

Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica

Gerardo Umaña y Carmen Collado

Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica

(Rec. 13-X-1989. Acep. 20-III-1990)

Abstract: The composition and abundance of plankton, and their variations, were studied at the Embalse Arenal from June 1986 to November 1988. A factor analysis was performed on physico-chemical and biological variables. 119 phytoplankton species and 58 zooplankton species were found. The plankton composition was typically tropical, with a low diversity. Chlorophyta was the most diverse algae group, and Cyanophyta the most abundant. Copepoda had the highest density among the zooplankton, and Rotifera was the most diverse. The levels of chlorophyll were high, indicating a high primary productivity. Both the climatic factors and the level of the reservoir influence the biological variables. No relation was found between the densities of phytoplankton and zooplankton.

Key words: tropical lagoons, limnology, plankton.

No obstante el número de los embalses construidos en Costa Rica, los estudios limnológicos efectuados en ellos son pocos. Tosi (1980) dirigió un estudio ecológico integral de la zona de influencia del embalse Arenal, que incluyó el componente limnológico. En ese estudio se realizaron únicamente dos visitas al embalse y no se tuvo idea de la variación mensual que existe en algunas de sus características. Recientemente se han efectuado estudios en el Embalse (MAG-GTZ 1988 en preparación) dado el potencial que éste posee para usos pesqueros o de acuicultura.

Sin embargo, es poca la información que se tiene sobre las comunidades planctónicas de este embalse, y en general para los cuerpos de agua dulce del país, con algunas excepciones (Hargraves y Viquez 1981, Collado *et al.* 1984a 1984b, Camacho 1985, Ramirez 1985, Umaña 1988). La caracterización del componente planctónico y el estudio de su dinámica es importante pues estos organismos forman la base de la cadena trófica. El plancton de la-

gos y embalses tropicales tiene características propias como son su baja diversidad y alta productividad (Payne 1986). Una de las razones que explica la baja diversidad es la depredación por peces, que es muy alta y selectiva, influyendo en la composición de la comunidad del zooplancton, y a la vez hay un forrajeo directo de los peces sobre el fitoplancton (Nilssen 1984).

El objetivo del presente trabajo fue determinar la variación mensual de la densidad y diversidad del plancton y su composición específica.

MATERIALES Y METODOS

Area de estudio

El Embalse Arenal está situado 8 Km al norte de la ciudad de Tilarán, provincia de Guanacaste, Costa Rica (10°30' N y 84°50' W). Al nivel máximo de operación el embalse tiene una superficie de 87 Km², un volumen aproximado de 1.67x10⁹ m³ y una profundidad media de 21 m y una máxima de 55 m (Tosi 1980). Es de forma casi dendrítica debido a lo irregular del terreno (Figura 1) y presenta un alto desarrollo de orilla (D.O.=3.31), con una longitud litoral de 105 Km. El tiempo de renovación del agua del embalse es de 1.04 años.



Fig. 1. Embalse Arenal y localización de las estaciones de muestreo.

Debido a la topografía del terreno inundado, a la reciente formación del embalse, al oleaje de la represa y a las fluctuaciones en el nivel del agua, no se ha desarrollado una flora acuática típica de un verdadero litoral.

El viento sopla por un 73% del año con una dirección predominante del NE, una velocidad promedio de 25 Km h⁻¹ y una velocidad máxima de 41.8 Km h⁻¹ (Chacón 1984). El período más ventoso va de noviembre a abril, lo cual coincide en cierto grado con la época seca que es de enero a abril, y también con la época de menores temperaturas. El nivel del embalse fluctúa anualmente, alcanzando el máximo en diciembre, al final de la época lluviosa, y el mínimo en junio-julio, al inicio de la misma.

METODOLOGIA

El embalse se visitó mensualmente por un período de 28 meses, de junio 1986 a noviembre 1988. El muestreo se concentró en la estación E.9, cercana al volcán.

Para el fitoplancton se tomaron muestras de 100 ml del agua superficial y se preservaron con una solución de Lugol acética al 1% (conc. final). Se contaron las primeras 100 unidades (células, colonias o filamentos) de cada especie. Cuando se trató de colonias o filamentos, se mantuvo un registro del número de células por unidad de conteo. Todos los conteos se transformaron a células por mililitro.

Las especies se identificaron al máximo nivel posible. Cuando no se pudo realizar una identificación hasta el nivel de especie, las algas se separaron por morfotipos, esperando lograr así obtener una idea exacta del número de tipos o grupos de algas diferentes que habitan la zona limnética del embalse Arenal.

La concentración de la clorofila se midió mediante el método de extracción con acetona al 90%, corrigiendo la lectura por feofitinas (Strickland & Parsons 1972). Se tomaron muestras por replicado de 1 L de agua cada 2 m de profundidad hasta los 10 m. En algunas ocasiones se tomaron muestras a mayor profundidad.

El zooplancton se muestreó mediante arrastres verticales con redes de boca de 27 cm de diámetro y malla de 64 µm. Las muestras se preservaron en formalina al 5-10%.

Para el estudio detallado e identificación de los organismos, los especímenes se colocaron sobre un portaobjetos con una gota de glicerina. Los copépodos se disectaron con agujas finas de alambre de tungsteno. Para la preparación del mástax de los rotíferos, el espécimen se colocó en un portaobjetos y se le agregó una gota de hipoclorito de sodio al 5%, disolviéndose así todo el protoplasma y

quedando únicamente el mástax.

