

ESTUDIO LIMNOLOGICO DE LA REPRESA DE EL PEÑOL(1)

Por: Gabriel Roldán,
Margarita Correa,
Tito Machado,
John Jairo Ramírez,
Luis F. Velásquez(2)
Fabio Zuluaga(3)

RESUMEN

Entre enero y diciembre de 1982 se llevaron a cabo muestreos quincenales en seis sitios diferentes en la represa de El Peñol. Dentro de los parámetros físico-químicos se analizaron la temperatura, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el pH, la alcalinidad, la dureza, los fosfatos, los nitratos y los sulfatos. También se hicieron análisis de fitoplancton, zooplancton, bentos y malezas acuáticas. Dentro de los análisis microbiológicos se hizo un recuento de coliformes totales y microorganismos viables. En general, este estudio mostró que la represa presenta un estado de eutroficación moderado y una población característica de algas de aguas claras. Sin embargo, las fuentes de aguas negras que llegan a la represa y la actividad agrícola que se lleva a cabo en sus alrededores, podrían a corto plazo causar problemas graves de eutroficación.

INTRODUCCION

Las características de las represas o embalses varían grandemente de acuerdo con el área geográfica, las condiciones climáticas y el uso y manejo de la tierra en su área de influencia. Mientras en las zonas templadas la productividad y el comportamiento físicoquímico y biológico están marcados por los cambios de temperatura, debido a las estaciones, en los trópicos éstos parecen estarlo asociados con las épocas de lluvia y sequía. En los trópicos y subtropicos el problema de las malezas acuáticas reviste características graves que atentan contra la existencia de los embalses; en cambio, este problema en las zonas templadas es prácticamente inexistente. Por lo tanto, dar normas generales para su uso y manejo es casi imposible, máxime en los trópicos donde existen pocos estudios acerca de su limnología y comportamiento ecológico general. Hay que recordar que los embalses son ecosistemas artificiales creados por el hombre y que muchas veces éstos pierden su vida útil antes de alcanzar una estabilidad ecológica.

Por lo regular, los embalses en sus primeras etapas de funcionamiento pasan por una serie de cambios físicoquímicos, los cuales repercuten en el establecimiento de una flora y

fauna estables y en la óptima utilización de los mismos, ya sea para centrales hidroeléctricas o para consumo humano.

Ackermann (1973) presenta un amplio resumen acerca de los problemas e impactos ambientales que traen consigo los embalses. La gran mayoría de los artículos allí citados presentan una buena información acerca de los problemas que sufren los principales embalses del mundo, localizados la mayoría de ellos en Africa y la India y un caso en Sur América (ver especialmente los trabajos de: McFie, Obeng, Lingen, Leentvaar, Raheja, Hussainy y Abdulappa, Krishna-moorthi y Mitchell, en Ackermann, op. cit.). Esta información se considera valiosa pues lo que ocurre en estos embalses puede ser extrapolable en buena parte a los nuestros, aprovechándose así dichas experiencias para un uso y manejo racional de los mismos.

En Colombia aún faltan muchos estudios que muestren cuál es la situación real acerca del funcionamiento de los embalses en nuestro medio. Uribe y Roldán (1975) llevaron a cabo el primer estudio limnológico de la represa de El Peñol, cuando aún ésta se encontraba en su primera etapa de funcionamiento. Los principales hechos que allí se encontraron fue una marcada aparición de fitoplancton en

(1) Proyecto financiado por Colciencias (Proyecto No. 10010-1-40-82) y Comité de Investigaciones, Univ. de Antioquia.

(2) Profesores, Depto. de Biología, Univ. de Antioquia.

(3) Profesor, Depto. de Química, Univ. de Antioquia, Medellín, Colombia.

las épocas de sequía, representado principalmente por algas verde-azules. En cuanto al zooplancton, éste estaba representado principalmente por copépodos y cladoceros. Esto es muy similar a lo reportado para las otras represas citadas anteriormente.

Medina (1983) reporta problemas de operación de origen ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé (El Peñol) los cuales estaban representados por daños en los sistemas de refrigeración, sistemas eléctricos y problemas de salud en los operarios. De nuevo se acepta que estos problemas surgieron debido en gran parte a la no remoción de la vegetación durante la primera etapa. También, las descargas de aguas negras de los municipios de El Peñol y Guatapé pueden contribuir a agravar dicho problema.

Estudios realizados en la represa La Fe por Torres (1979) y Ramírez y Machado (1982) muestran resultados que arrojan nuevas luces acerca de las características y funcionamiento de los embalses tropicales.

Los objetivos del presente estudio fueron: Realizar mediciones quincenales de algunos factores fisicoquímicos, tales como oxígeno disuelto, dióxido de carbono, alcalinidad, nitratos, fosfatos, sulfatos y hierro, entre otros, con el fin de determinar los cambios a lo largo de un año de estudio en distintos sitios y a diferentes profundidades; estudiar cualitativa y cuantitativamente el fitoplancton y el zooplancton y determinar a través de estos organismos el estado de eutroficación del embalse; hacer un estudio de la fauna béntica existente y utilizarla como indicadora de la calidad de agua; determinar la presencia de plantas acuáticas en el embalse y definir su grado de invasión; definir las fuentes de eutroficación del embalse y proponer correctivos a las mismas; y aportar nuevos datos acerca del funcionamiento ecológico de los embalses tropicales en zonas de montaña.

Los datos obtenidos en el presente estudio arrojan resultados en gran parte similares a los obtenidos en otros embalses tropicales (Africa, India y Sur América) y los mismos servirán de base para obtener un mejor aprovechamiento de los embalses existentes y prevenir problemas similares en futuros embalses que se construirán en los próximos años.

Debe recordarse que el potencial hidroeléctrico de Colombia para el año 2000 es de cerca de 100.000.000 de KW, por lo que es de esperarse la realización de un gran número de estudios previos ecológicos y de impacto ambiental en las regiones que van a ser inundadas y en sus áreas de influencia.

Actualidades Biológicas, Vol. 13, No. 50

AREA DE ESTUDIO

El embalse de El Peñol o Río Nare está localizado en el oriente antioqueño a 50 km de Medellín, en línea recta, a los 6° 13' 20" de latitud norte y 75° 10' 16" de longitud oeste. Su área de influencia abarca los municipios de El Peñol, Guatapé, Alejandría, Concepción y San Rafael. El embalse está localizado a una altura de 1.850 m snm.

El principal río que lo alimenta es el río Rionegro, con un caudal promedio 50 m³/seg. Por su margen izquierda llegan las quebradas San Miguel, La Magdalena, San Lorenzo y Cucurucho. Por su margen derecho, sus principales tributarios son las quebradas La Culebra, Santa Marina, San Pedro y La Candelaria. Por su extremo sur está la quebrada Peñolcito.

El embalse tiene un volumen de 1240 millones de metros cúbicos y cubre un área de 6240 hectáreas. En el sitio de la presa la cuenca tiene un área de 1210 km².

