

ESTUDIO LIMNOLÓGICO DEL EMBALSE DE EL GUAVIO (COLOMBIA)

por

Gabriel Roldán¹, Amparo Bohórquez², Ramiro Cataño³ & Jorge I. Ardila⁴

Resumen

Roldán G., Bohórquez A., Cataño R., & J. I. Ardila: Estudio limnológico del embalse de El Guavio (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(90): 73-84, 2000. ISSN 0370-3908.

De septiembre a diciembre de 1996 se llevó a cabo un estudio limnológico de 0 a 100m de profundidad en el embalse de El Guavio. Se tomaron muestras de plancton y se determinó la clorofila *a*. El estudio mostró una columna de agua bien mezclada. El oxígeno disuelto permaneció con una saturación del 60% a 100m de profundidad. Los valores de fósforo y nitrógeno, lo mismo que los de clorofila fueron muy bajos. El fito y el zooplancton fueron diversos en especies. El principal problema del embalse son los sedimentos aportados por los terrenos aledaños muy erosionables.

Palabras clave: Limnología, perfil fisicoquímico, fitoplancton, zooplancton, clorofila *a*, sedimentación en embalses, nitrógeno, fósforo.

Abstract

From september to december 1996, a limnological study of El Guavio reservoir from 0 to 100m deep was undertaken. Samples of plankton were taken and chlorophyll *a* determined. The study showed a well mixed column of water. Dissolved oxygen remained 60% saturation at 100m deep. Values of phosphorus and nitrogen, as well chlorophyll were very low. Phytoplankton and zooplankton were diverse. The main problem of the reservoir is sediments coming from very erosionable surroundings.

Key words: Limnology, physical-chemical profile, phytoplankton, zooplankton, chlorophyll *a*, reservoir sedimentation, nitrogen, phosphorus.

1 Universidad de Antioquia, Postgrado de Biología, A.A. 1226, Medellín, Colombia. E-mail: grolدان@epm.net.co

2 Universidad INCCA, Postgrado de Ecología, Calle 25ª No. 13ª-35, Santafé de Bogotá, Colombia. E-mail: amboho@ unicca.edu.co

3 Universidad de Antioquia, Departamento de Biología, A.A. 1226, Medellín, Colombia

4 Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Laboratorios, Cra. 3 x Calle 27 Sede Macarena A, Santafé de Bogotá, D.C. E-mail: jorgeard@openway.com.co

Introducción

Los embalses son ecosistemas acuáticos creados por el hombre con el propósito de generar energía eléctrica, suministrar agua de consumo, para irrigación, control de inundaciones o simplemente recreación.

El tiempo de duración de estos ecosistemas depende de muchos factores, entre los cuales pueden mencionarse: el tiempo de retención del agua en el embalse, la limpieza previa del terreno a inundar, la cobertura vegetal de la cuenca y la calidad del agua que los surten, entre otros (Ramírez, 1989; Roldán, 1992).

El comportamiento de los embalses en Colombia aun es poco conocido y las fuentes de eutroficación tales como vegetación inundada, aguas negras e industriales, arrastre de sedimentos de zonas erosionadas y de nutrientes provenientes de zonas agrícolas aledañas, causan a menudo problemas de desoxigenación que repercuten en graves daños a nivel de casa de máquinas y túneles de conducción (Gaviria & Rodríguez, 1983; Bernier, 1981; Medina, 1983; Roldán et al, 1984; ISA, 1985; Roldán, 1992). Los problemas de eutroficación causan a menudo proliferación de algas y plantas acuáticas, inhabilitando el embalse para la recreación y la pesca (Roldán, 1978, 1982). Finalmente, un embalse eutroficado, al desoxigenarse produce aguas saturadas de ácido sulfídrico, metano y hierro soluble las cuales se vuelven tóxicas y al ser vertidas aguas abajo destruyen todo tipo de vida en los cauces de ríos y quebradas receptoras.

Estudios relacionados con las fases tempranas de evolución trófica de los embalses han sido realizados por Uribe & Roldán (1975); Sánchez (1976); Torres (1979); Gaviria (1983); Márquez (1984); Horta (1985); y Flórez & Vargas (1988). Todos estos estudios coinciden en afirmar acerca del peligro de eutroficación temprana de embalses en cuyo vaso la vegetación no ha sido removida, si se continúan prácticas agrícolas en su área de influencia inmediata y si se siguen vertiendo en ellos aguas de descarga industrial y doméstica.

Por otro lado, los embalses han sido objeto de estudio como fuentes piscícolas, aspecto que aun falta por valorar, dados los peligros de eutroficación que pueden presentarse (Beltrán, 1978; Flórez, 1989). Actualmente en el embalse de El Guavio se están llevando a cabo estudios de crecimiento y desarrollo de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en balsas flotantes con resultados hasta ahora satisfactorios (Villamizar & Barros, com. per.). INGETEC (1984) realizó un estudio limnológico de los 28 principales ríos del área, registrando las princi-

pales especies de peces en las regiones altas y más bajas del área de influencia del embalse.

La Empresa de Energía de Bogotá (1996) realizó un estudio para el repoblamiento piscícola del río Guavio.

El presente estudio tiene como objetivo, determinar las características fisicoquímicas del embalse de El Guavio a través de un perfil de 0 a 100m de profundidad (en tres puntos estratégicos), las comunidades de fito y zooplancton presentes en la zona eufótica, los valores de clorofila *a* y el problema de sedimentos que afronta el embalse.

Materiales y métodos

Descripción del Area de Estudio

El embalse de El Guavio se encuentra ubicado a 1.640 m.s.n.m en la zona central de la cordillera oriental colombiana, en el departamento de Cundinamarca (Fig. 1). Tiene un área de captación de 1.213 km², un volumen de 1.140 millones de m³, una profundidad máxima de 232 m y un potencial de energía de 1.000MW.

El embalse cubre un área aproximada de 11.62 Km², en forma irregular, limitado por laderas generalmente rocosas, empinadas, en las que ocasionalmente se aprecian fenómenos de caídas de rocas (INGETEC, 1983).

Por otro lado, la actividad minera (esmeraldífera), desarrollada en la cuenca del río Batatas, ha generado problemas de inestabilidad debido a la inadecuada disposición de materiales de corte, los cuales son arrojados ladera abajo con el uso de maquinaria pesada. Igualmente se efectúan prácticas obsoletas en la separación mineral y en la disposición final del material estéril. Es por ello que la actividad minera representa un importante papel en la inestabilidad de la cuenca mencionada y un permanente arrastre de sedimentos al embalse.