El análisis cuantitativo se realizó con la ayuda de la celda de conteo Sedgwick-Rafter (Sourmia 1978). Todos los resultados se expresan en organismos por litro. Las larvas nauplio y los estadios de copepodito se contaron colectivamente (no se identificó las diferentes especies).

Se tomaron medidas de la penetración de la luz con el disco de Secchi. La temperatura y el oxígeno disuelto se midieron en muestras tomadas a diferente profundidad con una botella de Niskin. La temperatura se midió con un termómetro corriente de laboratorio. El oxígeno disuelto se determinó mediante el método de Winkler (APHA 1980).

RESULTADOS

1. Fitoplancton

Se identificó 119 especies, incluyendo tipos morfológicos, de algas en el plancton. Aunque hubo representantes de todos los grupos principales de algas del fitoplancton, los más abundantes y de mayor frecuencia fueron Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta y Dinophyceae. En el Cuadro 1 se presenta la lista de taxa encontrados, incluyendo algunas especies propias del litoral. De Chlorophyta se logró identificar 70 taxa, de Dinophyceae 7, Cryptophyta 4, Chrysophyta 2, Bacillariophyta 19, Cyanophyta 4 y 5 morfotipos no identificados.

El número de taxa promedio por muestra de 100 ml de agua fue de 38, con un máximo de 49. Siendo 11 las especies que fueron observadas en todos los muestreos: *Ankistrodesmus braunii*, *Cyclotella stelligera*, *Melosira granulata*, *Microcystis* sp., *Oocystis lacustris*, *Scenedesmus bijuga*, *Staurastrum cf. anatinum*, *Staurastrum leptocladum*, *Staurastrum manfeldtii*, *Oocystis borgei* y *Cosmarium* sp.1.

En promedio, Chlorophyta mostró un 31.03% de la abundancia total (en número de células por ml), Cyanophyta un 46.91%, Bacillariophyta un 19.87%, Dinophyceae un 1.26%, y los demás grupos contabilizaron el 0.94% restante (Fig. 2a).

La variación del número de especies por muestreo, total y por grupos se muestra en la Fig. 2b. Aunque un poco confusa por pequeñas variaciones de mes a mes, se nota una tendencia a disminuir el número de especies en los meses de abril y octubre-noviembre. La variación sin embargo es mínima (sx=1.3129, CV= 16.09%, mín.= 25, Máx.= 49).

La densidad total muestra una variación cíclica, con picos durante la parte media del año

CUADRO 1

Fitoplancton del Embalse Arenal 1986-1988

Chlorophyta

Ankistrodesmus braunii
Ankistrodesmus falcatus
Arthrodesmus cf. octocornis
Arthrodesmus convergens
Arthrodesmus subulatus
Botryococcus sp.
Chlamydomonas sp.
Closteriopsis sp. 1
Closteriopsis sp. 2
Closterium sp. 1
Closterium sp. 2
Coelastrum cambricum
Coelastrum microporum
Coelastrum sp.
Coelastrum sphaericum
Coronastrum sp.
Cosmarium moniliforme
Cosmarium sp. 1
Cosmarium sp. 3
Crucigenia cuadrata
Crucigenia fenestrata
Crucigenia rectangularis
Crucigenia sp.
Crucigenia tetrapedia
Dictyosphaerium pulchellum
Euastrum sp.
Eudorina cf. elegans
Kirchneriella obesa
Micrasterias sol
Mougeotia sp. *
Nephroclythium obesum
Nephroclythium agardhianum
Netrium sp.
Oocystis cf. borgei
Oocystis lacustris
Pandorina morum
Pediastrum duplex
Pediastrum simplex
Pediastrum tetras
Penium sp.
Scenedesmus arcuatus
Scenedesmus bijuga
Scenedesmus dimorphus
Scenedesmus quadricauda
Scenedesmus sp. 1
Scenedesmus sp. 2
Scenedesmus sp. 3
Schroederia setigera
Selenastrum cf. gracile
Sphaerocystis sp.
Spondylosium sp.
Spyrogira sp. *
Staurastrum (cf. anatinum)
Staurastrum cf. archerii
Staurastrum cf. coartatum
Staurastrum leptocladum
Staurastrum manfeldtii
Staurastrum natator
Staurastrum sp. 2
Staurastrum tetracerum

Tetraedron gracile
Tetraedron minimum
Tetraedron tumidulum
 8 morfotipos sin ubicar

Euglenophyta

Euglena sp.
Phacus contortus
Phacus longicauda
Phacus sp.
Trachelomonas sp. 1
Trachelomonas sp. 2
Trachelomonas sp. 3
Trachelomonas sp. 4

Pyrophyta

Ceratium (cf. hirundinella)
Glenodinium sp.
Gymnodinium sp.
Peridinium cunningthornii
Peridinium sp. 1
Peridinium sp. 2
Peridinium volzii

Cryptophyta

(*Rhodomonas*) sp.
Cryptomonas sp. 1
Cryptomonas sp. 2
Cryptomonas sp. 3

Chrysophyta

(*Mallomonas*) sp.
Dinobryon (cf. sertulia)

Bacillariophyta

Amphora sp.
Coscinodiscus sp.
Cyclotella stelligera
Cymbella sp. *
Fragilaria sp.
Gomphonema affine *
Gomphonema sp. *
Gyrosigma sp. *
Hydrosera sp.
Melosira granulata
Nitschia longissima
Nitschia sp. 1
Nitschia sp. 2
Nitschia sp. 3
Pinnularia sp. *
Swirella tenella
Synedra constricta
Synedra sp.
 2 morfotipos sin ubicar

Cyanophyta

Anabaena variabilis
Dactylococcopsis sp.
Merismopedia sp.
Microcystis sp.
Oscillatoria sp. *

Grupo no identificado

Hay un total de 5 morfotipos no ubicados en ningún grupo taxonómico.