CARACTERISTICAS CLIMATICAS

El clima de la región corresponde al tipo de clima de las montañas tropicales en donde la baja latitud no permite mayor variación de temperatura durante el año, aunque las variaciones del día a la noche son relativamente altas. La figura 1 muestra los registros de precipitación mensual en el área del embalse durante 1983.

MATERIALES Y METODOS

Entre enero y diciembre de 1982 se llevaron a cabo muestreos quincenales en seis sitios diferentes de la represa de El Peñol con el fin de adelantar estudios limnológicos y bacteriológicos de dicho embalse. Las estaciones de muestreo seleccionadas fueron: No. 1, La Presa (X=1.211.250, Y=1.190.900); No. 2, Torres de Captación (X=1.212.100, Y=1.190.000); No. 3, La Magdalena (X=1.207.220, Y=1.188.700); No. 4, La Isla (X=1.209.210, Y=1.186.610); No. 5, Guatapé (X=1.205.630, Y=1.180.600); No. 6, Viejo Peñol (X=1.208.700, Y=1.180.620) (fig. 2). En cada una de las seis estaciones se hicieron análisis de muestras tanto de superficie como de fondo. Sólo las muestras de plancton fueron tomadas únicamente en la superficie. Los recorridos en la represa se hicieron en una lancha con motor fuera de borda de 40 H.P.

Estudios Limnológicos

Estos comprendieron los análisis fisicoquímicos, de plancton y de bentos. Entre los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo: temperatura, transparencia, conductividad,

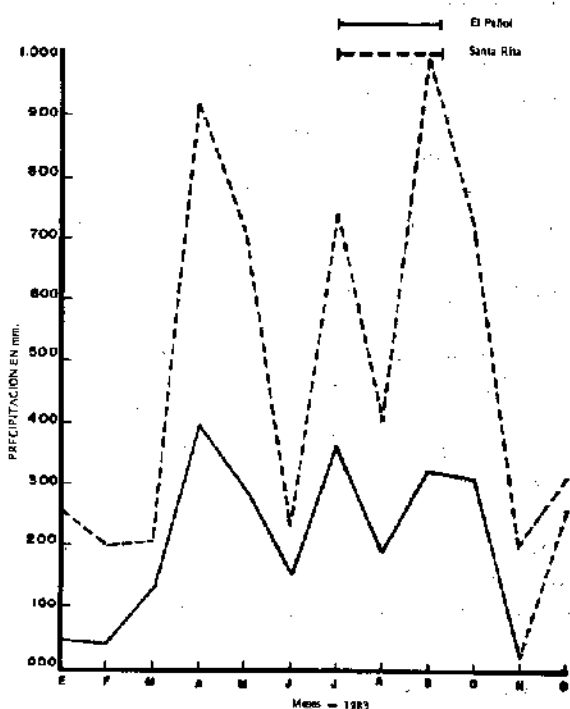


Fig. 1. Variación de los valores de precipitación en las estaciones de El Peñol y Santa Rita, durante el año de 1983.

oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, nitratos, nitritos, fosfatos, alcalinidad, dureza, hierro y sulfatos.

En cuanto al plancton se hicieron estudios de fitoplancton y de zooplancton.

Los estudios limnológicos se dividieron en de campo y de laboratorio.

Estudios de campo

La temperatura se midió con un teletermómetro modelo YSI-42 S C. Al comienzo del estudio se hicieron perfiles de temperatura a cada metro de profundidad, pero por falla del aparato, se continuaron haciendo mediciones sólo de superficie y fondo, con un termómetro de mercurio. La transparencia se midió con el disco Secchi.

Es importante anotar que las condiciones del fondo variaron muchísimo en cada estación de muestreo. Mientras la profundidad en las estaciones La Presa, las Torres de Captación, La Isla y Viejo Peñol oscilaban entre los 25 y 30 m, en La Magdalena y Guatapé se presentaron profundidades entre los 5 y 7 m.

El oxígeno disuelto se midió por el método de Winkler, se fijó en el campo y luego se tituló en el laboratorio. El dió-

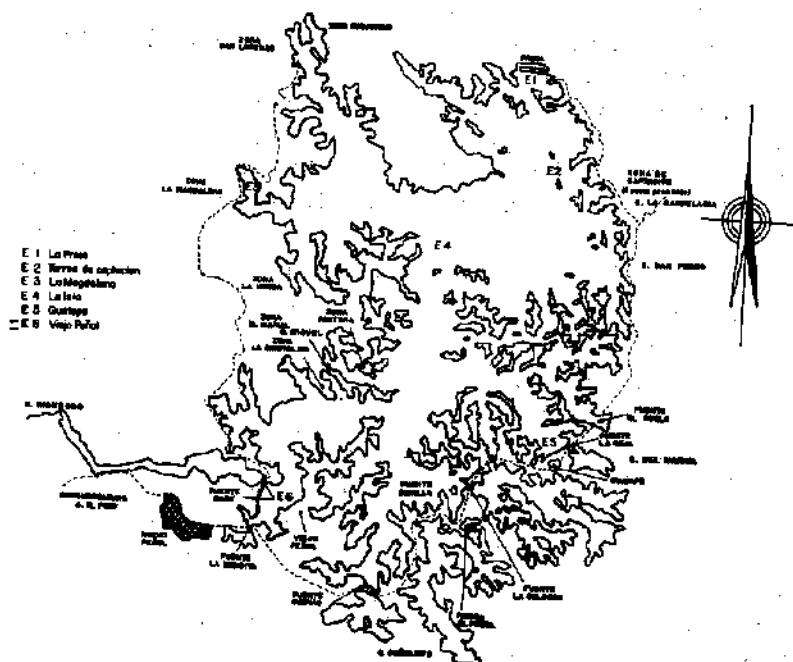


Fig. 2. Represa de El Peñol; en él se indican los sitios de muestreo y algunos puntos de referencia (Empresas Públicas de Medellín, 1983).

xido de carbono se midió directamente por el método de la fenoltaleína.

Las muestras de agua para el resto de los análisis fisicoquímicos se tomaron directamente de la superficie en galones de plástico y las del fondo con una botella Kemmerer.

El plancton se tomó con redes de arrastre de 20 "mesh", con un arco de 24 cm de diámetro y una longitud de 1 m. Se hicieron sólo arrastres superficiales, halando la red durante dos minutos en forma circular a la mínima velocidad de la lancha. El material recogido se preservaba con formol al 50/o.

El bentos se tomó en las partes más profundas con una draga Ekman y en las orillas con una pala de doble mango y una red de arrastre tipo "D-net".

Estudios de laboratorio

Las muestras de agua se llevaban al laboratorio en galones de plástico. El pH se medía el mismo día; los demás análisis químicos se hacían al día siguiente dejando previamente las muestras en refrigeración.

Todos los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en el Laboratorio del Centro de Investigaciones Ambientales de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Antioquia; éstos se hicieron siguiendo los métodos propuestos por APHA (1980).

En cuanto a los análisis de plancton, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de Antioquia. Para el análisis de los organismos, se agitó bien cada frasco que contenía la muestra de plancton y se tomaron cinco gotas con el mismo gotero. Cada gota equivale a 0.0625 ml para totalizar en las cinco gotas 0.3125 ml. Se contó el número de organismos del plancton en las cinco gotas, seleccionando cinco campos para el conteo de cada gota. El estudio se hizo con un microscopio marca Leitz Ortholux II.

