatomeas en noviembre de 1953 obtuvieron su máxima densidad (60%) con siete géneros de los cuales el más importante fue *Achnantes* y los siguieron *Cyclotella* y *Navicula*. Los demás grupos: cianobacterias y los flagelados: dinoflagelados, euglenofitas y criptomonadales explican el resto del porcentaje durante el período de estratifica-

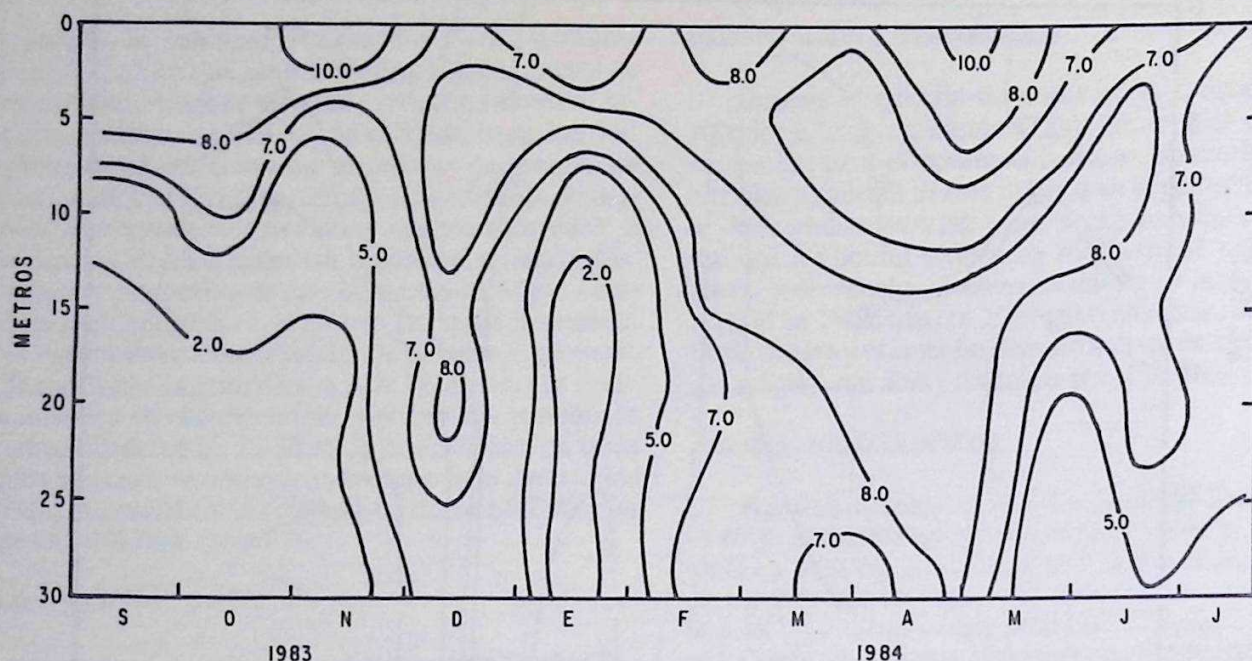


Fig. 5.- Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica ($\text{mg chlor. a.m}^{-3}$) columna de agua del Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) septiembre 1983-Julio 1984.

ción. La diversidad (H) durante estos meses fue 2.79, 2.51 y 2.89 respectivamente. A partir de enero y en febrero de 1984 la densidad de la población fitoplanctónica descendió sensiblemente y no se observó una clara dominancia de ninguno de los grupos con un aumento en la diversidad $H=3.76$ y $H=3.77$ respectivamente. En marzo, cuando se observó el mínimo número de organismos en la columna de agua ($2.3 \times 10^3 \text{ org. ml}^{-1}$), hubo un cambio en la dominancia, en esta oportunidad las cianobacterias (67%) con *Microcystis aeruginosa* constituyeron el grupo dominante y la diversidad fue una de las más bajas observadas en el período de muestreo ($H=2.60$). Hasta el final del período de muestreo en julio de 1984 las cianobacterias fueron las más abundantes, en abril comenzó a aumentar la población fitoplanctónica ($H=3.15$) y se mantuvo fluctuante hasta julio de 1984. Ya para este mes la población de diatomeas había pasado a un segundo lugar de importancia con el género *Achnantes* como el más importante, luego las clorofitas y los flagelados. La diversidad aumentó ligeramente ($H=3.25$) al aumentar al número de individuos.

El comportamiento de los distintos grupos que componen la comunidad fitoplanctónica permite separar claramente dos grupos; el primero conformado por clorofitas, diatomeas y cianobacterias y el segundo por el conjunto de flagelados que no fueron de importancia dentro de la estructura de la comunidad fitoplanctónica. Por

otra parte, la tasa de crecimiento aumentó rápidamente durante el principio del período de lluvias, con un cambio de la población fitoplanctónica de baja densidad a otra dominada por formas pequeñas, evidentemente de rápido crecimiento; las colonias de *Microcystis aeruginosa* se mostraron con formas más o menos regulares y con células aparentemente jóvenes muy turgentes. Aun cuando no se hicieron mediciones para determinar el volumen celular, las células de las cianofitas fueron siempre de menor tamaño que las células de las clorofitas, diatomeas y algunos grupos de flagelados, pero esto fue compensado por el mayor número de células que presentaron en el período cuando fueron dominantes.