Los suelos presentan una estrecha relación con la fisiografía, dado que constituyen la parte superior de las geoformas (Pichot & Varela, 1966; Parra, 1985. En la zona de estudio se presentan las siguientes unidades de suelo: suelos de las laderas estructurales de clima muy frío húmedo, suelos de escarpes de clima muy frío y frío húmedo, suelos de crestas monoclinales de clima frío húmedo, suelos de cuevas y lomas de clima frío húmedo, suelos de coluvios de clima frío húmedo, suelos de colinas y crestas degradadas de clima medio húmedo, suelos de laderas coluviales de clima medio húmedo y suelos de valle estrecho de clima medio húmedo.

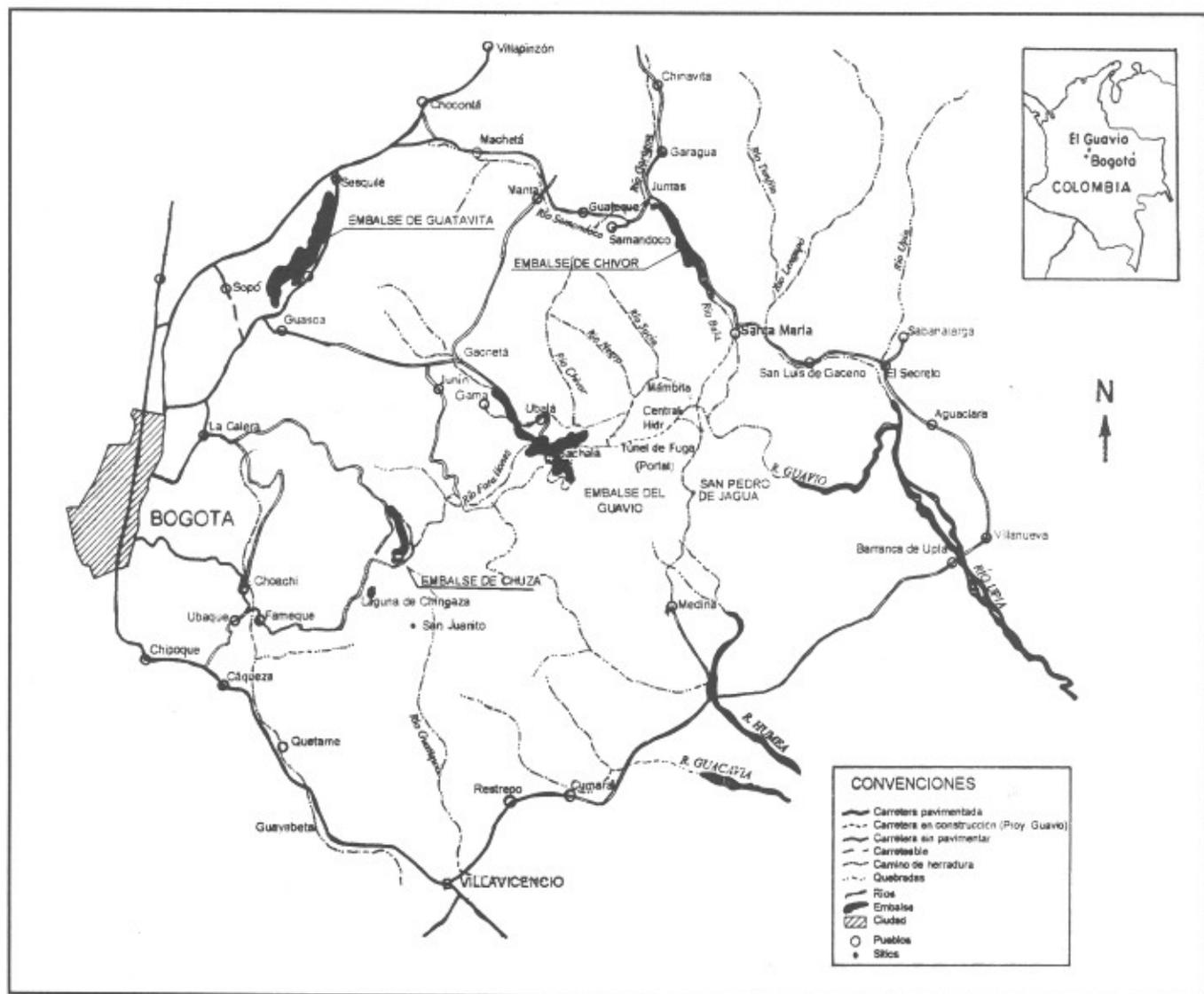


Figura 1. Localización del embalse en el área de estudio (Fuente: CORPOGUAVIO).

En el área de influencia del embalse se pueden distinguir los siguientes usos del suelo: parches pequeños de bosque, zonas construidas, cultivos, vegetación herbácea descubierta y tierras erosionadas. La falta de protección del suelo constituye la principal amenaza para la vida útil del embalse.

Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca que abastece el embalse del Guavio se subdivide en quince subcuencas (Empresa Energía de Bogotá, 1985) con un área aproximada de 1.200 km². Estas son: subcuenca del río Farallones, del río Negro, del río Santa Bárbara, del río Rucio, del Embalse, del río Batatas, del río Chivor, del río

Muchindote, del río Monquetiva, del río Chirivital, del río Amoladero, del río Sueva, del río La Chorrera, del río Gachetá y de la quebrada El Gusano.

En cuanto a las características climáticas en el área de influencia del embalse, estas presentan pocas variaciones a lo largo del año. La temperatura atmosférica en el área de influencia inmediata del embalse varía entre los 17.8 19.6 °C. La humedad relativa media mensual fluctúa entre los 70 y 80%. La evapotranspiración es un parámetro que se mantiene por debajo de la precipitación en los meses lluviosos y alto en los meses secos; por lo tanto, la oferta hídrica es variable y permite el almacenamiento

permanente de agua en los suelos. Los máximos promedios ocurren en enero y febrero y los mínimos en junio y julio. En cuanto a la precipitación, el período de lluvias se extiende desde abril hasta junio y julio y el período más seco comienza en agosto y va hasta marzo (datos tomados en la estación de Gachetá 1975 a 1992).

De acuerdo con lo anterior, existe un excedente de agua en la región, que desde el punto de vista del embalse es positivo, pues le garantiza niveles óptimos de operación. Pero en cuanto a calidad del agua se refiere, es negativo dadas las fuertes pendientes que rodean el embalse y lo susceptibles que son a la erosión.