La identificación del material se llevó a cabo mediante las claves de Bicudo (1969), Edmonson (1959), Palmer (1977), Presscott (1970) y Yacubson (1969, 1972, 1974).

Estudios Bacteriológicos

Estudios de campo: Las muestras se tomaron directamente en el campo en frascos de 200 ml previamente esterilizados en el laboratorio. El frasco se abría dentro del agua a unos 20 cm de profundidad y se cerraba allí mismo. Sólo se tomaron muestras de superficie.

Estudios de laboratorio: El estudio bacteriológico se realizó en la siguiente forma:

1. Numeración de bacterias coliformes totales. Se utilizó la técnica de tubos múltiples siguiendo el procedimiento descrito por APHA (op. cit.). Se usaron tres tubos de caldo lactosado para cada dilución y los volúmenes de muestras utilizadas fueron 10 ml, 1 ml, y 0.1 ml. La incubación se realizó a 35°C por 24 y 48 horas. Cuando se observó formación de gas en el caldo lactosado se resembró en caldo bilis verde brillante; la aparición de gas a las 48 horas de incubación a 35°C, indicó una prueba confirmativa positiva para las bacterias del grupo coliforme. La numeración de los organismos coliformes fue expresada en NMP (número más probable) en 100 ml de muestra.
2. Numeración de coliformes fecales. A los tubos positivos en caldo bilis verde brillante, se les realizó la prueba de Eijkman, sembrando en agar eosina azul de metileno e incubando por 48 horas a 44.5°C para diferenciación de *Escherichia coli*.
3. Numeración de *Streptococcus*. El método que se utilizó fue el descrito en APHA (op. cit.). La prueba presuntiva se realizó sembrando tres tubos con diluciones de 10 ml, 1.0 ml y 0.1 ml en caldo glucosa azida. A los tubos positivos después de 48 horas, se les practicó la prueba confirmativa en caldo púrpura de bromocresol azida. Los *Streptococcus fecalis* presentes en esta muestra fueron expresados en NMP por 100 ml.
4. Recuento de colonias en placa. Para el número de microorganismos viables se utilizó el agar cuenta gérmenes (oxid). La muestra original se diluyó 1/10 o 1/100 dependiendo del grado de contaminación. Las cajas de petri se incubaban a 35°C por 24 horas y los resultados fueron expresados en número de colonias por 1 ml.

RESULTADOS

Fisicoquímicos

Las figuras 3, 4 y 5 muestran las fluctuaciones de algunos parámetros fisicoquímicos registrados mes por mes en cada una de las estaciones estudiadas. Se puede observar cómo el oxígeno disuelto presentó una marcada disminución de superficie a fondo; sus valores variaron entre 1.0 y 12.04 mg/l.

La temperatura fue más o menos constante a lo largo de todo el año, con fluctuaciones entre los 20.0 y 25.0 °C.

El dióxido de carbono presentó rangos normales con variaciones entre 0.0 y 26.4 mg/l.

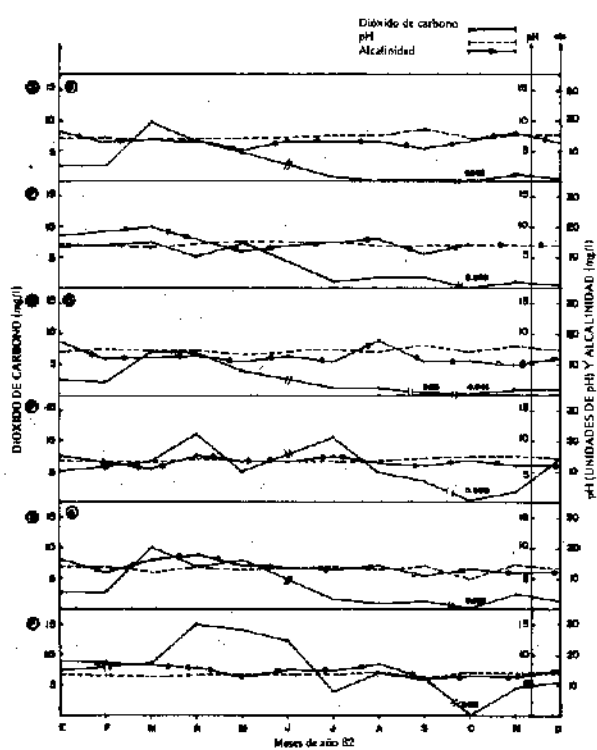
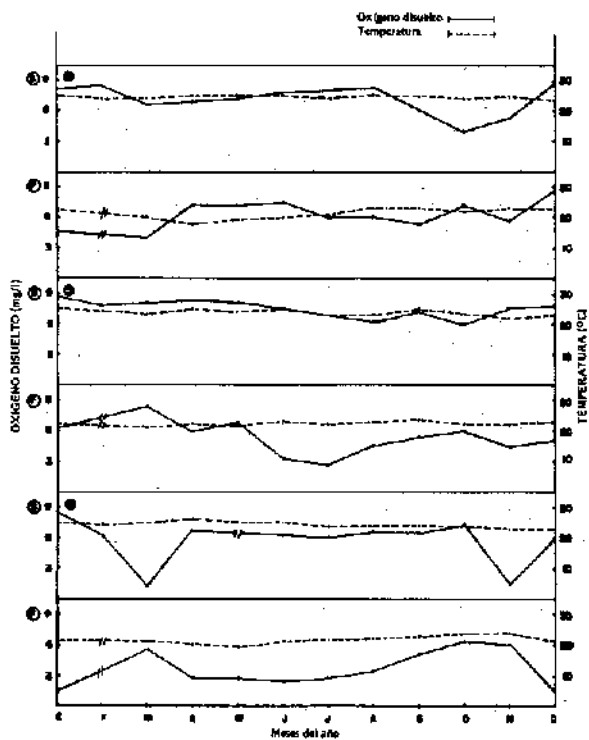
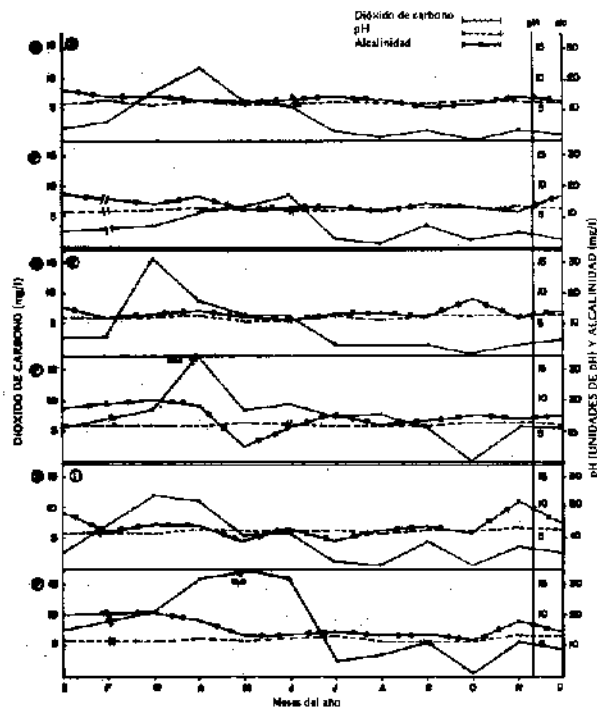
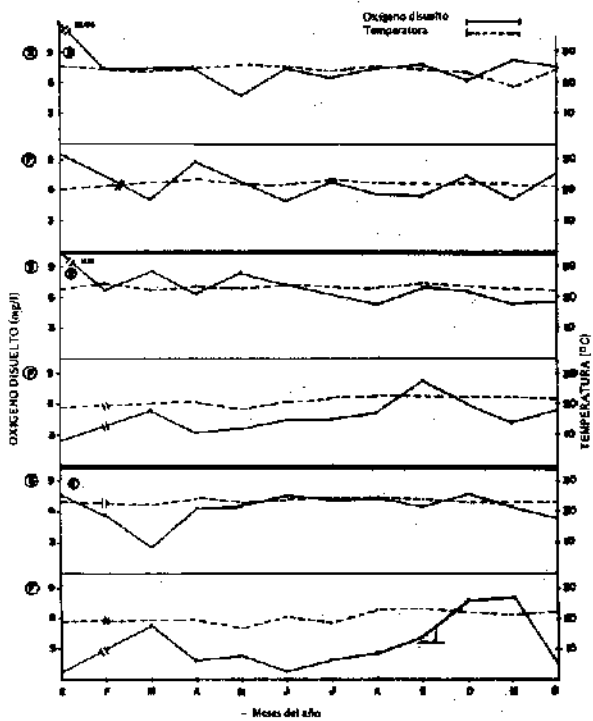