* especies encontradas en muestras de la orilla

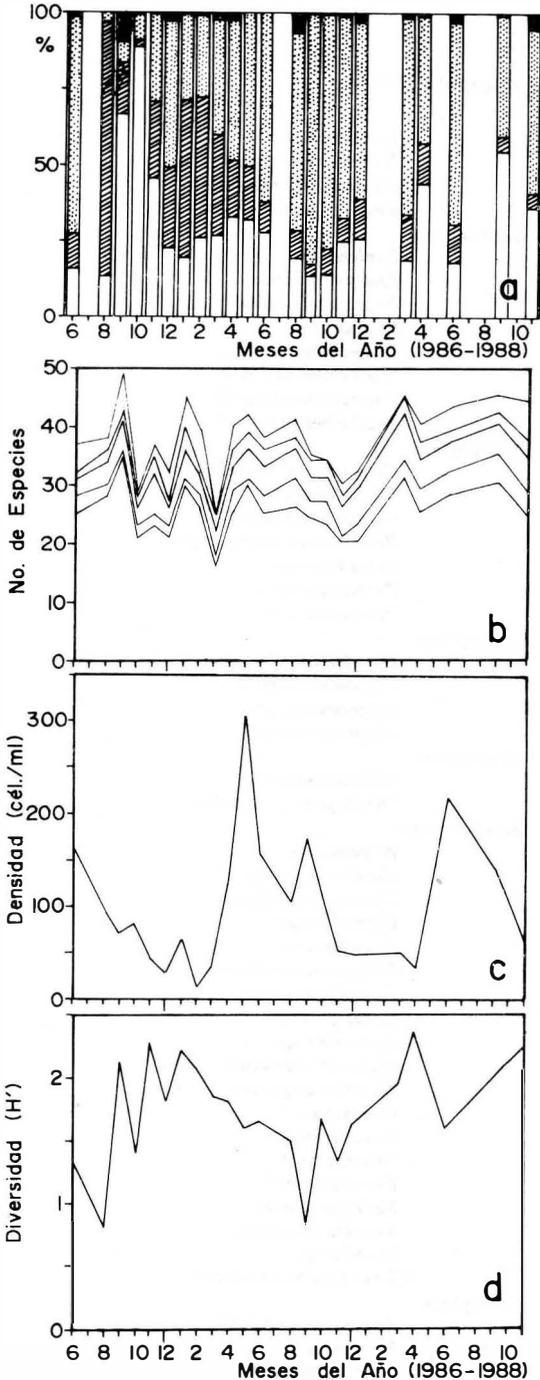


Fig. 2. Variación mensual del A) distribución porcentual de la densidad de los grupos principales. B) Número de especies de los grupos principales del fitoplancton y número de especies total. Orden de las curvas acumuladas de abajo hacia arriba es: Chlorophyta, Dinophyceae, Bacillariophyceae, Cyanophyta y Otros. C) Densidad total. D) Diversidad de especies, según el índice de Shannon-Wiener. En muestras superficiales tomadas en la Estación 9, Embalse Arenal.

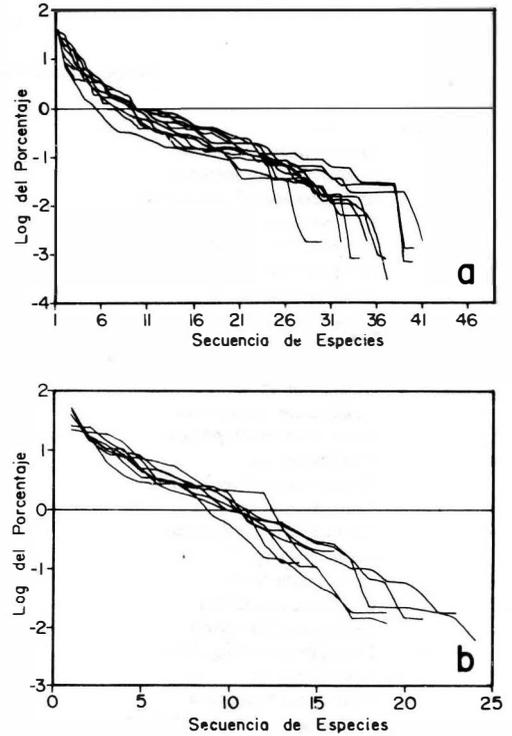


Fig. 3. Curvas de abundancia contra la secuencia de especies cordenadas de más a menos abundantes. A) Del fitoplancton en muestras superficiales tomadas en la estación 9, Embalse Arenal. B) Del zooplancton en arrastres verticales efectuados en la estación 9, Embalse Arenal.

y valles al final y comienzos del siguiente (Fig. 2c).