Metodología

Se fijaron tres estaciones de registro denominadas: Estación 1 "Torre de captación", Estación 2 "Palmas" (frente al municipio de Gachalá) y Estación 3 "Q. San Pedro" (Fig. 2). Su selección obedeció a los siguientes criterios: a) "Torre de captación", por ser el sitio donde se toma el agua para ser turbinada, cuya calidad es fundamental para el mantenimiento de la casa de máquinas y protección de la fauna aguas abajo; b) "Palmas", frente a Gachalá, por ser un punto intermedio del embalse, el más profundo y donde se espera que los fenómenos de sedimentación sean muy bajos; y c) "San Pedro", por ser una bahía de aguas de poca

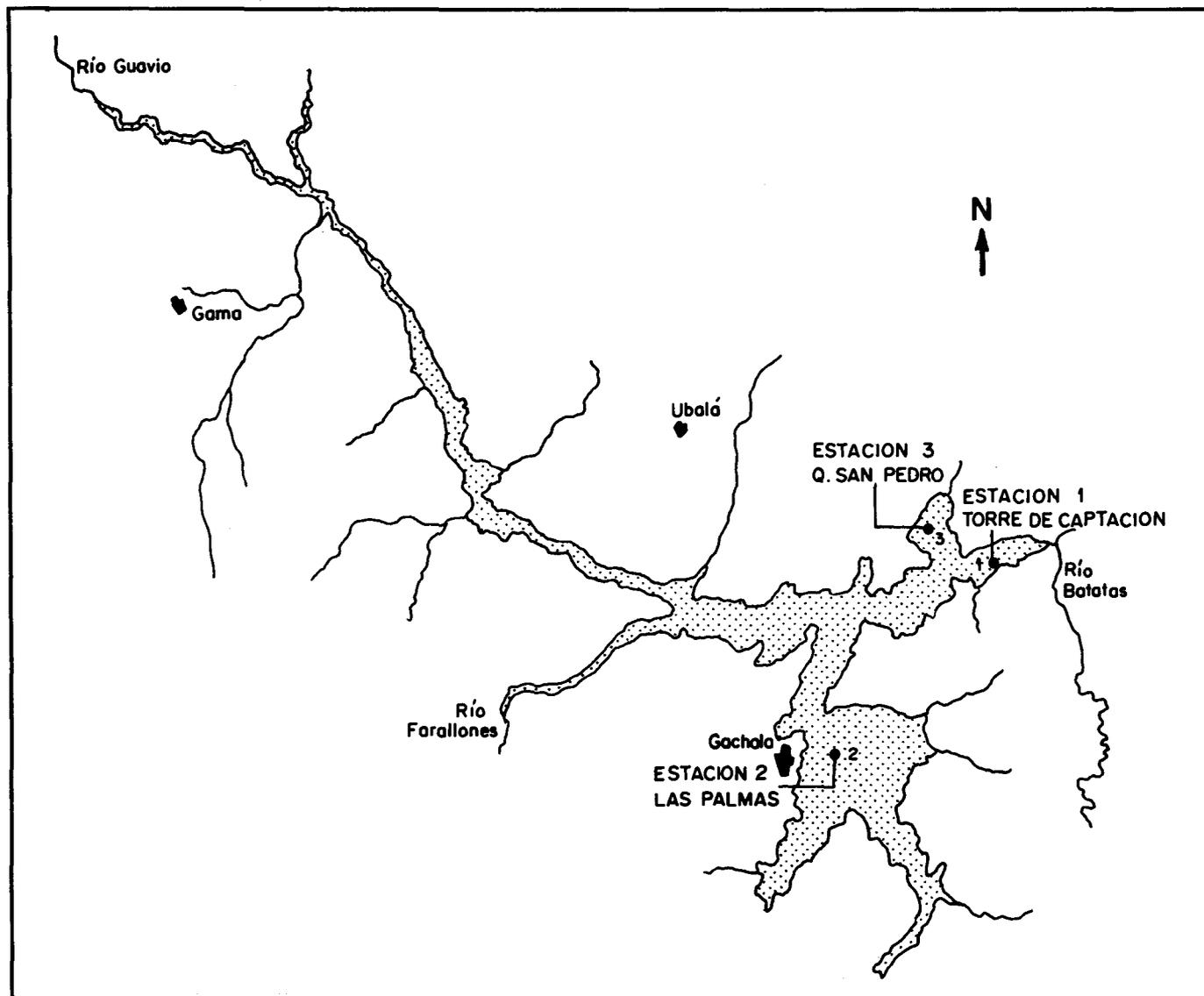


Figura 2. Embalse del Guavio. Ubicación de las estaciones de registro y toma de muestras (Fuente: CORPOGUAVIO).

circulación, profundidad baja y activa de depósito de sedimentos. Se pretendió de esta manera, obtener resultados de tres zonas representativas del embalse.

Análisis fisicoquímicos

En cada estación se realizaron registros y tomas de muestras mensuales de septiembre a diciembre de 1996. En el campo se hicieron perfiles cada 10m para: oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, temperatura, conductividad, pH, STD, y CaCO_3 . Las muestras de agua se tomaron con una botella Kemmerer. La temperatura, el oxígeno, el pH y la conductividad se determinaron con medidores electrónicos marca WTW y los STD con un conductímetro HACH.

En el laboratorio se analizaron muestras de agua tomadas de la superficie 0m, 50m y 100m de profundidad y se registraron los siguientes parámetros: turbiedad, alcalinidad total, dureza total, color (aparente y real), nitrógeno (amonio, nitritos y nitratos) y ortofosfatos (Apha-Awwa, Wpcf 1989),

Estudios biológicos

Las muestras de fitoplancton y zooplancton se tomaron con una red de 44 mm; en cada estación se realizó un arrastre vertical desde aproximadamente 12 m de profundidad, repitiendo este procedimiento diez veces en cada estación. También, se hizo un arrastre superficial durante tres minutos a la menor velocidad de la lancha. La información obtenida, es por lo tanto, cualitativa y se señalan los taxones de fitoplancton y zooplancton encontrados, indicando su abundancia relativa.

En cada estación, se midió igualmente clorofila *a*. Las muestras se tomaron al 50 % de penetración de la luz. Se utilizó el método de la extracción con acetona y alcohol y su estimación se hizo mediante la fórmula de **Strickland & Parsons** (1963).

Para el análisis de los sedimentos se utilizaron los datos tomados por **INGETEC** (1986) para los estudios batimétricos y sedimentológicos del embalse.