Fig. 3. Variación mensual de los valores de oxígeno disuelto y temperatura en la represa de El Peñol durante el año de 1982.

Fig. 4. Variación mensual de los valores de dióxido de carbono, pH y alcalinidad en la represa de El Peñol durante el año de 1982.

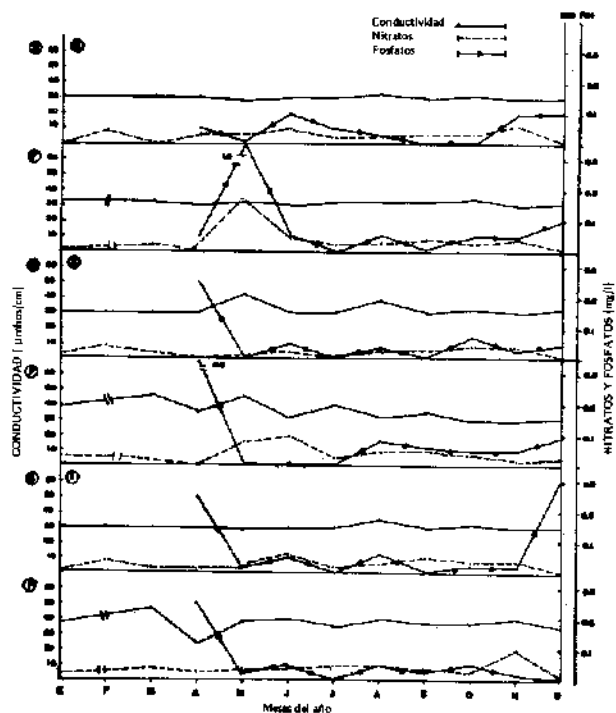
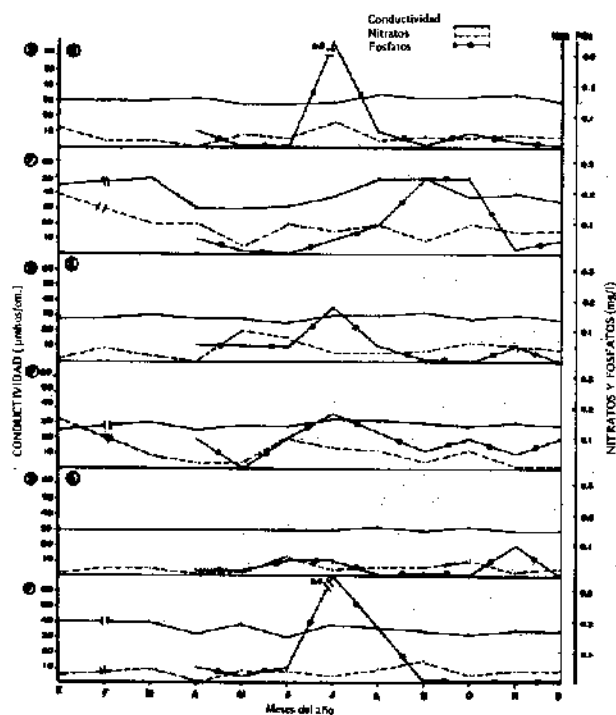


Fig. 5. Variación mensual de los valores de conductividad, nitratos y fosfatos en la represa de El Peñol durante el año de 1982.



El pH mostró rangos de variación entre 6.4 y 8.8, presentándose los valores de mayor acidez en el fondo.

Por su parte la alcalinidad presentó valores bajos, estando éstos entre los 5.0 y los 20.0 mg/l.

La conductividad fue en general baja, entre los 25.0 y 50.00 $\mu\text{mhos}/\text{cm}^2$. La variación fue directa en relación con los nitratos y fosfatos.

Los nitratos se presentaron dentro de rangos normales; sus valores variaron entre 0.0 y 0.3 mg/l.

Los fosfatos se presentaron un poco por encima de lo normal, con un rango de variación entre 0.0 y 0.6 mg/l.

Biológicos

Fitoplancton

La figura 6 y las tablas 1 y 2 muestran cómo la especie que presentó el mayor porcentaje de individuos en las estaciones, 2, 3, 5 y 6 fue el dinoflagelado *Peridinium*, seguido por *Volvox*, *Botryococcus* y *Schroederta*.

La figura 7 muestra cómo los meses de mayor porcentaje de fitoplancton en la estación 1 fueron febrero con 4.47%, mayo con 4.43% y julio con 3.97%. En general, las estaciones 2 y 3 presentaron cambios poco bruscos, comparadas con las demás estaciones.

Zooplancton

En la figura 8 puede observarse cómo la especie de mayor importancia fue *Daphnia*, con excepción de las estaciones 2 y 3 donde quienes ocuparon dicho lugar fueron *Chydorus* y los representantes de la familia Cyclopidae, respectivamente.

Bentos

El bentos fue escaso, en general, debido principalmente a la fluctuación de nivel en este tipo de embalses. La tabla 3 muestra los organismos más representativos encontrados en cada estación.

Microbiológicos

La figura 9 muestra la variación mensual de coliformes totales y microorganismos viables en los seis sitios estudiados. En general, se observa un mayor incremento de microorganismos viables en los primeros meses del año, siendo el recuento de éstos siempre mayor que el de coliformes.