DISCUSION

La variación en la estructura vertical de la población planctónica: fito y bacterioplancton, como la sucesión fitoplanctónica dependen de los factores climáticos que afectan toda el área y de la morfometría del embalse. Los vientos alisios que periódicamente soplan desde el inicio del invierno en el hemisferio norte en dirección este-noreste, aproximadamente desde diciembre y continúan con mayor o menor intensidad hasta abril o mayo del año siguiente; cuando disminuyen cambian ligeramente de dirección y se inicia el período de lluvias. Estas estaciones: seca y lluviosa, van a determinar todos los de-

más factores que afectan tanto a la población bacteriana como a las microalgas planctónicas.

Estructura termal. El Embalse Clavellinos mostró la estructura termal típica de estos cuerpos de agua tropicales (LEWIS, 1983). Un largo período de estratificación que en nuestro caso comenzó en abril y terminó en noviembre. Se caracterizó por presentar gradientes térmicos que fueron más acentuados entre septiembre y noviembre con un rango termal de alrededor de 2. 0°C (26.5-28.5°C). A temperaturas cercanas a 25°C los cambios de densidad que ocurren son mayores que a temperaturas más bajas (LEWIS. *op. cit.*). Aún cuando los muestreos se realizaron mensualmente y a intervalos de cinco metros, indudablemente que la presencia de la estratificación dentro de la columna de agua del embalse fue un hecho real. Entre noviembre y diciembre se rompió la estratificación y se acentuó este proceso en los meses siguientes, enero, febrero y marzo. Este patrón de circulación definido como de cuerpos de agua monomícticos calientes se ha observado en otros cuerpos de agua dulce del país (LEWIS, 1983, SENIOR, 1984. ALVAREZ, 1986). De acuerdo a ALVAREZ (*op. cit.*), la tasa de crecimiento de la población fitoplanctónica es mayor durante los períodos de estratificación.

Algo similar fue observado en el Embalse Lagartijo

por FERRAZ-REYES (1972), cuando la mayor biomasa fitoplanctónica se obtuvo en los meses de septiembre, octubre y noviembre, no llegó a observarse la total renovación de las aguas de ese embalse, por ser bastante profundo para esa época, pero la termoclina se hundió por debajo de los 20 m y hubo una apreciable reducción del fitopláncton debido a la escasez de nutrientes en las aguas superficiales. En Clavellinos la tasa de crecimiento fue mayor en el período de estratificación y disminuyó durante el período de mezcla.

La distribución del oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación:

La saturación de oxígeno dentro de un cuerpo de agua viene dada tanto por la concentración de este gas, como por la temperatura del agua y los movimientos verticales y laterales de la masa de agua, además de los procesos biológicos: producción y consumo por parte de organismos acuáticos (WETZEL, 1983). En el Embalse Clavellinos la distribución del oxígeno disuelto presente en la columna de agua, sirvió para corroborar los procesos de estratificación y mezcla ya mencionados. En los meses de mayor gradiente térmico, también se observó una mayor definición de la estructura vertical del oxígeno alcanzándose muy bajos valores por debajo de los 15 m de profundidad y por supuesto con muy bajos valores de