Resultados y discusión

Parámetros Fisicoquímicos

En general, los parámetros fisicoquímicos medidos no mostraron grandes diferencias entre la superficie y el fondo, lo que indica que se presenta mezcla a lo largo de la columna de agua en los tres sitios de registro debido principalmente a las fuertes corrientes provocadas por la entrada de los ríos más caudalosos como son el Guavio, el

Muchindote y el Farallones. Al comparar estos resultados con los obtenidos en otros embalses tropicales como los de **Uribe & Roldán** (1975) en el embalse de El Peñol (Antioquia, Colombia), (**Roldán et al.**, 1984) en el mismo embalse y en el Alto Anchicayá y Calima (Valle del Cauca, Colombia), Brokopondo (Surinam) y La Fé (Antioquia, Colombia) **Roldán** (1992), se observa que el embalse de El Guavio presenta condiciones de buena calidad de agua. Los embalses antes mencionados presentan curvas clinogradas con muestras de desoxigenación en la mitad o tercio superior de la columna de agua. Sólo otro embalse hasta ahora estudiado, el de San Lorenzo en el oriente antioqueño presenta condiciones similares al Guavio donde la columna de agua conserva valores de oxígeno hasta del 80% a 45m de profundidad (**Ramírez**, 1989). Allí el período de retención hidráulica el cual es sólo 5.8 días, juega un papel fundamental en la oxigenación de prácticamente toda la columna de agua.

La temperatura en la superficie fluctuó entre los 20.0 y 22.0 °C y sufrió un descenso progresivo de 3.0 o 4.0 °C de superficie a fondo (Fig. 3). Este patrón de comportamiento es típico de los trópicos, donde las temperaturas nunca sufren las fuertes variaciones como las que ocurren en las zonas templadas debido a los cambios estacionales.

El oxígeno es el mejor indicador de una buena calidad de agua, pues a lo largo de toda la columna aun conserva concentraciones del 60% (Fig. 4). Esto es un excelente resultado para la operación en casa de máquinas, pues ello indica que las aguas turbinadas están exentas de sustancias tóxicas tales como ácido sulfhídrico, metano y hierro ferroso, que causan graves daños en las turbinas y túneles de conducción. Además, desde el punto de vista ecológico es muy importante para la preservación de la fauna acuática aguas abajo de la presa.

El pH es un parámetro que se conserva ligeramente básico en la superficie; las variaciones de superficie a fondo van de 7.2 a 7.8. Sólo durante el mes de diciembre los valores se sitúan en el rango neutro (Fig. 5).

La turbiedad varía entre 1.0 y 20.0 FTU, lo cual se considera un poco más alta que lo normal (Fig. 6). Sólo en diciembre estos valores alcanzaron hasta 100 unidades en San Pedro, debido a que el arrastre de sedimentos en las colas de los embalses se acumulan más fácilmente por efectos de poca corriente y una más baja dilución. Lo anterior se correlaciona con una transparencia de disco Secchi de 6.75m en promedio, lo cual es un obstáculo para una mayor actividad fotosintética.

El color aparente y real está muy por encima de los valores normales, por lo menos 250 veces mayor, lo que es

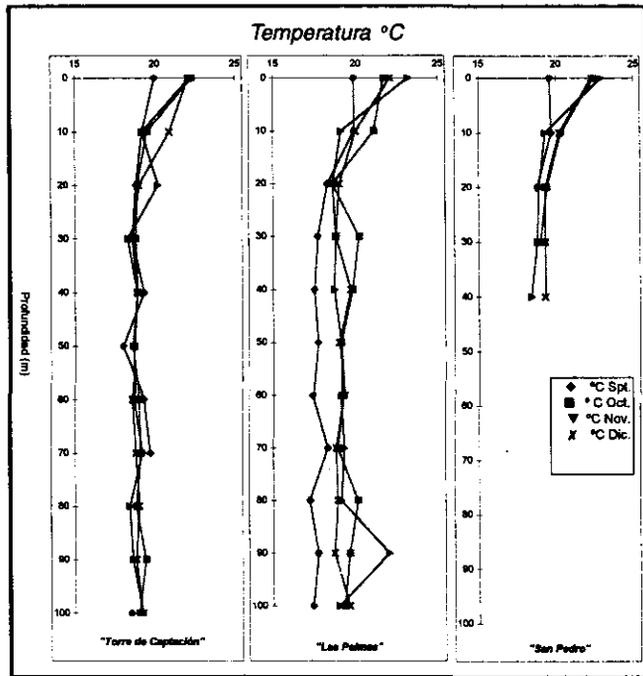


Figura 3. Perfil de temperatura en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

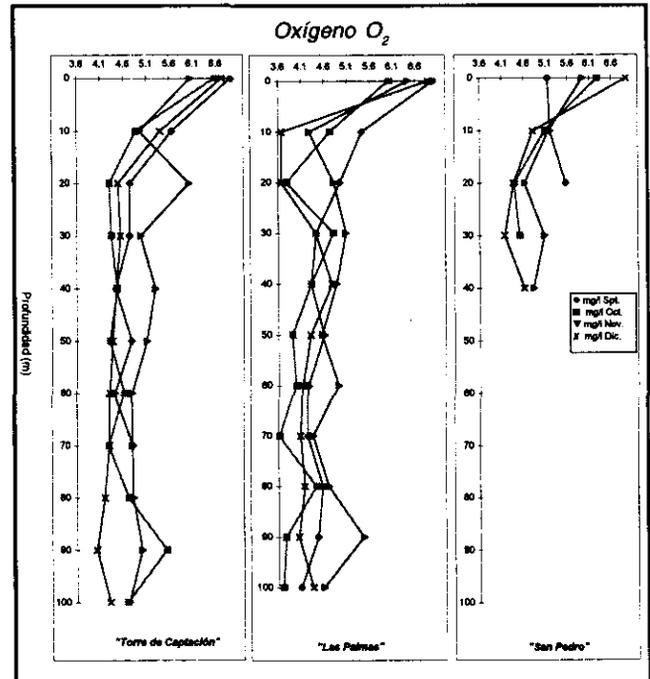


Figura 4. Perfil de % de concentración de oxígeno en las tres estaciones a lo largo del período de estudio