La diversidad del fitoplancton es baja, con valores de Shannon-Wiener (H') entre 0.82 y 2.36, con un promedio de 1.73. La diversidad muestra un comportamiento cíclico, aunque algo irregular (Figura 2d). A mediados de año se observó una caída en la diversidad, que se presentó en general al comenzar el segundo semestre.

La abundancia de las especies, ordenadas de mayor a menor, muestran una rápida caída inicial, alcanzando valores de abundancia menores del 1% del total con apenas un cuarto del número total de especies (Fig. 3a).

La concentración de la clorofila a en los 10 primeros metros de la columna de agua muestra un aumento en los meses de mayo a agosto, y una disminución a finales del año y comienzos del siguiente (Fig. 4).

La clorofila sin embargo se distribuye en toda la columna de agua. En los casos en que se tuvo datos para toda la columna se observó

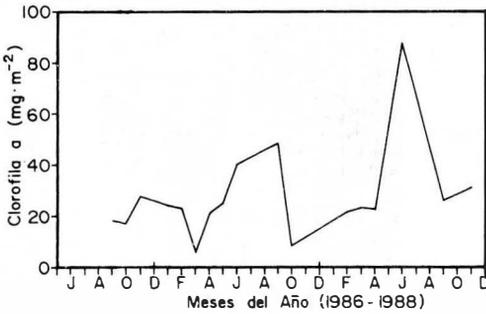


Fig. 4. Variación mensual de la Clorofila a en los 10 m superiores de la columna de agua en la estación 9, Embalse Arenal.

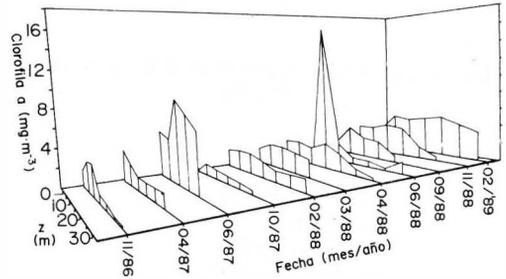


Fig. 5. Variación de la distribución vertical de la Clorofila a en varias fechas de muestreo en la estación 9, Embalse Arenal.

que los primeros 10 m contenían de un 36 a un 88% del total (Promedio 52.5%, $S_x = 4.73$). En la Figura 5 se muestran algunos de los perfiles de clorofila a para toda la columna de agua. Hay periodos en los que la clorofila se distribuye uniformemente hasta el fondo y otros en que hay una acumulación de clorofila en las capas superiores del agua. Los valores superficiales son en general más bajos que los valores un poco más profundos, indicando una posible fotoinhibición en la superficie.

2. Zooplancton

El zooplancton está compuesto por tres grupos principales, Rotifera, Cladocera y Copepoda. Se encontraron 58 especies, distribuidas de la siguiente manera: 46 rotíferos, 7 cladóceros y 5 copépodos. La lista detallada de las especies se muestra en el Cuadro 2.

Los copépodos constituyeron el grupo dominante, con una especie de calanoideo y 4 cyclopoideos. Las larvas nauplio formaron el mayor porcentaje de los crustáceos. Las principales especies fueron *Mesocyclops thermocyclooides* y *Diatomus* sp. El grupo de los rotíferos fue el segundo en abundancia, siendo *Keratella cochlearis*, *Ptygura* sp. y *Polyarthra vulgaris* las especies más numerosas. Los cladóceros constituyeron el tercer grupo en abundancia, con *Daphnia laevis* y *Bosmina longirostris* como las principales especies (Fig. 6a).

Un promedio de 15 especies aparecieron en cada muestreo mensual (Fig. 6b).

Hay dos picos anuales en la variación mensual de la densidad total de zooplancton (Fig. 6c); en febrero y junio de 1987 y en marzo y

junio de 1988. Los copépodos (incluyendo las larvas nauplio) alcanzaron las densidades más altas y los rotíferos fueron el grupo más diverso. Ostrácodos y larvas de *Chaoborus* aparecieron ocasionalmente en las muestras.

La diversidad de especies de Shannon-Wiener varió entre 1.13 en junio 1988 y 2.10 en junio 1987 y octubre 1988, con un promedio de 1.73 (Fig. 6d). El 50% de las especies presentan valores de abundancia mayores del 1% (Fig. 3b).

3. Relaciones entre variables

Se hizo un análisis de factores con los parámetros físico-químicos. Los datos de temperatura, oxígeno disuelto, estabilidad de la columna de agua y la profundidad de Secchi se muestran en el Cuadro 3 (nivel del embalse y precipitación según fuentes del ICE). Con base en la matriz del Cuadro 4 se hizo un análisis de factores, resultando cuatro factores significativos que explican el 74% de la varianza (Cuadro 5.)