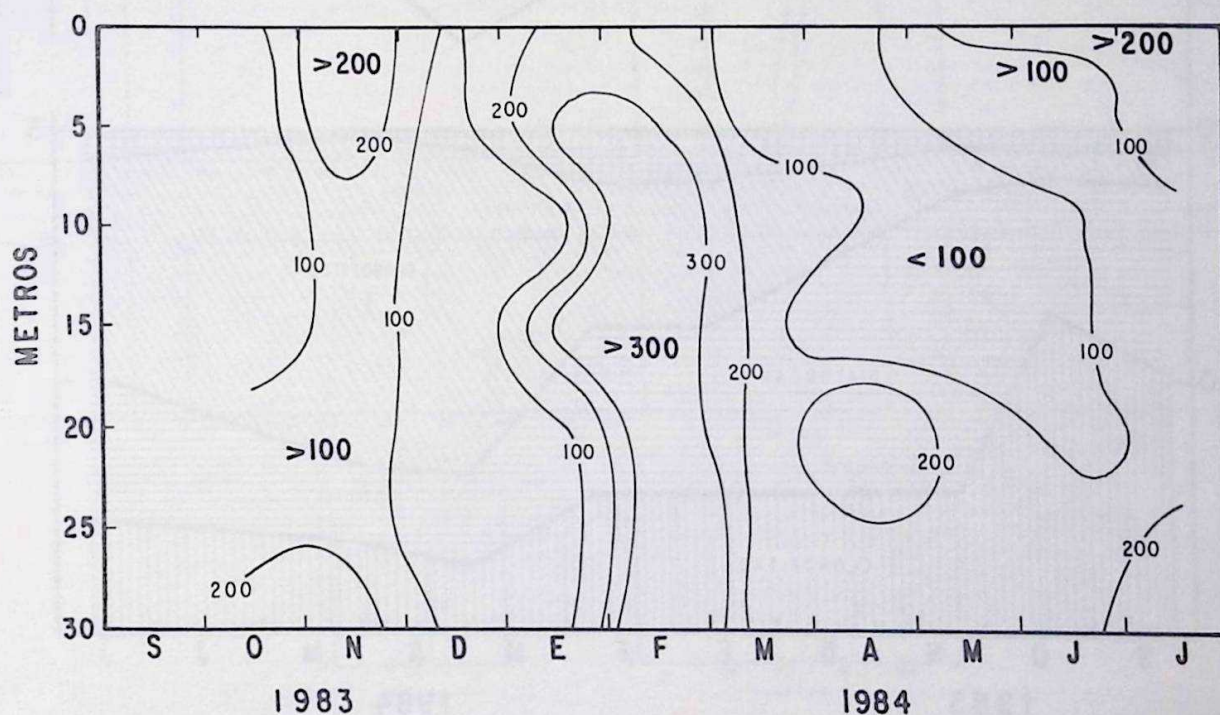


Fig. 6.- Distribución vertical de las bacterias heterotrofas (U.F.C.ml⁻¹) en el Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) durante septiembre 1983-Julio 1984.

saturación, que probablemente tengan mucho que ver también con el tiempo de residencia del agua en esos estratos y la actividad bacteriana al descomponer la materia orgánica que allí se había depositado. La condición de saturación dentro del Embalse Clavellinos se hizo más notable al realizarse el proceso de mezcla y estas aguas insaturadas distribuirse en la columna de agua contaminadamente con una notable disminución de la población de bacterias heterotrofas y del fitoplancton del embalse. Este mezclamiento de las aguas superficiales sobresaturadas de oxígeno, con las insaturadas del fondo alcanzó su climax en el mes de marzo cuando se homogenizó toda la columna de agua. Si bien es cierto que la distribución del oxígeno disuelto en agua debe tomarse con precaución por las razones expuestas antes: factores físicos y biológicos, es evidente que, los niveles de tensión de

oxígeno en el fondo del embalse están relacionados con los procesos de estratificación y mezcla que ocurren de manera periódica y predecible. De acuerdo a ROBERTS (1979), muchos factores pueden provocar la mezcla. Al comenzar a soplar los vientos Alisios disminuye la temperatura ambiental contribuyendo a bajar la temperatura del agua superficial y por otra parte, los vientos mismos que al aumentar su velocidad contribuyeron de una manera definitiva al mezclamiento. Entre abril y julio el embalse presentó indicios de estratificación.

Transparencia y porcentaje de luz incidente en superficie. A pesar de no mostrarse un claro patrón estacional, en los meses de sequía el cielo normalmente se encuentra despejado y la irradiación solar alcanzó su máximo, con la mayor penetración de la luz en la columna de