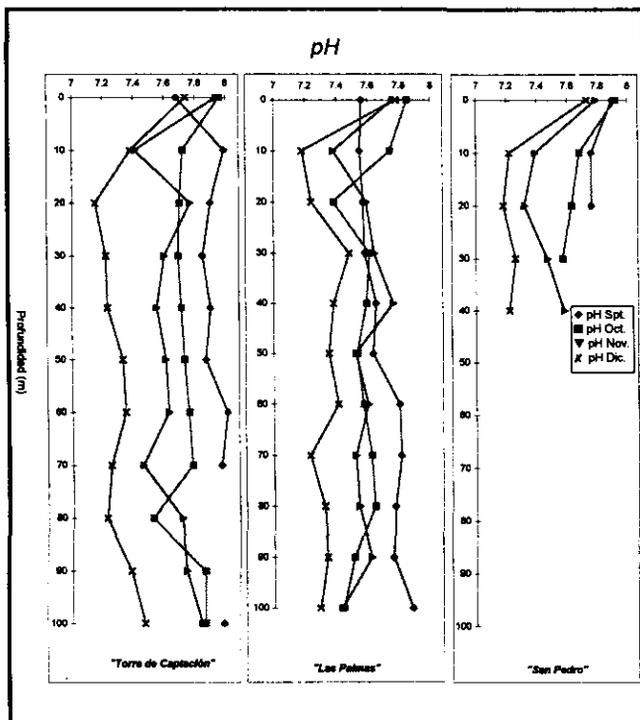


Figura 5. Perfil de pH en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

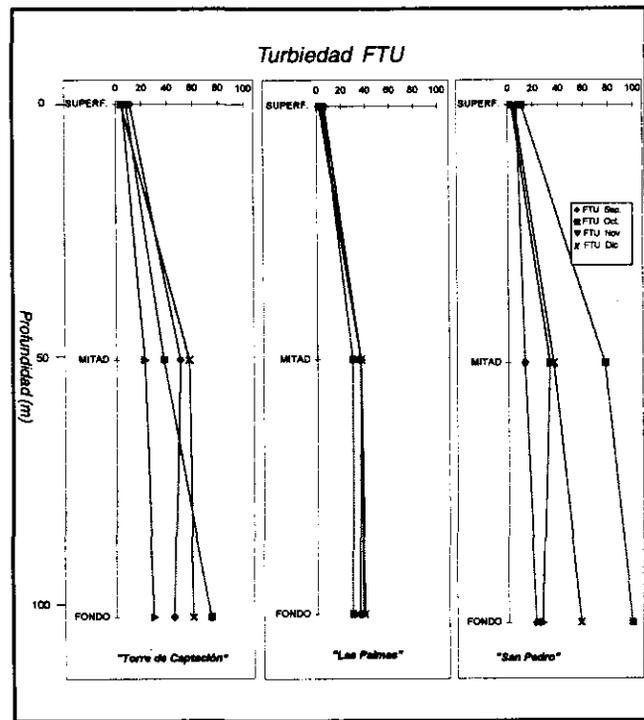


Figura 6. Perfil de turbiedad en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

también un reflejo de la gran cantidad de sedimentos en suspensión. Los altos valores de color que alcanzan en el fondo hasta 600 U-PtCo se debe fundamentalmente a las lutitas que aportan los sedimentos y cuya composición es fundamentalmente de aluminio, sílice, cuarzo, feldespato, cromo, hierro, azufre y yeso. Esta situación también limita la zona fótica y por lo tanto, la productividad primaria.

Los sólidos totales disueltos - STD varían entre los 55 y 100 mg/l, lo cual está dos o tres veces por encima de los valores promedios en otros embalses (Fig. 7). Esto está íntimamente relacionado con el alto aporte de sedimentos al embalse. Los STD, el color y la turbiedad están íntimamente relacionados y son los principales responsables de la baja productividad en el embalse.

La conductividad es otro factor que se encuentra entre tres o cuatro veces más alto de los valores promedio en otros embalses. Los valores fluctuaron entre 100 y 200 mS/cm. Este parámetro también está íntimamente relacionado en este caso con el aporte de sedimentos.

Los valores de alcalinidad que fluctúan entre 15 y 45 mg/l, se consideran normales para aguas superficiales tropicales. Sin embargo, se consideran bajos para estimular una mayor productividad. Estos valores se conservaron relativamente estables a lo largo de la columna de agua, lo que indica una buena correlación en el sistema dióxido de carbono - alcalinidad - pH.

Los valores de dureza total entre 50 y 80 mg/l se consideran de aguas medianamente duras, lo que sería positivo para la productividad primaria, pero ello es contrarrestado por la alta turbiedad y color.

Los nitratos cuyos valores variaron entre 0.1 y 1.6 mg/l se consideran dentro rangos normales para este tipo de aguas (Fig. 8). Por su parte los nitritos presentan valores más bajos de lo normal, lo que indica poca materia orgánica en descomposición (Fig. 9).

Los ortofosfatos presentaron valores que fluctuaron entre los 0.2 y 0.3 mg/l (Fig. 10). Estos valores se consideran 10 veces por encima de los normales para este tipo de agua; pero poco influyen en la productividad debido a la restricción impuesta por el color y la turbiedad en la zona fótica.

Parámetros biológicos

Fitoplancton

Se encontraron 34 especies diferentes; esto se considera una riqueza de especies relativamente alta. No se

encontraron especies abundantes que indiquen fenómenos de eutroficación. La tabla I muestra la composición de la comunidad a lo largo del tiempo en las tres estaciones de registro. Las especies más abundantes fueron *Chroococcus* sp1 y *Peridinium aciculiferum* en agosto, "Estación 1". En agosto "Estación 2", la especie más abundante fue *Peridinium* sp2. *Peridinium aciculiferum* y *Peridinium* sp2 fueron abundantes en agosto en la "Estación 3". *Sphaerocystis* sp también fue abundante en agosto, "Estación 2". Como especies frecuentes se registraron *Chroococcus* sp1 y una *Chroococcaceae* sin identificar en el mes de agosto "Estación 3". *Anabaena* sp se encontró como común en agosto "Estación 1". El resto de las especies aparecen como escasas y raras.

Zooplancton

La tabla II muestra la composición de la comunidad zooplanctónica. El rotífero *Polyarthra* sp se registró como muy abundante en agosto en las tres estaciones. *Daphnia* sp también muy abundante en septiembre en las "Estaciones 2 y 3". También fueron muy abundantes las "copepoditos" en la "Estación 1" en agosto y septiembre. Las larvas de "nauplius" se encontraron como abundantes en la "Estación 3" en agosto. Las demás especies aparecen como raras o escasas.