DISCUSION

De acuerdo con Fernando (1980a, 1980b) hay una diferencia muy marcada entre el zooplancton de agua dulce tropical y el de zonas templadas. El zooplancton tropical es menos diverso no sólo por tener menos especies, sino también por una distribución de la abundancia muy heterogénea; en general, las especies son de menor tamaño. Especies grandes del género *Daphnia* y *Simocephalus* son poco comunes en zonas tropicales y miembros del género *Eurycercus* y *Saycia* están ausentes. Especies

CUADRO 2

Lista de especies de zooplancton del Embalse Arenal
1986-1988

Rotíferos

Anuraeopsis coelata
Asplanchna sp.
Brachionus angularis
Brachionus caudatus
Brachionus falcatus
Brachionus rubens
 Bdelloidea
Cephalodella sp.
Collotheca sp.
Conochilus natans
Euchlanis sp.
Filinia terminalis
Hexarthra intermedia
Keratella americana
Keratella cochlearis
Kellicottia longispina
Lecane cf. aquila
Lecane stenroosi
Lecane bulla
Lecane luna
Lecane lunaris
Lecane quadridentata
Lecane sp. 1
Lecane sp. 2
Lecane sp. 3
Lecane sp. 4
Lecane sp. 5
Lepadella sp.
Macrochaetus subquadratus
Platyas quadricornis
Polyarthra vulgaris
Ptygura sp.
Testudinella patina
Trichocerca sp.
 15 Morfotipos sin ubicar

Cladóceros

*Alona barbulata**
Bosmina longirostris
Bosminopsis deitersi
Ceriodaphnia cornuta
Diaphanosoma spinulosum
Daphnia laevis

Copépodos

Diaptomus sp.
Mesocyclops thermocyclopoides
Microcyclops
Thermocyclops inversus
 Larvas Nauplio
 2 morfotipos sin ubicar

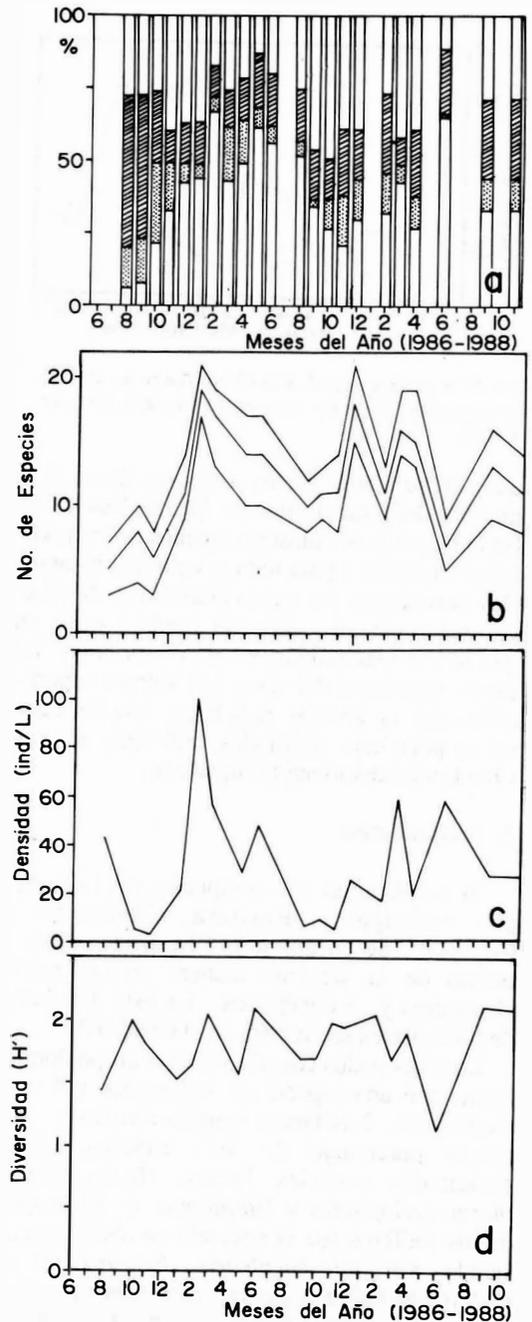


Fig. 6. Variación mensual de A) Distribución porcentual de la densidad de los grupos principales. B) Número de especies de los grupos principales del zooplancton. Orden de las curvas acumuladas de abajo hacia arriba es: Rotifera, Cladocera y Copepoda. C) Densidad total. D) Diversidad de especies, según el Índice de Shannon-Wiener. En arrastres verticales tomados en la estación 9, Embalse Arenal.

* Encontrada en muestras de la orilla del embalse

CUADRO 3

Variación mensual de las variables físico-químicas en la estación 9, Embalse Arenal

Fecha (m/a)	T* °C	O ₂ * mg/l	Se. m	W J/m ²	Pr mm	Nivel m snm
06/86	---	---	2.8	---	480.5	536.0
08/86	25.0	8.76	---	0.0	504.5	538.2
09/86	26.4	---	3.9	683.6	439.6	539.2
10/86	26.2	7.68	3.1	119.9	360.3	540.5
11/86	24.9	---	3.0	789.7	328.4	541.0
12/86	24.4	---	3.4	799.9	204.2	540.2
01/87	24.0	7.26	3.8	0.0	267.9	539.3
02/87	23.0	7.37	3.4	0.0	155.3	538.3
03/87	23.4	6.97	---	1998.1	16.8	536.4
04/87	24.3	---	3.5	858.7	118.3	534.7
05/87	25.0	5.73	3.3	624.2	194.6	533.4
06/87	25.1	5.06	---	1280.0	374.0	533.0
08/87	26.0	6.29	4.0	619.8	428.9	534.3
09/87	---	5.44	---	---	337.8	536.1
10/87	25.7	4.08	---	535.8	486.6	537.7
11/87	24.9	---	3.6	236.1	280.9	538.2
12/87	24.9	5.92	---	203.1	401.7	538.7
02/88	23.1	7.10	---	95.2	282.4	539.6
03/88	23.5	6.84	---	403.5	124.1	539.2
04/88	24.4	6.14	5.0	1148.0	20.0	538.0
06/88	25.4	---	4.0	1101.9	188.8	536.0
09/88	24.9	6.24	---	1694.7	385.1	540.5
10/88	24.3	5.92	---	1001.8	333.5	543.5

* Valores representan el valor integral para toda la columna de agua.