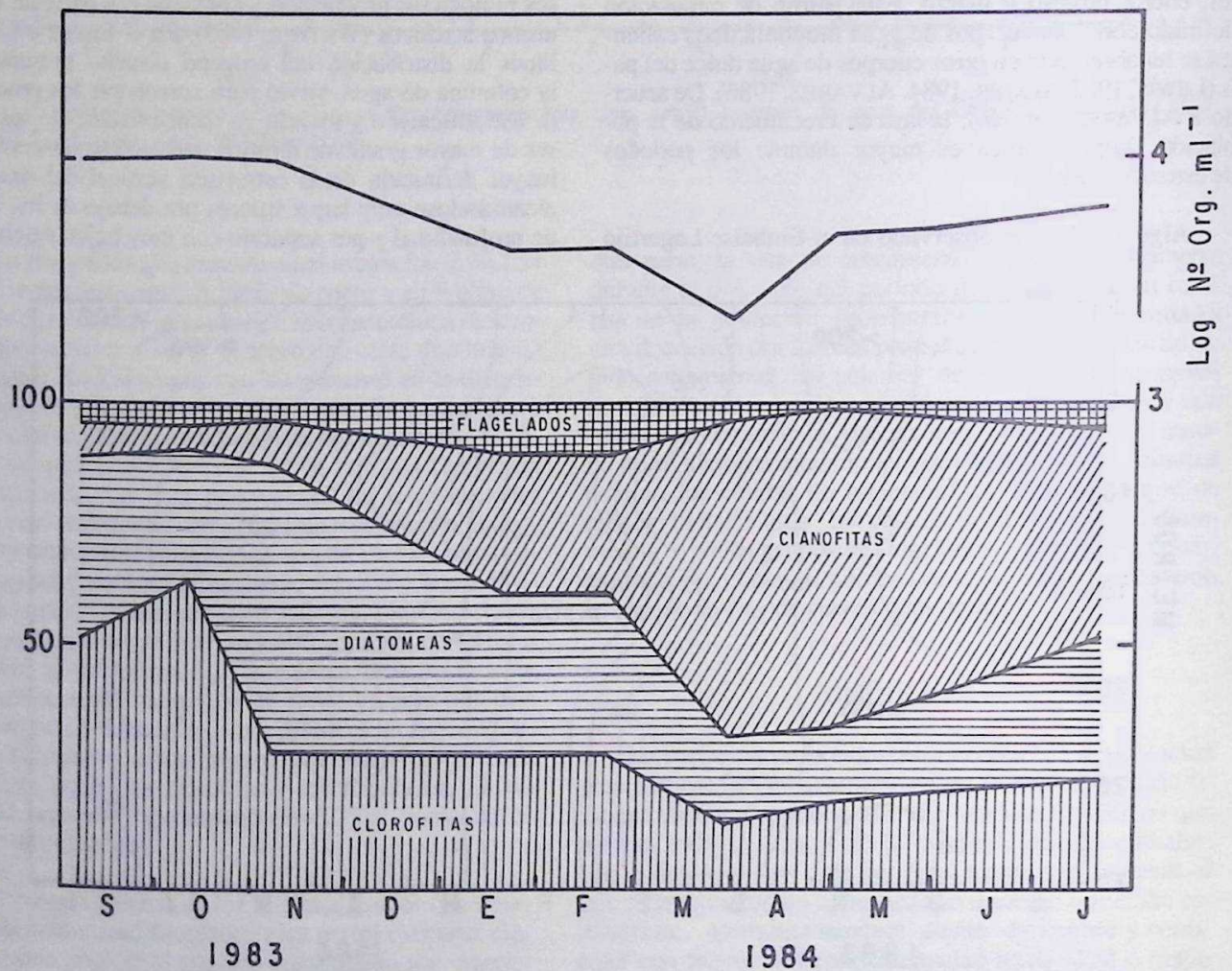


Fig. 7.- Variación anual del fitoplancton en el Embalse Clavellinos (Edo. Sucre) durante septiembre 1983-Julio 1984. a) N° total de organismos (org.ml⁻¹); b) Porcentaje de los diferentes grupos de organismos fitoplanctónicos.

agua del Embalse Clavellinos, por otra parte, al bajar el nivel de los ríos que alimentan el embalse, disminuyó la cantidad de material suspendido en el agua alcanzándose el 1% de luz incidente en superficie alrededor de los 10 m de profundidad. En estos meses también el embalse llegó a su cota mínima, debido a la extracción de agua por una parte y poco caudal de los ríos que lo alimentan. Durante los meses de lluvia aumentó la nubosidad disminuyendo así la irradiación solar incidente y aumentó la cantidad de sólidos presentes debido al aporte torrencial de los ríos que forman el embalse, alcanzándose la menor penetración de la luz por lo tanto, haciendo más angosta la zona iluminada apropiada para la fotosíntesis.

El efecto de la temperatura del principal tributario del embalse, el Río Clavellinos, se observa en la Tabla 2. Las estaciones ubicadas a lo largo del cauce del río (Fig. 1) se caracterizaron por presentar una media de la temperatura igual o superior a la de la estación principal en los estratos superiores. De acuerdo a MARGALEF (1983) el agua de un río que penetra en un embalse se extiende de acuerdo con su densidad, en superficie sobre fondo o en un nivel intermedio. La densidad depende fundamentalmente de la temperatura y los materiales en sus-

pensión. Nosotros no determinamos sólidos en suspensión, sin embargo, debido a las características físicas tan similares entre estas estaciones, concluimos que la corriente del río se desplaza por las aguas superficiales del embalse, aumentando de esta forma la turbidez y la turbulencia de las aguas ubicadas superficialmente. Lo cual permitió el desarrollo de poblaciones de diatomeas de rápido crecimiento. Por otra parte, esta corriente superficial creó una trampa para el agua que se encontraba por debajo de los 10-15 m de profundidad, permitiéndole de este modo un mayor tiempo de residencia por debajo de la zona iluminada y colaborando a la formación de una zona con baja saturación de oxígeno.

Influencia de los parámetros físicos sobre la población del fitoplancton y las bacterias heterotrofas. Para demostrar este efecto, hemos escogido algunas fechas donde se evidenciaron no solo los efectos físicos, sino la posible interacción de una población sobre otra. Al comienzo del período de muestreo (Fig 8A), podemos observar que tanto la temperatura como el oxígeno disuelto en la columna de agua se encontraban estratificados y la población bacteriana heterotrofa mostró una distribución vertical muy semejante con la biomasa fitoplanctónica