Clorofila a

La tabla III muestra los valores de clorofila *a*, los cuales se consideran bajos, propios de aguas muy oligotróficas. Dichos valores reflejan una vez más, la influencia negativa que tienen los sedimentos en suspensión en el embalse. Si bien es cierto, que estos resultados son negativos desde el punto de vista de la productividad biológica, se consideran positivos para la vida útil del embalse. Mientras sean pocas las posibilidades de eutroficación, mejor será la calidad del agua turbinada.

Problemas de sedimentación en el embalse

La tabla IV muestra el aporte de sedimentos al embalse por los diferentes ríos o corrientes.

En cuanto al patrón de sedimentación, se puede suponer que el sedimento se depositará alrededor del nivel mínimo de operación y que las pendientes serían del 0.5% por encima de este nivel y del 2% por debajo del mismo. Esto quiere decir, que en este punto el embalse muerto se colmataría y empezarían a ingresar a la conducción importantes volúmenes de sedimentos, en perjuicio de la operación en casa de máquinas. Estudios batimétricos hechos por la **Empresa de Energía de Bogotá** (1994, com. pers.) revelan un ingreso real de sedimentos al embalse de 11'573.672 toneladas.

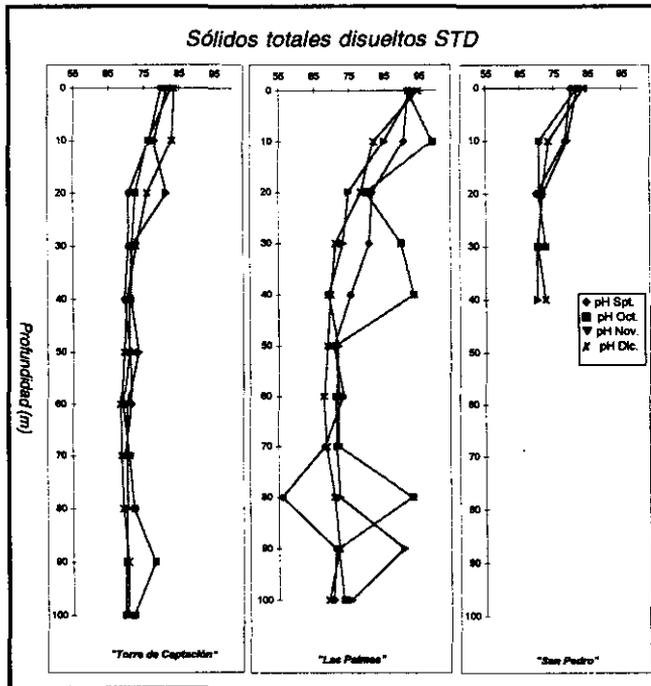


Figura 7. Perfil de los sólidos totales disueltos - STD - en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

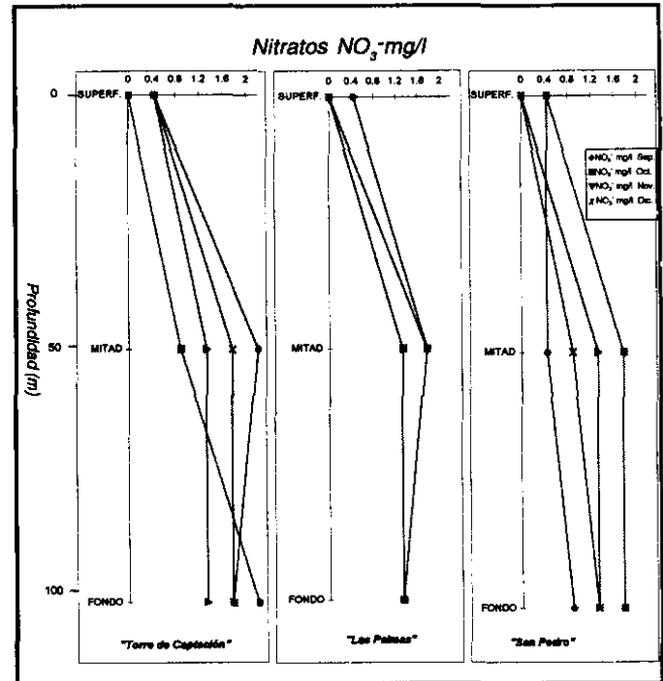


Figura 8. Perfil de nitratos en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

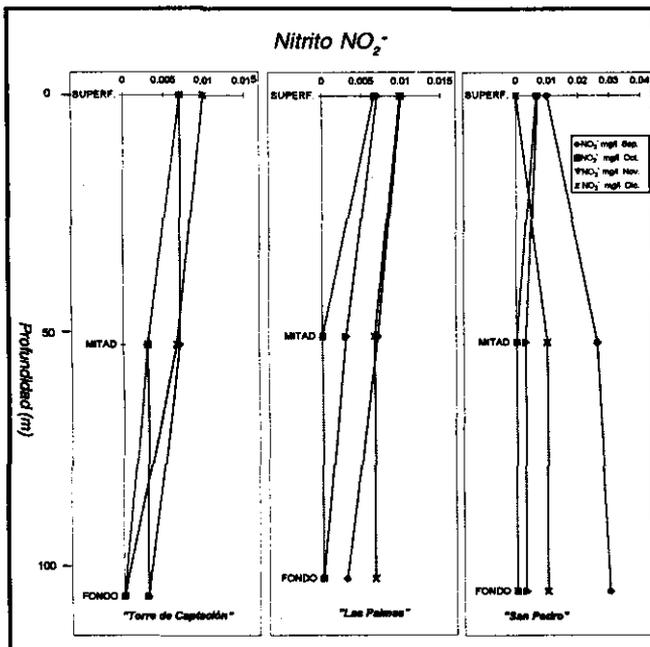


Figura 9. Perfil de nitritos en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

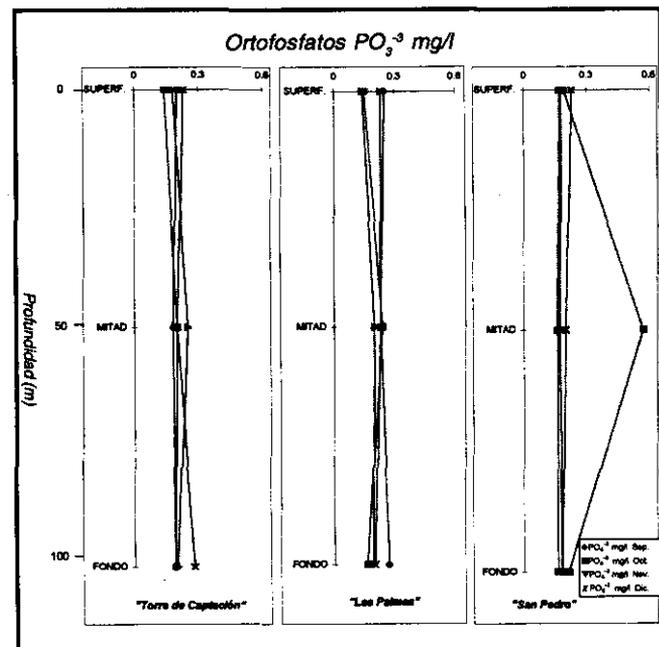


Figura 10. Perfil de ortofosfatos en las tres estaciones a lo largo del período de estudio.