CUADRO 4

Matriz de correlación entre los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos en la estación 9, Embalse Arenal

	T∞	O ₂	Se	Ni	Wt	Pr	Sf	Df	Hf	Cl	Sz	Dz	Hz
T∞	1.00	-.35	.01	-.18	.64	.01	.03	-.41	-.44	.20	-.55	-.55	.14
O ₂		1.00	-.45	.32	-.15	-.39	-.01	-.39	-.12	-.47	-.25	.33	-.25
Se			1.00	-.22	-.35	.45	.40	-.09	.30	.18	.36	.05	-.10
Ni				1.00	.15	-.18	.05	-.60	.39	-.23	-.21	-.26	.29
t					1.00	-.32	.10	.12	-.40	-.13	-.54	-.41	.04
Pr						1.00	-.01	.18	.32	.23	.21	.09	.31
Sf							1.00	.26	.40	.27	.04	.26	-.35
Df								1.00	-.40	.48	-.23	-.09	-.38
Hf									1.00	-.07	.43	.14	.25
Cl										1.00	-.18	.10	-.39
Sz											1.00	.47	.35
Dz												1.00	-.30
Hz													1.00

T∞: Temperatura Integral (°C). O₂: Conc. Oxígeno Disuelto Integral(mg/l). Se: Profundidad de Secchi (m). Ni: Nivel del Embalse (msnm). Wt: Trabajo del viento total. Pr: Precipitación (mm). Sf: Número de especies total del fitoplancton. Df: Densidad total del fitoplancton. Hf: Diversidad de especies del fitoplancton. Cl: Clorofila a (mg/m³). Sz: Número de especies total del zooplancton. Dz: Densidad total del zooplancton. Hz: Diversidad del zooplancton.

CUADRO 5

Variables asociadas a los cuatro factores que obtuvieron un valor característico mayor de uno

Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Temperatura	Nivel Embalse	Oxígeno Dis.	No.spp.Fito
Precipitación	Dens.Tot.Fito.	Trabajo Viento	Divers.Fito
Dens.Tot.Zoo.	Clorofila a	(Divers.Zoo.)	(Secchi)
No.spp.Zoo.	(Divers.Zoo.)	(Secchi)	

de las familias Holopedidae, Leptodoridae y Polyphemidae aumentan en abundancia hacia las zonas templadas. Las razones que explican esta diferencia según Fernando (1980a) son varias, como el efecto de las temperaturas altas y uniformes del trópico, la disponibilidad de alimento y la depredación por peces e invertebrados. También el efecto tóxico de algas y macrófitas puede influir en la composición de especies.

La composición del zooplancton del embalse Arenal es típicamente tropical, con pocas especies de Cladocera y Copepoda. *Daphnia laevis* se registra por primera vez en el país. *Daphnia* es un género poco común en las tierras bajas tropicales (Rajapaksa y Fernando 1984). También aparece por primera vez el rotífero *Kellicottia longispina*, el cual se supone que es casi exclusivo de zonas templadas (Pejler 1977), pero ha sido encontrado también en Sri Lanka por Fernando (1980a). Los copépodos cyclopoideos dominaron sobre los calanoideos, ésto es característico en la gran mayoría de los lagos tropicales (Richerson *et al.* 1977).

Al igual que el zooplancton, la composición del fitoplancton es típicamente tropical, con una abundancia relativamente alta de Cyanophyta y una alta riqueza de especies de Chlorophyta (Lewis 1973, Zaret 1984, Payne 1986). No obstante, la diversidad es baja en comparación con el fitoplancton de lagos y embalses de latitudes más altas y se halla dentro del ámbito de valores hallados en otros lagos tropicales: Lago Gatún (Panamá) con 180 especies (Zaret 1984), Lago Titicaca (Perú y Bolivia) con 170 (Carney *et al.* 1987), Lago Valencia (Venezuela) con 82 (Lewis y Riehl 1982) y 70 en el Lago Lanao (Filipinas) (Lewis 1973). Una razón que explica este hecho es la poca variación en la composición de especies en las diferentes épocas del año.

Prácticamente el único cambio notable se dio en la abundancia relativa de las especies más 1 comunes, que siempre fueron las mismas. Otro motivo para la baja diversidad fue el hecho de que unas pocas especies dominaron fuertemente la composición de la asociación planctónica.

La densidad total del fitoplancton y la concentración de clorofila son bastante altas, con valores que lo clasifican como un embalse mesotrófico (Margalef 1983). En este respecto también el embalse se comporta en una forma típicamente tropical, con una alta producción primaria todo el año (Beadle 1981).

Un rasgo propio del embalse Arenal es la relativamente alta abundancia de diatomeas planctónicas como *Melosira granulata* y *Cyclotella stelligera*, que se ven favorecidas por la alta turbulencia imperante en la zona limnética del embalse (Reynolds *et al.* 1986). También es de notar la pobreza de formas litorales en muestras superficiales de la zona limnética. En este embalse el desarrollo de una vegetación litoral ha sido inhibida por la fuerte pendiente de las orillas, el oleaje y las fluctuaciones del nivel (Tosi 1980), lo que también se refleja en la microflora del embalse. Finalmente es interesante encontrar en este embalse algunas formas que han sido clasificadas como típicas de zonas más frías, como lo es *Peridinium volzii* (Loffler 1972, Hargraves y Viquez 1981), que llega a ser importante en ocasiones.