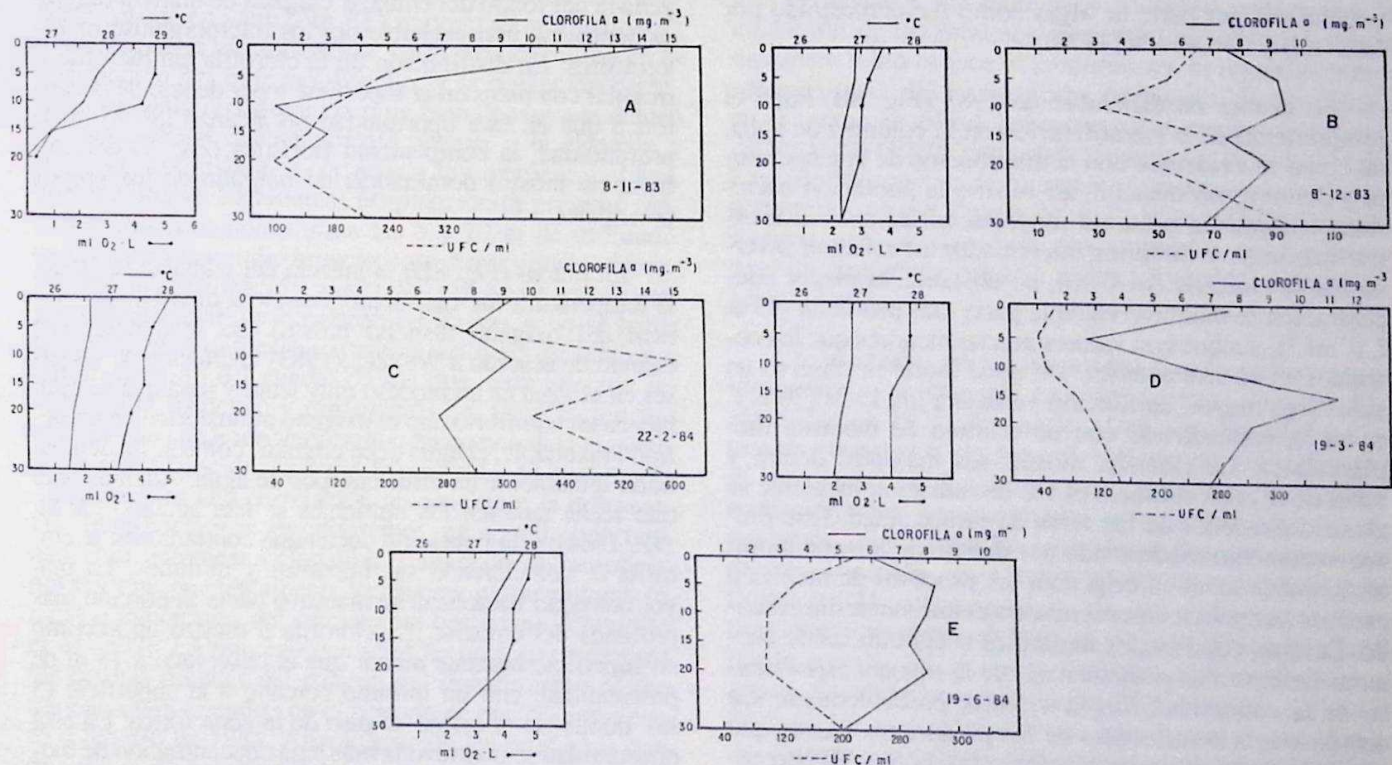


Fig. 8.- Distribución vertical de la temperatura (°C), oxígeno disuelto (ml.l⁻¹), bacterias heterotrofas (U.F.C. ml⁻¹) y biomasa fitoplanctónica (mg clor. a m⁻³) en el Embalse Clavellinos durante: A. noviembre 1983; B. diciembre 1983; C. febrero; D. marzo; E. junio 1984.

nica hasta los 20, m de profundidad, luego las bacterias dieron un máximo alrededor de los 30 m (214 u. f. c. ml^{-1}). En esta oportunidad la población fitoplanctónica estuvo dominada por diatomeas y clorofitas y se produjo un pico tanto el número de org. ml^{-1} como de clorofila *a* (14.42 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$). La población bacteriana mostró una distribución clásica (MARGALEF, 1983), con un máximo en la superficie (325 u. f. c. ml^{-1}) disminuyendo luego con profundidad para aumentar de nuevo en el fondo, este máximo es característico de las épocas de estancamiento y colabora activamente en la insaturación de oxígeno en las aguas no iluminadas y sin mayor movimiento del período de estratificación WETZEL 1983). La clorofila *a* a su vez mostró altas concentraciones superficiales disminuyendo abruptamente hasta los 10 m donde se localizó el 1% de la luz incidente en superficie, presentando luego un pequeño incremento que puede tener su origen en el fitoplancton que ha descendido por debajo de la zona eufótica y debido a la diferencia de densidad provocada por la termoclina se ha acumulado a esa profundidad; en esta oportunidad la relación entre ambas poblaciones ($r=0.90$) es altamente significativa y denota la afinidad entre la población fitoplanctónica y de bacterias heterotrofas; se asume que el crecimiento paralelo de las dos poblaciones fue debido a la liberación de productos extracelulares por parte de algas como fue demostrado por MEFFERT y OVERBECK (1979).

En el mes de diciembre de 1983 (Fig. 8B) hubo el rompimiento de la estratificación en la columna de agua, tal como se evidenció con la distribución de la temperatura y del oxígeno disuelto, así mismo la población bacteriana heterotrofa presentó mayores variaciones al mostrar máximos y mínimos intercalados en relación inversa con la clorofila ($r=-0.90$), no obstante, la mayor concentración se mantuvo hacia la parte más profunda (95 u. f. c. ml^{-1}), aunque con valores mucho menores que los obtenidos en el mes anterior. De igual modo se observó un valor algo mayor, en función vertical a los 15 m (70 u. f. c. ml^{-1}), coincidiendo con un mínimo de biomasa fitoplanctónica. La clorofila mostró sus máximos dentro y fuera de la zona eufótica: el 1% de radiación incidente se alcanzó alrededor de los 10 m de profundidad. Este último incremento evidenciado por debajo de la zona iluminada, puede tener su origen en los procesos de mezcla o causado por poblaciones senescentes que van sedimentando. En estas condiciones inestables la comunidad de bacterias heterotrofas planctónicas fue la imagen espectacular de la comunidad fitoplanctónica, probablemente sea debido más a la influencia de los parámetros físicos que a la interacción de una población sobre la otra. El porcentaje de saturación de oxígeno sin embargo, mostró bajos valores (Fig. 4) en los estratos más profundos donde continuó encontrándose el máximo de bacterias heterotro-

fas. Indudablemente la estratificación permite la proliferación de cepas adaptadas a la explotación de las condiciones precisas de cada nivel. La mezcla vertical perturba esta situación y favorece especialmente a los oportunistas en cualquier ocasión, como resultado la correlación entre bacterias y densidad fitoplanctónica es frecuentemente negativa, debido a la diferente dependencia de la luz y de la segregación de material (MARGALEF, 1983; HAFFNER *et al* 1980).