Tabla I. Composición de la comunidad fitoplanctónica en el embalse El Guavio durante el tiempo de muestreo

	Estación 1				Estación 2				Estación 3				
<i>Chroococcus refractus</i>													1.5
<i>Chroococcus sp1</i>	52				4				25				
<i>Chroococcus sp2</i>	4												
<i>Chroococcaceae</i>									25				
<i>Microcystis sp</i>													4
<i>Anabaena sp</i>	15				1.5				1.5				
<i>Lyngbya sp</i>			1.5										1.5
<i>Myxosarcina sp</i>									1.5				
<i>Peridinium aciculiferum</i>	52		4		4			4	35				15
<i>Peridinium sp2</i>			1.5		52	1.5			35				4
<i>Ceratium sp</i>						1.5							
<i>Asterionella sp</i>						1.5							
<i>Fragilaria sp</i>	1.5		1.5		1.5	1.5							1.5
<i>Melosira sp</i>	1.5		1.5										
<i>Gomphonema sp</i>		1.5				1.5							1.5
<i>Synedra nana</i>		4							25	4			1.5
<i>Eunotia sp</i>			1.5										
<i>Synedra sp2</i>			1.5										
<i>Naviculaceae</i>						1.5							
<i>Dinobryon sp</i>	4	25	1.5			25			1.5	1.5			1.5
<i>Trachelomonas sp</i>						1.5							4
<i>Actinastrum sp</i>													1.5
<i>Actinosphaerium sp</i>			1.5						25				
<i>Oocystis sp</i>	4				4	4							
<i>Oedogonium sp</i>	1.5	4	4			4	1.5			1.5			1.5
<i>Scenedesmus sp</i>	1.5												
<i>Sphaerocystis sp</i>					35								
<i>Staurastrum sp</i>					1.5				1.5				1.5
<i>Chlorococcaceae</i>									4				
<i>Gonatozygon sp</i>		4							1.5				
<i>Mougeotia sp</i>		1.5				1.5				1.5			
<i>Stigeoclonium flagelliferum</i>			1.5										
<i>Stigeoclonium sp2</i>						1.5	1.5						
<i>Closterium abruptum</i>			1.5										

Valores cualitativos

ma = 45 - 60 individuos / ml.

a = 30 - 40 individuos / ml.

f = 20 - 30 individuos / ml.

c = 10 - 20 individuos / ml.

e = 3 - 5 individuos / ml.

r = 1 - 2 individuos / ml.

Tabla II. Composición de la comunidad zooplanctónica en el embalse El Guavio durante el tiempo de muestreo

Taxon	Estación 1					Estación 2					Estación 3				
	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
<i>Ciliophora</i>	4		1.5	1.5			1.5								
<i>Vorticella sp</i>				4			1.5								
<i>Filinia sp</i>							1.5								
<i>Hexarthra sp</i>											1.5				
<i>Polyarthra sp</i>	52		4	15		52	1.5	4	15		52	1.5	1.5	15	4
<i>Epiphanes sp</i>														1.5	
<i>Cephalodella sp</i>															
<i>Asplanchna sp</i>				1.5											
<i>Brachionus sp</i>		1.5						1.5							
<i>Monostyla sp</i>	4	1.5													
<i>Platylas quadricornis</i>								1.5							
<i>Lecane sp</i>	4														
<i>Trichocerca sp</i>	4	1.5											1.5		
<i>Keratella sp1</i>									1.5						
<i>Keratella sp2</i>	4	4				35	4				4	1.5			
						1.5									
<i>Daphnia magna</i>															4
		15	35				52	35	15		15	52	35	15	
<i>Metacyclops mendocinus</i>															
<i>nauplios</i>	4	4				4			15		35				
<i>copepoditos</i>	52	52	4	1.5		4	15	4	4		4	25		1.5	
	4	15		1.5		4	25				25	1.5	1.5	1.5	
<i>Ostracoda</i>							1.5								

Valores cualitativos

- ma = 45 - 60 individuos / ml.
- a = 30 - 40 individuos / ml.
- f = 20 - 30 individuos / ml.
- c = 10 - 20 individuos / ml.
- e = 3 - 5 individuos / ml.
- r = 1 - 2 individuos / ml.

Tabla III. Valores de clorofila en las tres estaciones de muestreo

Estaciones	Septiembre Valores μ/l	Octubre	Noviembre	Diciembre
Torre captación	1.79	0.24	0.86	0.92
Palmas	0.85	0.30	0.27	0.85
San Pedro	2.73	0.72	0.80	0.98

Tabla IV. Aporte de sedimentos al embalse en millones de t / año (INGETEC, 1983)

Río o corriente	Suspensión	Fondo	Total
• Guavio – Cola embalse	1.03	0.18	1.21
• Muchindote – Cola embalse	0.80	0.12	0.92
• Farallones – Cola embalse	1.00	0.30	1.30
• Murca	0.75	0.23	0.98
• Batatas – Captación	0.32	0.03	0.35
• Chivor – Captación	0.56	0.09	0.65
• Otras fuentes	0.41	0.08	0.49
Total	4.87	1.03	5.90

Para reducir el problema de los sedimentos en la casa de máquinas y en los túneles de conducción, se podría optar por subir la bocatoma. Pero realizar esta operación, por ejemplo, de la cota 1490 a la 1520 msnm, significaría una reducción de cerca de 1.0% en beneficio del proyecto; y si se subiera hasta la cota 1540 msnm, la pérdida sería del cerca al 4.0%.

Desde el punto de vista técnico, los estudios antes citados analizan la posibilidad de operación del embalse en un nivel mínimo, lo cual sería por un lado ventajoso, pues se aumentaría la energía firme del proyecto. Pero por el otro, habría que considerar los perjuicios que estarían representados por reducción de potencia firme por disminución del salto mínimo, reducción de energía media por los mismos motivos y entrada prematura de sedimentos por la bocatoma. También, la sedimentación del embalse muerto aumenta costos y reduce la disponibilidad de las unidades de generación.