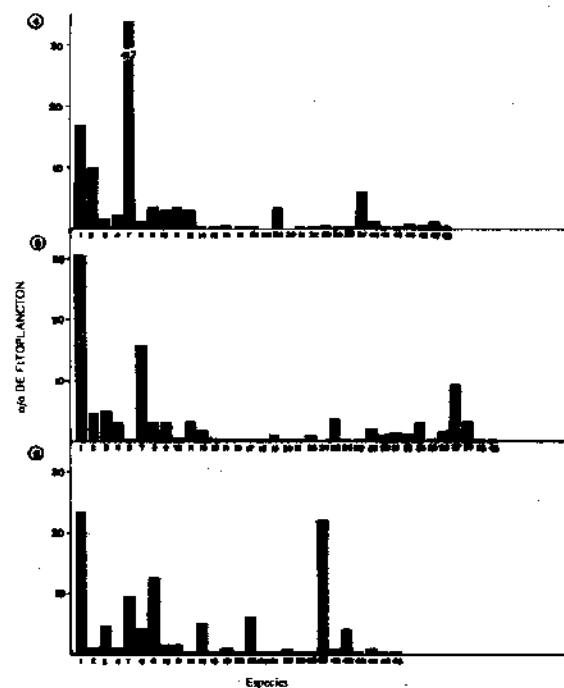
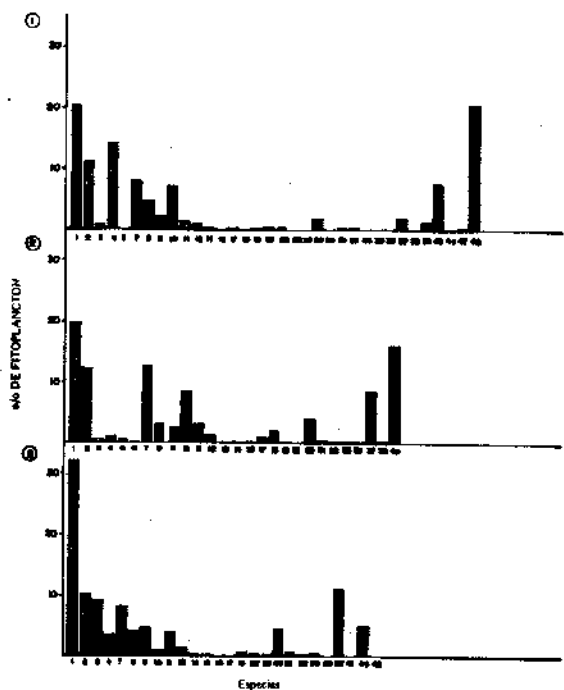


Fig. 6. Estructura de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones 1, 2 y 3 de la represa de El Peñol. (Ver los nombres correspondientes a los números de las especies en la tabla 1).

Fig. 6. (Cont). Estructura de la comunidad fitoplanctónica en las estaciones 4, 5 y 6 de la represa de El Peñol.

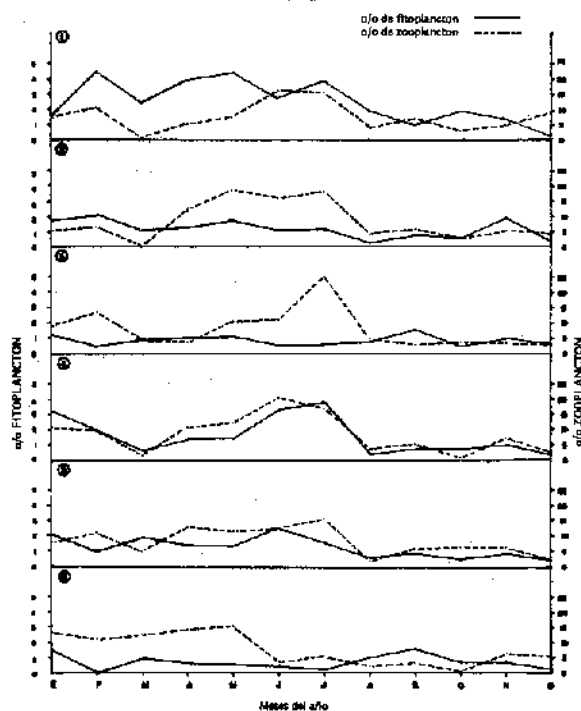


Fig. 7. Relaciones entre el fitoplancton y el zooplancton en la represa El Peñol.

Malezas acuáticas

Las malezas acuáticas fueron en general escasas, siendo las especies más representativas *Eichhornia crassipes* y *Elo-dea sp.*

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fisicoquímicas

La temperatura fue el factor más constante a lo largo de todo el estudio. Esta se mantuvo dentro de los 20.0 y 25.0°C, por lo que no se considera un factor decisivo que marque fuertes cambios estacionales en los ecosistemas acuáticos tropicales. En cuanto al oxígeno disuelto, los valores promedio más altos se presentaron en la estación 5, lo cual coincide con la estructura de comunidad de fitoplancton de esa misma estación donde se presentó la mayor diversidad de especies (fig. 3 y 6).

Al comparar los valores de oxígeno con los de dióxido de carbono, se encontró una relación inversa en todas las estaciones. Los máximos valores se presentaron en las estaciones 1 y 2 en el fondo donde se encontró gran cantidad de materia orgánica en descomposición. Ackermann (1973),

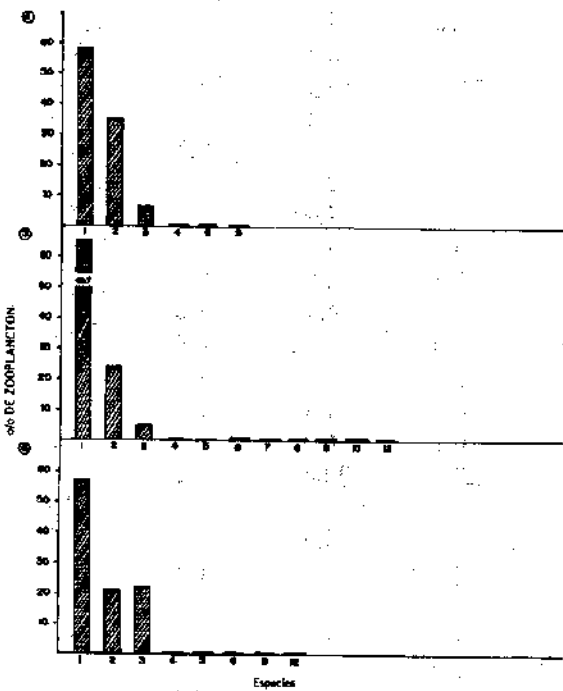
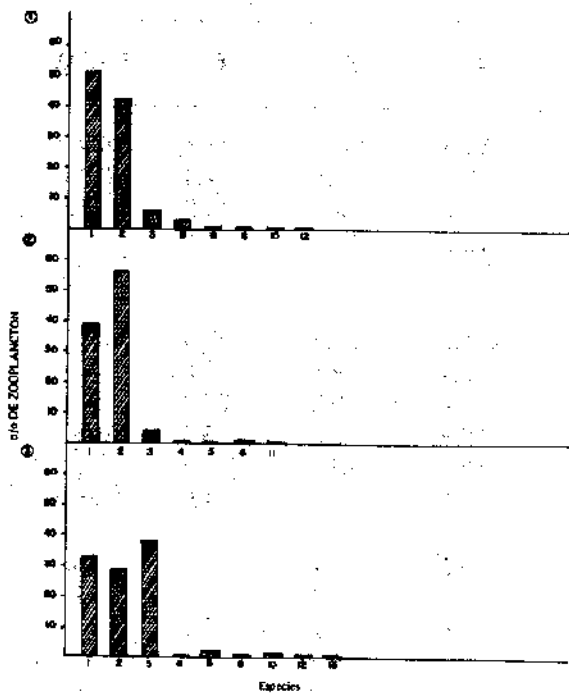


Fig. 8. Estructura de la comunidad zooplanctónica en las estaciones 1, 2 y 3 de la represa de El Peñol.