Al continuar el proceso de mezcla en los meses siguientes, las relaciones entre las dos poblaciones no son significativas. Febrero (Fig. 8C) se proyectó totalmente distinto, la temperatura y el oxígeno siguen delatando la condición de mezcla existente en el embalse, la distribución de la población bacteriana no mostró máximos en la superficie, quizás debido a competencia, predación o exceso de iluminación con los valores más bajos en los estratos superficiales (195 u. f. c. m^{-1}). En esta oportunidad la densidad de heterotrofas fue la más elevada de todas las observaciones hechas y su relación con la clorofila fue lineal, el máximo valor se observó invariablemente en el fondo. Quizás, el porcentaje de saturación de oxígeno (Fig. 3-4) hace más notoria la distribución bacteriana, al evidenciarse el movimiento de agua poco oxigenada del fondo del embalse cargada de materia orgánica detritica, aprovechable por los microorganismos heterotrofos. La distribución de la clorofila también fue irregular con picos en la superficie y por debajo de la capa fótica que en esta oportunidad no alcanzó los 10 m de profundidad, la composición florística (Fig. 7) del embalse no mostró dominancia de ninguno de los grupos principales.

En marzo (Fig. 8D) la mezcla del embalse fue total, la temperatura fue casi homogénea y la distribución vertical del oxígeno disuelto mostró esa tendencia; aun cuando de acuerdo a WETZEL (1983) la difusión de los gases en el agua es un proceso muy lento y para que se establezca un equilibrio con el oxígeno atmosférico en un período razonable, el agua debe circular, como se ha demostrado igualmente en otros cuerpos de agua. Además para esta fecha también los nutrientes se han agotado (BENITEZ, 1984), y la población bacteriana continúa con la clorofila *a*, coincidiendo sus máximos y mínimos. La mayor densidad bacteriana se mantuvo hacia la porción más profunda del embalse. La clorofila *a* mostró un máximo en superficie bastante menor que el observado a 15 m de profundidad, con un mínimo cercano a la superficie (5 m) donde se localizó el piso de la zona fótica. En esta oportunidad se mantuvo la más baja concentración de biomasa fitoplanctónica y de la densidad poblacional de bacterias heterotrofas, contemplándose también un cambio en la composición florística en las aguas del embalse.

Las cianofitas o cianobacterias dominaron la comunidad casi exclusivamente con *Microcystis aeruginosa*, esta especie se presenta como una colonia, envuelta en una matriz gelatinosa, muy variable e irregular, tanto en tamaño como en forma. Sus células son pequeñas con vacuolas de aire densamente aglomeradas dentro de la matriz; estas vacuolas aumentan la flotabilidad de la colonia que, para ser efectiva debe contrarrestar los efectos de la turbulencia. La relación superficie: volumen es pequeña y la incorporación de nutrientes es reducida, por lo tanto, estas cianobacterias epilimnéticas proliferan en aguas eutróficas.

De acuerdo a REYNOLDS *et al* (1987) el hecho más notable de las cianobacterias planctónicas es la diversidad de sus adaptaciones morfológicas y de comportamiento. Sus diferentes adaptaciones contribuyen colectivamente a la habilidad del grupo para explotar un amplio espectro de variabilidades ambientales en el sentido más amplio. Una de las características más resaltantes de *M. aeruginosa* son las vacuolas de gas intracelulares que aumentan significativamente su flotación al aumentar el turgor celular.

En mayo no se pudieron realizar los estudios bacteriológicos, lo cual hubiese sido muy interesante de considerar, ya que en junio (Fig. 8E) se observaron signos más evidentes de la estratificación, tanto térmica, como en la distribución del oxígeno disuelto, y la población bacteriana presentó una situación muy bien demarcada dentro de una relación diametralmente opuesta a la clorofila *a* ($r=-0.80$), con máximos cercanos a la superficie y el fondo del embalse. La biomasa fitoplanctónica presentó máximas concentraciones entre los 5 y 20 m de profundidad, y luego descendió bruscamente. Ya se comenzó a notar que la estratificación avanzaba a pesar de que en este año en particular, se retrasaron las lluvias, y no se había notado ningún aumento sustancial del nivel del embalse por el aumento del caudal de los ríos. Esta relación inversa entre bacterias y organismos del fitoplancton nos plantea una situación interesante: ha comenzado el período de estratificación, es decir, lo opuesto a diciembre, observamos una alta correlación inversa, pero la dominancia fitoplanctónica es diferente; en aquella oportunidad, eran diatomeas y clorofitas, y ahora encontramos cianofitas que pueden liberar sustancias extracelulares tóxicas o inhibitorias del crecimiento bacteriano (COVENEY *et al* 1977). La máxima densidad de bacterias heterótrofas ocurrió después del colapso del florecimiento de diatomeas, coincidiendo con el período de mezcla entre enero y febrero de 1984. Aparentemente los productos dendríticos y de autólisis del fitoplancton son más importantes para el incremento bacteriano que la liberación de productos orgánicos durante el crecimiento exponen-

cial de las diatomeas y clorofitas. En junio y julio, cuando ocurrió el pico de cianobacterias hubo una disminución del pico bacteriano. De acuerdo a OLAH, (1973, citado por COVENEY *et al* 1977), esto parece indicar una sucesión de bacterias viviendo sobre los productos liberados por el fitopláncton vivo, a una población bacteriana que vive de detritus y de la autólisis de las células fitoplanctónicas del florecimiento que declinó.