Desde el punto de vista de los efectos sobre la vida en el embalse, el hecho de que la mayoría de los sedimentos estén en suspensión, trae como consecuencia una reducción de la transparencia. Valores encontrados de disco Secchi de alrededor de 6.75, indican la presencia de una

zona fótica muy reducida lo que es, por lo tanto, un limitante para la productividad primaria.

Es por lo tanto, urgente un programa de ingreso de sedimentos al embalse, pues de lo contrario, serán más graves y de difícil solución los problemas tanto en la operación del proyecto como en los programas piscícolas.

En resumen, el embalse posee valores altos de oxígeno, los cuales llegan hasta un 60% a 100m de profundidad; esto quiere decir que la columna de agua es bastante homogénea debido a una amplia circulación del agua. Por lo tanto, el embalse no presenta problemas de desoxigenación que puedan ser limitantes para la vida en el agua. Debe destacarse igualmente, que las muestras tomadas a los 100m de profundidad no presentaron olores a ácido sulfídrico, lo que indica también una buena aireación en el fondo. Lo anterior, significa una más larga durabilidad del proyecto tanto en la casa de máquinas como una mayor protección de la flora y fauna aguas abajo del embalse.

En cuanto a los nutrientes, el nitrógeno mostró valores dentro de rangos normales; el fósforo mostró valores por encima de lo normal, pero quizás debido a la alta turbiedad y color, no alcanzó a incrementar la actividad fotosintética. Los demás valores fisicoquímicos estuvieron dentro de los rangos normales y no se consideran limitantes para la vida útil del proyecto ni para la vida en el agua.

El factor limitante más grave corresponde a los sedimentos. Los valores calculados por INGETEC (1986) indican que éstos pueden disminuir de manera considerable la vida útil del embalse y restar las posibilidades para los proyectos piscícolas.

Agradecimientos

El presente estudio se realizó dentro del Convenio de Cooperación No. 00093 de Febrero 28 de 1996, firmado

entre Corpoguavio y la Universidad de Antioquia. Expresamos nuestro agradecimiento a Gerardo Yepes por su ayuda en los trabajos de campo.

Literatura citada

- Apha-Awwa, Wpcf** 1989. Standard methods for examination of water and wastewater. 15th Wpcf Francson M. Editor. Washington, USA.
- Beltrán, I.** 1978. Aporte al estudio biológico pesquero del embalse Troneras (Ant.) y alternativas para su manejo. Inderena, Regional, Antioquia, Medellín.
- Bernier, I.** 1981. Contaminación en el embalse del Muña. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Revista La Tadeo (2): 23- 25.
- Empresa de Energía de Bogotá.** 1985. Informe hidrogeológico, Santafé de Bogotá.
- _____, 1996. Plan de repoblamiento piscícola de la cuenca del Río Guavio. Santafé de Bogotá.
- Flórez, P. & E. Vargas.** 1988. Notas limnológicas preliminares sobre el embalse de Salvagina (Informe Técnico CVC), Cali.
- Flórez, P.** 1989. Informe de piscicultura del embalse de Salvagina. (Informe Técnico, CVC), Cali.
- Gaviria, S.** 1983. Evaluación limnológica inicial del embalse de Chuza en el Páramo de Chingaza. EAAB, Santafé de Bogotá.
- _____, & **G. Rodríguez.** 1983. Embalses y lagunas estudiados por el laboratorio central de la EAAB, Santafé de Bogotá.
- Horta, G.** 1985. Evolución temprana de las comunidades fitoplanctónicas en el embalse de Punchiná, Central Hidroeléctrica de San Carlos (Ant.). Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- INGETEC,** 1983. Proyecto Guavio, Plan de Manejo. Estado geomorfológico para la cuenca del río Guavio, Santafé de Bogotá.
- _____, 1984. Proyecto hidroeléctrico del Guavio: Estudio limnológico y pesquero del río Guavio y sus afluentes. Vols. 1, 2 y 3. Santafé de Bogotá.
- _____, 1986. Proyecto hidroeléctrico del Guavio-Sedimentación del Embalse. Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. Santafé de Bogotá.
- ISA,** 1985. Calidad de Aguas en el sistema Chivor. Informe resumen de los muestreos 1983 a 1985. Documento No. ABRNMA-094, Sección Medio Ambiente, Medellín.
- Márquez, G.** 1984. Ecología de embalses tropicales con referencia a dos casos colombianos: Chivor y Prado, AGID. Primer Simposio Latinoamericano de Presas y Embalses, Tomo II, Santafé de Bogotá.
- Medina, H.** 1983. Problemas de operación de origen ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé. Rev EE.PP.MM., 5(1): 53-77. Medellín.
- Parra, A.** 1985. Estudio general de los suelos del oriente de Cundinamarca y Municipio de Umbita (Boyacá). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé de Bogotá.
- Strikland, J.D.H. & T. R. Parsons,** 1963. Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. J. Mar. Res. 21: 155-163.
- Pichot, J. & J. Varela,** 1966. Reconocimiento de los suelos al suroriente del Departamento de Cundinamarca, municipios de Gama, Gachetá, Gachalá, Junín, Machetá, Manta, Medina, Tiribitá y Ubalá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé de Bogotá.
- Ramírez, J. J.** 1989. Variación vertical del fitoplancton y parámetros fisicoquímicos en cuatro embalses del oriente antioqueño y su relación con el área, edad, altitud, y tiempo de residencia media del agua. Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Roldán, G.** 1978. Problemas de eutroficación en lagos y embalses colombianos. Rev. Contam. Amb. 2(3): 51- 56.
- _____, 1982. Algunas consideraciones ecológicas acerca de los embalses. Rev. Contam. Amb. 6(10): 13- 20.
- _____, 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- _____, **M. Correa., T. Machado., J.J. Ramírez., L.F. Velásquez & F. Zuluaga,** 1984. Estudio limnológico de la represa de El Peñol. Actual. Biol. 13(50): 95-105.
- Sánchez, G.,** 1976. Estudio limnológico de los embalses de Muña, Neusa, Sisca y Tominé. Universidad de los Andes. Tesis de Maestría. Santafé de Bogotá.
- Torres, C.H.** 1979. Influencia de la precipitación y algunos iones en la sucesión ecológica del fitoplancton en el embalse de la Fé (Ant.). Tesis de grado, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Uribe, A. & G. Roldán,** 1975. Estudio comparativo de algunas características fisicoquímicas y biológicas de el embalse de El Peñol. Actual. Biol. 4(11): 2-12.