Fig. 8. (Cont.) Estructura de la comunidad zooplanctónica en las estaciones 4, 5 y 6 de la represa de El Peñol.

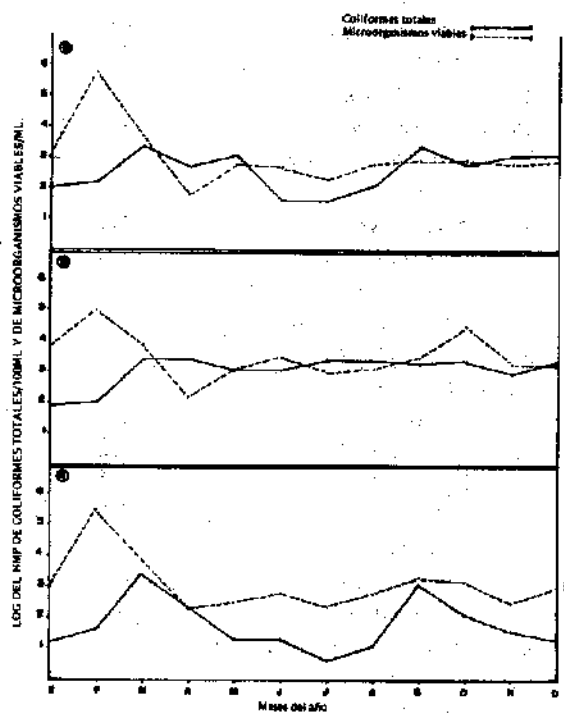
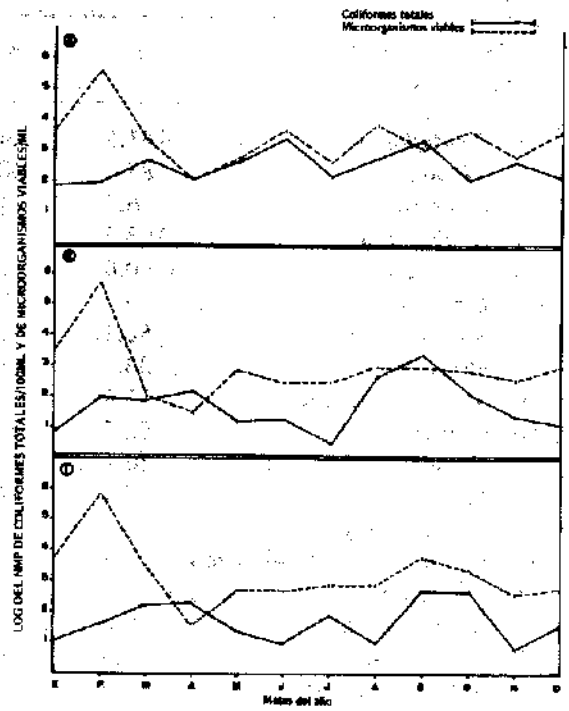


Fig. 9. Variación mensual de coliformes totales y microorganismos viables en la represa de El Peñol durante el año de 1982.

Tabla 1

Individuos totales de Fitoplancton por estación en la Represa de El Peñol

ESPECIE	ESTACION	1	2	3	4	5	6	TOTAL
1	<i>Peridinium sp.</i>	141.5	64.6	74.4	82.3	112.0	54.4	529.2
2	<i>Dinobryon sp.</i>	83.0	40.2	23.4	48.1	17.5	2.4	214.6
3	<i>Navicula sp.</i>	6.5	1.8	20.9	8.1	18.7	10.9	66.9
4	<i>Anabaena sp.</i>	103.2	3.4	8.0	10.7	11.6	2.6	139.5
5	<i>Protococcus sp.</i>	0.6	2.0	—	—	0.6	—	3.2
6	<i>Closterium sp.</i>	—	0.8	—	—	—	—	—
7	<i>Schroederia sp.</i>	56.4	42.1	18.9	201.7	57.5	22.3	398.9
8	<i>Mougeotlopsis sp.</i>	33.6	9.7	10.1	6.4	9.6	10.0	79.4
9	<i>Synechococcus sp.</i>	16.4	8.6	11.0	17.4	10.2	29.8	93.4
10	<i>Gonatozygon sp.</i>	52.7	28.2	1.6	15.6	1.6	3.5	103.2
11	<i>Oocystis sp.</i>	10.4	10.8	8.6	17.2	12.1	3.7	62.8
12	<i>Staurastrum sp.</i>	6.5	4.3	3.4	14.2	7.1	1.0	36.5
13	<i>Phytoconis sp.</i>	—	0.2	—	—	1.0	—	1.2
14	<i>Chlorophyceae Chlorococcal</i>	1.6	1.1	0.8	0.2	0.2	12.1	16.0
15	<i>Ulothrix sp.</i>	—	1.0	0.6	—	—	—	1.6
16	<i>Cosmarium sp.</i>	0.6	—	0.3	0.6	0.9	1.2	3.6
17	<i>Spirulina sp.</i>	1.8	6.4	0.2	—	0.2	—	8.6
18	<i>Sphaerocystis sp.</i>	0.2	7.0	—	—	1.0	—	8.2
19	<i>Scenedesmus sp.</i>	2.2	1.2	2.0	2.4	3.8	2.4	14.0
20	<i>Pediastrum sp.</i>	—	—	—	—	0.2	0.2	0.4
21	<i>Lyngbia sp.</i>	3.2	0.2	—	1.2	0.2	—	4.8
22	<i>Gyrosigma sp.</i>	1.8	—	0.6	0.4	—	—	2.8
23	<i>Synedra sp.</i>	1.2	—	0.5	0.2	4.4	—	6.3
24	<i>Desmidium sp.</i>	0.3	—	—	—	0.4	—	0.7
25	<i>Oscillatoria sp.</i>	14	13.7	10.2	16.9	13.4	14.2	82.4
26	<i>Anacystis sp.</i>	—	—	—	—	0.4	—	0.4
27	<i>Coelastrum sp.</i>	—	—	—	—	—	0.7	0.7
28	<i>Chaetophora sp.</i>	—	—	—	—	0.6	—	0.6
29	<i>Cyanophyceae S. l.</i>	—	—	—	—	7.0	—	7.0
30	<i>Spirogyra sp.</i>	—	—	—	0.2	4.4	—	4.6
31	<i>Gomphonema sp.</i>	1.0	2.0	1.7	0.6	4.8	0.8	10.9
32	<i>Oedogonium sp.</i>	2.0	0.2	0.6	1.0	4.4	1.6	9.8
33	<i>Tabellaria sp.</i>	0.4	0.4	1.0	2.0	11.4	0.4	15.6
34	<i>Planktosphaeria sp.</i>	—	—	—	0.4	—	—	0.4
35	<i>Hyalotheca sp.</i>	0.6	—	—	—	1.4	0.4	2.4
36	<i>Diatoma sp.</i>	0.7	0.3	0.4	0.1	6.7	—	8.2
37	<i>Botryococcus sp.</i>	15.4	27.7	25.9	29.8	33.6	51.3	183.7
38	<i>Sphaerozoma sp.</i>	0.2	—	—	—	—	—	0.2
39	<i>Eudorina sp.</i>	1.4	0.4	—	—	5.9	—	7.7
40	<i>Nostoc sp.</i>	7.5	—	—	1.0	—	0.6	9.1
41	<i>Cymbella</i>	—	—	0.2	—	—	—	0.2
42	<i>Aphanocapsa sp.</i>	—	—	—	—	—	4.0	4.0
43	<i>Oedogoniaceae S. l.</i>	—	—	—	0.2	—	0.4	0.6
44	<i>Esporangio de Ascomicete</i>	0.3	—	4.7	0.8	—	0.8	6.6
45	<i>Monotaenium sp.</i>	—	—	—	0.2	—	—	0.2
46	<i>Euastrum sp.</i>	—	—	—	—	0.2	0.2	0.4
47	<i>Phormidium sp.</i>	0.4	—	—	1.0	—	—	1.4
48	<i>Volvox sp.</i>	146.9	52.6	0.4	2.4	1.0	1.2	204.5
	Número total de individuos	714.5	330.9	230.4	483.3	366.4	233.1	—