Del análisis de factores se puede ver que la abundancia del zooplancton se asocia más fuertemente a los parámetros climáticos y el fitoplancton a la morfometría del embalse, en especial a las fluctuaciones de nivel. La agrupación de las variables en cuatro grupos que se pueden identificar como climático, morfométrico, físico-químico y diversidad biológica parece ser un resultado natural del tipo de

factores que intervienen en la dinámica de un lago o embalse (Ponce y Arredondo 1986).

Los factores morfométricos no ejercen una gran influencia sobre la productividad de un lago a nivel global (Brylinsky y Mann 1973), sin embargo en el caso de Arenal la variación del nivel del embalse ocasiona eventos que pueden influir en la entrada y concentración de nutrientes al agua, al inundar áreas periódicamente expuestas al aire y donde crece vegetación que luego se descompone bajo el agua, liberando gran cantidad de nutrientes (Gaudet y Muthuri 1981). Ponce y Arredondo (1986) encontraron que las fluctuaciones del nivel en un embalse en México son determinantes en el comportamiento de su zona pelágica. Por último, el efecto más inmediato provocado por las variaciones en el nivel es un efecto de dilución-concentración de las poblaciones planctónicas, hecho que se evidencia por la correlación negativa entre la densidad total del fitoplancton y el nivel del agua (Cuadro 1).

Es interesante notar que no hay relación entre la densidad total del fitoplancton y del zooplancton. Esto parece indicar que la presión de forrajeo de parte del zooplancton no es muy alta. Sin embargo, la distribución de tamaños de las especies del fitoplancton, con una gran cantidad de especies de gran tamaño o de formas filamentosas o coloniales (Cuadro 1) indica lo contrario, es decir que la composición del fitoplancton es el resultado de una alta tasa de forrajeo de parte del zooplancton.

El zooplancton, por ser de tamaño pequeño y principalmente filtrador, consume las especies más pequeñas, lo que favorece el crecimiento de las especies de mayor tamaño. Zaret (1984) informó un comportamiento similar de las asociaciones planctónicas en el lago Gatún en Panamá. De otro modo, las especies más pequeñas del fitoplancton dominarían la comunidad, pues por su tamaño crecen y aprovechan los recursos más eficientemente (Lewis 1976, Reynolds 1984). Porter (1977) clasifica al zooplancton herbívoro en dos grupos: filtradores y rapaces. Los filtradores son la mayoría y están limitados por el rango de tamaños de las partículas que pueden ingerir (Bogdan y Gilbert 1984). El fitoplancton también se divide en aquellas especies que por su tamaño no están disponibles para el zooplancton y aquellas que sí pueden ser fácilmente ingeridas; y éstas a su vez se dividen en las que son real-

mente digeridas y las que no son dañadas por el paso a través del tracto digestivo (Elser y MacKay 1989). Estas diferencias motivan el hecho comúnmente observado en estudios de campo, de una falta de correlación entre la abundancia del fitoplancton y del zooplancton (Porter 1977, Paloheino y Fulthorpe 1987). Por lo que la composición del zooplancton es más importante que su densidad en la determinación de la abundancia del fitoplancton (Elser *et al.* 1987). Es probable además que gran parte del fitoplancton en lagos tropicales sea directamente aprovechado por peces planctívoros (Zaret 1984, Nielsen 1984).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal de la GTZ (Agencia de Cooperación Técnica Alemana) en Costa Rica por su valiosa colaboración en algunas de las etapas del trabajo de campo y a todas las personas que de alguna u otra forma colaboraron en la toma de muestras y análisis químicos. Los datos de precipitación y nivel del embalse fueron gentilmente proporcionados por el Departamento de Estudios Básicos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Este proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación de Universidad de Costa Rica (No. 808-86-041).

RESUMEN

Se estudió la composición y abundancia del plancton del embalse Arenal y sus variaciones entre junio de 1986 y noviembre de 1988. Se encontraron 119 especies de algas y 58 especies de zooplancton. La composición del plancton es típicamente tropical, con una baja diversidad. Chlorophyta fue el grupo más diverso y Cyanophyta el grupo más abundante, y del zooplancton, Copepoda (incluyendo larvas nauplio) fue el grupo de mayor densidad, y Rotifera el más diverso. Los niveles de clorofila son altos, lo que indica una alta productividad primaria. Tanto los factores climáticos como el nivel del embalse ejercen influencia sobre las variables biológicas. No se encontró relación entre las densidades del fitoplancton y del zooplancton.