Aun cuando no se realizaron estudios del zooplancton presente en el embalse, los resultados obtenidos por INFANTE en el Lago de Valencia (1982) nos hace suponer un comportamiento similar en el Embalse Clavellinos y posiblemente la caída de la población bacteriana y de biomasa fitoplanctónica en el mes de marzo tenga su origen en un máximo de zooplancton. Por otra parte, la presencia y dominancia de *Microcystis aeruginosa* durante un período aproximadamente de cuatro meses en el embalse debe ser muy tomado en cuenta, ya que, estudios realizados por INFANTE (1984); HANEY (1987); LAMPERT (1987) y otros investigadores de las interrelaciones del zooplancton y las cianobacterias, en casi todos los casos, han probado ser deletereos para el zooplancton debido no solo a la posible toxicidad de lagunas cepas de cianobacterias, en especial de *M. aeruginosa*, sino que las colonias pequeñas y los filamentos solitarios pueden causar inhibición de los procesos alimenticios por interferencia mecánica. Esto reduce el crecimiento, la reproducción y sobrevivencia del zooplancton herbívoro. Sin embargo, en el campo es difícil demostrar estos efectos, aún cuando INFANTE (1982) demostró cambios en la sucesión del Lago de Valencia, cuando aumentó la dominancia de cianobacterias en ese cuerpo de agua. Pero HANEY (*op. cit.*) sostiene que las cianobacterias coloniales pueden llegar a ser un importante eslabón de la cadena trófica de los lagos tropicales.

La sucesión de la comunidad fitoplanctónica, aparentemente, es la usual en estos cuerpos de agua (FERRAZ-REYES, 1972; ALVAREZ, 1986) las clorofitas y diatomeas dominaron durante el período de estratificación y las cianofitas durante el período de mezcla. En contradicción con lo que ocurre en otras latitudes, los organismos que deberían prevalecer durante el período de estratificación son los que presentan mecanismos de flotación (*M. aeruginosa*) y no las diatomeas y clorofitas. Sin embargo, debido a la turbulencia generada por la entrada del río en el Embalse de Clavellinos y al aporte de sales nutritivas fueron las diatomeas y clorofitas y no las cianofitas quienes dominaron en este período. Debido a la sucesión observada en la comunidad fitoplanctónica, estaríamos en presencia de un cuerpo de agua eutrófico de acuerdo a la definición de WETZEL (1983).

TABLA 4.- ORGANISMOS COLIFORMES 10² ml⁻¹.

FECHAS DE MUESTREOS	22 - II - 84	30 - III - 84	3 - IV - 84	30 - V - 84	19 - VI - 84	17 - VII - 84
PROF. EN METROS						
0	750	230	360	360	300	136
5	420	390	240	360	240	20
10	460	430	200	140	260	50
15	190	230	360	160	150	75
20	190	430	190	190	280	43
30	290	430	290	200	280	93

Para obtener cierta información sobre la calidad bacteriana de las aguas del embalse, se realizaron durante seis meses, análisis de los organismos coliformes como indicadores de contaminación fecal; el producto de tales observaciones se muestra en la tabla 4.

Si bien la fluctuación fue más o menos homogénea, también es cierto que la mayor concentración siempre se observó en la capa superficial durante los seis meses

Tomando en cuenta que según la clasificación de las aguas, este cuerpo de agua estaría dentro del tipo 1 (Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 2323 Extraordinario de fecha 20 de octubre de 1978), y a su vez en el subtipo 1B, las concentraciones de organismos coliformes se mantienen dentro de los rangos permisibles, ya que en relación con este parámetro el límite establecido es inferior a 5.000 coliformes/100 ml⁻¹ y en ninguno de los muestreos y/o profundidad estudiada se encuentran valores cercanos a esa cifra, por lo que podríamos concluir que para esa época el embalse reunía las condiciones exigidas por el MARNR para cuerpos de agua de esta naturaleza.

CONCLUSIONES

- 1.- El Embalse Clavellinos es típicamente monomítico cálido con un período predecible de estancamiento de la masa de agua que coincide con la época de lluvias y, un período de mezcla que coincide con la sequía y los vientos alisios del este-noreste.
- 2.- De acuerdo a la estructura de la comunidad fitoplanctónica durante el período de estudio, el Embalse Clavellinos se encuentra en un proceso inicial de eutrofi-

cación.