Tabla 2

o/o de individuos de Fitoplancton por estación

1	2	3	4	5	6
19.8	19.5	32.2	17.0	30.6	23.3
11.6	12.1	10.1	9.9	4.7	1.0
0.9	0.54	9.07	1.6	5.1	4.6
13.9	1.02	3.4	2.2	3.1	1.1
0.08	0.6	—	—	0.1	—
—	0.24	—	—	—	—
7.8	12.7	8.2	41.7	15.7	9.5
4.7	2.9	4.3	1.3	2.6	4.2
2.2	2.5	4.7	3.6	2.7	12.7
7.3	8.5	0.69	3.2	0.4	1.5
1.4	3.2	3.7	3.5	3.3	1.5
0.9	1.2	1.47	2.9	1.9	0.4
—	0.06	—	—	0.2	—
0.22	0.3	0.3	0.04	0.05	5.1
—	0.3	0.2	—	—	—
0.08	—	0.1	0.1	0.2	0.5
0.25	0.9	0.08	—	0.05	—
0.02	2.1	—	—	0.2	—
0.3	0.3	0.8	0.4	1.0	1.0
—	—	—	—	0.05	0.08
0.4	0.06	—	0.2	0.05	—
0.25	—	0.2	0.08	—	—
0.16	—	0.2	0.04	1.2	—
0.04	—	—	—	0.1	—
1.95	4.1	4.4	3.4	3.6	6.0
—	—	—	—	0.1	—
—	—	—	—	—	0.3
—	—	—	—	0.1	—
—	—	—	—	1.9	—
—	—	—	0.04	1.2	—
0.13	0.6	0.7	0.1	1.3	0.3
0.27	0.06	0.2	0.2	1.2	0.6
0.05	0.12	0.4	0.4	3.1	0.17
—	—	—	0.08	—	—
0.08	—	—	—	0.3	0.17
0.09	0.09	0.1	0.02	1.8	—
2.15	8.3	11.2	6.1	9.1	22.0
0.02	—	—	—	—	—
1.4	0.4	—	—	5.9	—
7.5	—	—	1.0	—	0.6
—	—	0.2	—	—	—
—	—	—	—	—	4.0
—	—	—	0.2	—	0.4
0.3	—	4.7	0.8	—	0.8
—	—	—	0.2	—	—
—	—	—	—	0.2	0.2
0.4	—	—	1.0	—	—
20.5	15.8	0.17	0.4	0.2	0.51

cita situaciones similares presentadas en Australia, Ghana, Rodesia, Guyana Holandesa e India. Medina (1983), reporta graves problemas de operación en la Represa de El Peñol atribuidos a la no remoción de la vegetación en la zona del embalse.

El hierro trivalente presenta problemas de corrosión, especialmente a nivel de la casa de máquinas. Este problema es discutido ampliamente por Medina (1983).

En cuanto a la dureza, fue baja. Según Ohle (1934), valores por debajo de los 25 mg/l corresponden a aguas blandas y poco productivas. Por lo tanto, el embalse de El Peñol estaría dentro de esta categoría.

Los máximos valores de fosfatos y nitratos se presentaron cerca a las desembocaduras de la quebrada La Magdalena y el río Rionegro.

Ambas corrientes reciben aguas negras y están influenciadas por cultivos a pocos metros de sus orillas.

Biológicos

Se encontró un total de 48 especies de organismos fitoplanctónicos, de los cuales 28 pertenecen a las Chlorophitas, 10 a las Cyanophytas, 9 a las Chrysophytas y 1 a las Pyrrophytas. Las principales especies reportadas fueron: *Anabaena*, *Synedra*, *Spirogyra*, *Oedogonium*, *Botryococcus* y *Volvox*.

Con referencia a la precipitación, se puede notar en general que hubo aumentos de fitoplancton después de las lluvias, lo cual podría explicarse por el aporte de nutrientes que éstas hacen al embalse.

Al analizar la figura 7 se puede ver una relación directa entre el fitoplancton y el zooplancton, pues las fluctuaciones del fitoplancton van seguidas del zooplancton, presentándose, por lo tanto, una regulación dinámica poblacional en el sistema.

En cuanto al bentos, éste fue en general muy pobre, tanto en número como en diversidad. Según Odum (1972) los embalses, debido a las fluctuaciones de nivel y a la acumulación de materia orgánica y sedimentos en el fondo, no alcanzan a formar comunidades bénticas estables. Los organismos más abundantes fueron *Oecetis* sp, *Physa* sp, Tendi-pedidae y Oligochaeta. En general, todos los organismos bénticos encontrados son característicos de aguas lénticas y con abundante materia orgánica en descomposición (tabla 3).

Los análisis microbiológicos mostraron a lo largo de los doce meses de estudio una contaminación variable y diferente,

dependiendo del sitio de muestreo. Haciendo una confrontación de todos los parámetros bacteriológicos estudiados, se observa que las estaciones que presentaron más baja calidad de aguas son en su orden la 5, 3 y 6, respectivamente. Esto se puede relacionar con las descargas de aguas negras que hacen directamente a la represa los municipios de El Peñol, Guatapé y la quebrada La Magdalena.