REFERENCIAS

- APHA. 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA-AWWA-WPCF. 15th ed.
- Beadle, L.C. 1981. The inland waters of tropical Africa. Longmann, Londres 475 p.
- Bogdan, K.G. & J.J. Gilbert. 1984. Body size and food size in freshwater zooplankton. Proc. Nat. Acad. Sci. 81:6427-6431.
- Brylinsky, M. & K.H. Mann. 1973. An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. Limnol. Oceanogr. 18: 1-14.
- Camacho, V.L. 1985. Ocurrencia y distribución vertical de las algas planctónicas del Lago Río Cuarto, Alajuela Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica 44 p.
- Carney, H.J., P.J. Richerson & P. Eloranta. 1987. Lake Titicaca (Perú-Bolivia) phytoplankton: species composition and structural comparison with other tropical and temperate lakes. Arch. Hydrobiol. 110:365-385.
- Collado, C., D. Defaye, B.H. Dussart & C.H. Fernando. 1984. The freshwater Copepoda (Crustacea) of Costa Rica with notes on some species. Hydrobiologia 119: 89-99.
- Collado, C., C.H. Fernando & D. Sephton. 1984. The freshwater zooplankton of Central America and the Caribbean. Hydrobiologia 113: 105-119.
- Chacón, R. 1984. Informe climático de la zona circundante al Embalse Arenal. Instituto Costarricense de Electricidad, San José.
- Chengalath, R., C.H. Fernando y W. Koste. 1973. Rotifera of Sri Lanka, 2. Further studies on the Eurotatoria including new records. Bull. Fish. Res. Stn. Sri Lanka (Ceylon) 24: 29-62.
- Elser, J.J. *et al.* 1987. Species-specific algal responses to zooplankton: experimental and field observations in three nutrient-limited lakes. J. Plankton Res. 9: 699-717.
- Elser, J.J. & N.A. Mackay. 1989. Experimental evaluation of effects of zooplankton biomass and size distribution on algal biomass and productivity in three nutrient-limited lakes. Arch. Hydrobiol. 114: 481-496.
- Fernando, C.H. 1980a. The freshwater zooplankton of Sri Lanka with a discussion of tropical freshwater zooplankton composition. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 65: 85-125.
- Fernando, C.H. 1980b. The species and size composition of tropical freshwater zooplankton with special reference to the Oriental Region (South East Asia). Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 65: 411-426.
- Gaudet, J.J. & F.M. Muthuri. 1981. Nutrient relationships in shallow water in an African Lake, Lake Naivasha. Oecologia 49: 109-118.
- Golterman, H.L. & R.S. Climo (eds.). 1969. Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters. J.B.P. Handbook No. 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 166 p.
- Hargraves, XX & R. Víquez. 1981. Dinoflagellate abundance in the Laguna Botos, Poás Volcano, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 29(2): 257-264.
- Lewis, W.M., Jr. 1976. Surface/Volume ratio: implications for phytoplankton morphology. Science 192: 885-887.
- Lewis, W.M., Jr. 1978. A compositional, phytogeographical and elementary structural analysis of the phytoplankton in a tropical lake: Lake Lanao, Phillipines. J. Ecol. 66: 213-226.
- Lewis, W.M., Jr. & W. Riehl. 1982. Phytoplankton composition and morphology in Lake Valencia, Venezuela. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 67: 297-322.
- Löffler, H. 1972. Contribution to Limnology of High Mountain Lakes in Central America. Int. Revue ges. Hydrobiol. 57N 397-408.
- Margalef, R. 1983. Limnología. Ed. Omega, Barcelona. 1010 p.
- Nilssen, J.P. 1984. Tropical lakes-functional ecology and future development: The need for a process-oriented approach. Hydrobiologia 113: 231-242.
- Paloheimo, J.E. & R.R. Fulthorpe. 1987. Factors influencing plankton community structure and production in freshwater lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 650-657.
- Payne, A.I. 1986. The ecology of tropical lakes and rivers. Wiley, Nueva York. 301 p.
- Pejler, B. 1977. On the global distribution of the family Brachionidae (Rotatoria). Arch. Hydrobiol. Suppl. 53(2): 255-306.
- Ponce, P., J.T. & J.L. Arredondo. 1986. Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal, por medio de la aplicación de modelos multivariados. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 13: 47-66.
- Porter, K.G. 1977. The plant-animal interface in freshwater ecosystems. Am. Sci. 65: 159-170.
- Rajapaksa, R. & C.H. Fernando. 1984. Freshwater zooplankton. Ecology and Biogeography in Sri Lanka. Junk, La Haya. p. 155-169.
- Ramírez, R.E. 1985. Variaciones estacionales de la comunidad zooplanktónica del lago de Río Cuarto, Alajuela, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica. 59 p.

- Reynolds, C.S. 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshw. Biol.* 14: 111-142.
- Reynolds, C.S., V. Montecino, M.E. Grafx & S. Cabrera. 1986. Short-term dynamics of a *Melosira* population in the plankton of a impoundment in Central Chile. *J. Plankton Res.* 8: 715-740
- Richerson, P., C. Widemer & T. Kittel. 1977. The limnology of Lake Titicaca (Perú-Bolivia), a large, high altitude tropical lake. Institute of Ecology, University of California, 14 :1-78.
- Schindler, D.W. 1969. Two useful devices for vertical plankton and water sampling. *J. Fish. Res. Board Can.* 26: 1948-1955
- Sournia, A. (ed.) 1978. *Phytoplankton manual*. UNESCO. 337 p.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parson. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. 2nd ed. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 167: 310 p.
- Umaña V., G. 1988. Fitoplancton de las lagunas Barba, Fraijanes y San Joaquín, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36: 471-477
- Zaret, T.M. 1972. Predator-prey interaction in a tropical lacustrine ecosystem. *Ecology* 53: 248-257.
- Zaret, T.M. 1984. Central American Limnology and Gatún Lake, Panamá. p. 447-465. In: F.B. Taub., (ed.). *Ecosystems of the World*. Elsevier. p. 447-465.