- 3.- Las relaciones entre las poblaciones bacterianas y fitoplanctónicas fueron clásicas con fuertes afinidades cuando el fitoplancton estuvo dominado por las diatomeas, o relaciones inversas cuando el fitoplancton estuvo dominado por cianobacterias. Pero también se vieron afectadas por la variabilidad física del medio ambiente.
- 4.- La dinámica del embalse, estratificación y mezcla, influyó notablemente tanto en la distribución vertical como estacional de las poblaciones estudiadas.
- 5.- De acuerdo a los análisis de coliformes realizados en este estudio el embalse reunía para aquel momento, las condiciones sanitarias exigidas por el MARNR para cuerpos de agua de esta naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero J. L. BENITEZ (MARNR), encargado actualmente del Embalse Clavellinos; a los señores JOSE J. GARCIA, WILFREDO PATIÑO y ANGEL MAGO, por el trabajo de campo y de laboratorio; al señor EPIFANIO HERNADEZ dibujante; a la señorita ROSAURA SILVA R., Secretaria y a todos aquellos que de una forma u otra colaboraron en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- AARONSON, S. 1970. *Experimental Microbial Ecology*. Academic Press. New York and London. 236 pp.

- ALVAREZ, A. 1986. Estudios de algunos aspectos de la ecología del fitoplancton del Embalse Cumaripa (Edo. Yaracuy). *Trabajo de Ascenso, USB*, 183 pp.
- A. P. H. A.; A. W. W. A.; W. P. C. F. 1980. *Standar methods for the examination of water and wastewaters*. Washington, D.C., 15th Ed. 1134 pp.
- BENITEZ, J. 1984. Estudio hidroquímico de la Represa de Clavellinos. *Acta Científica Venezolana* 35 (Sup. 1): 361.
- COLWELL, R. R. 1975. *Marine and Estuarine Microbiology. Laboratory Manual*. Univ. of Maryland. *Sea Grant*. 96 pp.
- COVENEY, M., CRONBERG, G., ENELL, M., LARSSON, K. & OLOFSSON, L. 1977. Phytoplankton, Zooplankton and Bacteria-Standing crop and Production Relationships in a Eutrophic Lake. *Oikos* 29: 5-21.
- DE INFANTE, A. 1982. Annual variations in abundance of zooplankton in Lake Valencia (Venezuela). *Arch. Hydrobiol.* 93 (2): 125-134.
- & RIEHL, W. 1984. The effect of cyanophyta upon zooplankton in a eutrophic tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Hydrobiología*. 113: 293-298.
- FERRAZ-REYES, E. 1972. Estudio limnológico del Embalse de Lagartijo, Edo Miranda. III. *Observaciones sobre el fitoplancton del Embalse de Lagartijo, Edo. Miranda. UCV, Caracas*.
- GACETA OFICIAL DE LA REPUBLICA DE VENEZUELA 1978. Reglamento parcial N° 4 de la Ley Orgánica del Ambiente sobre la Clasificación de las Aguas. "Disposición Preliminar". Año CVI, mes I, N° 2323.
- GONZALEZ, J. 1978. Operación de las tomas en los Embalses Clavellinos, Camatagua y Guárico. *Manejo de la Toma de Clavellinos. Instructivos DGIII02: 1-10 MARN*.
- HAFNER, G. D., HARRIS, G. P. & LAVAY, M. K. 1980. Physical variability and phytoplankton communities III Vertical structure in phytoplankton populations. *Arch. Hydrobiol.* 89 (3): 363-381.
- HANEY, J. 1987. Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand J. Mar. Freshw. Res.* 21 (3): 467-475.
- LAMPERT, W. 1987. Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand J. Mar. Freshw. Res.* 21 (3) 483-490.
- LEWIS, W. 1983. Temperature, heat and mixing in Lake Valencia, Venezuela, *Limnol. & Oceano.* 28 (2) 273-286.
- & RIEHL, W. 1982. Phytoplankton composition and morphology in Lake Valencia, Venezuela. *Int. Revue Ges. Hydrobiol.* 67 (3) 297-322.
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*, Ed Omega, Barcelona, España.
- MERFFERT, M. & OVERBECK 1979. Regulation of bacterial growth by algal release products. *Arch. Hydrobiol.* 87 (1): 118-121.
- REYNOLDS, C., OLIVIER, R. & WALSBY A. 1987. Cyanobacterial dominance: The role of buoyancy regulations in dynamics lake environments. *New Zealand J. Freshw. Res.* 21 (3): 379-390.
- RODARTS, R. 1979. Underwater light penetration chlorophyll *a* and primary production in a tropical African Lake (Lake Mc. II waïne, Rodesia). *Arch. Hydrobiol.* 86 (4): 423-444.
- SENIOR, C. T. 1984. Caracterización química del agua Embalse de Guanapito, Edo. Guárico. *Tesis de Grado Licenciatura en Biología, UCV. Caracas*.
- SOKAL, R. & F.J. ROHLF 1969. *Biometry W. H. Freeman and Co.* San Francisco. 776 pp.
- STRICKLAND, J. R. & PARSONS, T. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canadá.* 167: 1-310 Second Edition).
- UTERMOHL, H. 1958. Zur vervolekommunig der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. In vereing theor augeniv. Limnol.* 9: 1-38.
- WEIHEL, R. 1983. *Limnology*. 2nd. ed. Saunders Coll. Put.
- ZOHARY, M. T. & PAIS MAIDEIRA, A. 1987. Counting na-

tural populations of *Microcystis aeruginosa*: a simple method for colony disruption into simple cells and its effects on cell counts of other species. *J. Limnol. Soc. Southern Arica*. 13 (2): 75-77.

(Manuscrito recibido el 1° de Noviembre de 1989).