Tabla 3

Organismos bénticos encontrados en las diferentes estaciones en la Represa de El Peñol

ORGANISMOS	ESTACIONES					
	I	II	III	IV	V	VI
BENTICOS						
INSECTA						
Ephemeroptera						
<i>Tricorythodes</i> sp.					X	
<i>Baetis</i> sp.					X	
TRICHOPTERA						
<i>Oecetis</i> sp.	X	X	X	X		X
<i>Polycentropus</i> sp.	X					
Hydroptilidae			X	X	X	
COLEOPTERA						
Elmidae			X			
HEMIPTERA	X				X	
ODONATA						
Coenagrionidae	X			X		
Gomphidae						X
DIPTERA						
Tendipedidae	X	X	X		X	X
Tabanidae				X		
Tipulidae			X			
ARACNIDA						
Acaro			X	X		X
MOLLUSCA						
<i>Physa</i> sp.	X		X	X	X	X
Ancylidae						X
ANNELIDA						
Oligochaeta	X	X	X			X
Hirudínea		X				

En cuanto a las malezas acuáticas, no se encontraron invasiones masivas de las mismas. Solo se encontraron ejemplares esporádicos de *Eichhornia*, *Crassipaes* y *Elodea* sp. Quizás esto esté relacionado con el hecho de que la vegetación fue removida del área del embalse al construirse su segunda etapa. Pero si se sigue arrojando directamente al embalse las aguas negras de El Peñol y Guatapé y se continúa con las prácticas agrícolas cerca a sus orillas, se fomentará la eutrofización de sus aguas, lo que favorecerá a corto o mediano plazo el crecimiento masivo de las malezas acuáticas.

En general, puede concluirse que la represa presenta condiciones ecológicas aceptables, con un estado de eutrofización moderado y una población mayoritaria de algas características de aguas claras. Sin embargo, las condiciones de anaerobiosis predominantes en el fondo en casi todas las estaciones (especialmente en la 1. y la 2) son indicadoras de una eutrofización ascendente, lo que traerá problemas de estabilidad ecológica del embalse en sí y de funcionamiento y operación en la casa de máquinas.

Se debe tener en cuenta que el problema de eutrofización que no es grave ahora, sí puede serlo a corto o mediano plazo, si se continúa vertiendo al embalse las aguas negras de los municipios de El Peñol y Guatapé, así como también las aguas del río Rionegro que recoge la mayoría de los desechos industriales y domésticos del oriente antioqueño. Dicha eutrofización también puede acelerarse por las prácticas de cultivo existentes en cercanías de la represa.

Por otro lado, la contaminación bacteriológica por materias fecales, especialmente en las estaciones 5 (Guatapé) y 6 (Viejo Peñol) se considera alta y de peligro para la salud humana.

RECOMENDACIONES

Con el fin de minimizar los impactos ecológicos que está sufriendo el embalse y garantizar su operación por un tiempo más largo, se recomienda poner en práctica las siguientes recomendaciones:

1. Construir plantas de tratamiento de aguas negras en los municipios de El Peñol y Guatapé con el fin de disminuir considerablemente la contaminación bacteriológica y la materia orgánica en descomposición en el embalse.
2. Eliminar, o al menos disminuir, las actividades agrícolas en cercanías de la represa, pues los abonos utilizados al ser arrastrados por las aguas lluvias, constituyen una fuente de eutrofización para el embalse. Además, los pesticidas utilizados constituyen una amenaza para la fauna íctica de la región.

3. Reforestar las zonas aledañas al embalse con el fin de prevenir la erosión y con ella, el arrastre de sedimentos y nutrientes.
4. Hacer que las poblaciones e industrias del oriente antioqueño que vierten sus desechos al río Rionegro construyan plantas de tratamiento, pues estos residuos son, en último término, fuente de eutroficación del embalse.
5. Restringir las actividades náuticas o aquellas que impliquen prácticas deportivas y permitir las lanchas de motor sólo para labores de vigilancia. El aceite de los motores y el oleaje producido, causan contaminación en el agua y erosión en las orillas del embalse.
6. Establecer una estricta vigilancia sobre la aparición de malezas acuáticas, pues éstas se pueden erradicar fácilmente si se controlan en sus estados incipientes de desarrollo.
7. Promover igualmente campañas educativas y de vigilancia, con el fin de que los turistas no arrojen basuras ni enciendan fuegos en cercanías del embalse.
8. Establecer un programa de monitoreo permanente con el fin de detectar los problemas de orden físico-químico o biológico que se puedan presentar en el embalse y poder aplicarse así, los correctivos en forma oportuna.

LITERATURA CITADA

- Apha, 1980. Métodos Standard para el Examen de Aguas y Aguas de Desecho. Edit. Interamericana, S. A. México.
- Ackermann, W., G. F. White y E. B. Worthington. 1973. Man Made Lakes: Their Problems and Environmental Effects. American Geophysical Union, Washington, D. C.
- Bicudo, C. y R. M. T. Bicudo. 1969. Algas de Aguas Continentales Brasileiras. Fundacao Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências, Sao Paulo.
- Edmonson, W. T. 1959. Fresh-Water Biology. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Medina, H. 1983. Problemas de Operación de Origen Ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé. Rev. EE.PP. MM. 5(1): 53-77pp.
- Odum, E. 1972. Ecología. Editorial Interamericana S. A. México.
- Ohle, W. 1934. Chemische und Physikalische Untersuchungen Nordenscher Seen. Arch. Hydrobiol. Vol. 26, 386-464.
- Palmer, C. M. 1977. Algae and Water Pollution. Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio.
- Prescott, G. W. 1970. How to Know the Fresh-Water Algae. Wm. C. Brown Company Publishers, Dubuque, Iowa.
- Ramírez, J. J. y T. Machado. 1982. Influencia de la Precipitación y los Ortofosfatos sobre el Fitoplancton de la Represa. La Fe. Actual. Biol. 11(39): 3-21.
- Torres, C. H. 1979. Influencia de la Precipitación y Algunos Iones en la Sucesión Ecológica del Fitoplancton en el Embalse La Fe. Proyecto de Grado, Univ. de Antioquia (sin publicar).
- Uribe, A. y G. Roldán. 1975. Estudio Comparativo de Algunas Características Físicoquímicas y Biológicas del Embalse de El Peñol (Nare). Actual. Biol. 4(11): 2-12.
- Yacubson, S. 1969. Algas de Ambientes Acuáticos Continentales nuevas para Venezuela (Cyanophyta-Chlorophyta). Bol. del Centro de Invest. Biol. de la Univ. del Zulia, No. 3, Maracaibo, Venezuela.
- . 1972. Catálogo e Iconografía de las Cyanophytas de Venezuela. Bol. del Centro de Invest. Biol. de la Univ. del Zulia, No. 5, Maracaibo, Venezuela.
- . 1974. Iconografía de las Chlorophytas de Venezuela. Bol. del Centro de Invest. Biol. de la Univ. del Zulia, No. 11, Maracaibo, Venezuela.