

## CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE GUANAPITO, VENEZUELA

### PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATER OF THE GUANAPITO RESERVOIR, VENEZUELA

Claudia Cressa y Carmen Teresa Senior

*Universidad Central de Venezuela, Instituto de Zoología Tropical  
Apartado Postal 47058, Caracas 1041-A, Venezuela*

#### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar físico-químicamente, temporal y espacialmente, el agua del embalse de Guanapito. El embalse permanece estratificado la mayor parte del año con excepción de un breve período durante el mes de Diciembre. En general, se observa que los valores máximos, de las diferentes variables determinadas, se presentaron durante la época de lluvias. El promedio anual de pH fue de 8,17. Los valores obtenidos para alcalinidad total,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  (100,87 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , 30,79 y 8,44 mg/L) son superiores a los reportados como característicos de aguas dulces de Sur América. El amonio (61,44  $\mu\text{g/L}$ ) y el fósforo reactivo soluble (7,6  $\mu\text{g/L}$ ) constituyen las principales fracciones de nutrientes disponibles para la biota. El análisis de las concentraciones de nitrógeno total y fósforo total presentes durante los períodos de máxima actividad biológica, indican que el embalse de Guanapito puede ser clasificado como oligotrófico con tendencia hacia la mesotrofia. El río Orituco no establece un gradiente lo suficientemente definido como para diferenciar zonas dentro del embalse. No obstante, algunos parámetros presentaron una diferencia espacial estadísticamente significativa.

**PALABRAS CLAVES:** Nutrientes, estado trófico, variación estacional, variación espacial, variables físico-químicas

#### ABSTRACT

Chemical water analyses were made at different sites on the Guanapito reservoir. The dam is stratified during most of the year except for a brief period in December. In general, the maximum concentration of the variables measured was obtained during the rainy season. The annual mean of pH was 8.17. The values obtained for total alkalinity,  $\text{Ca}^{++}$  and  $\text{Mg}^{++}$  (100.87 mg/L  $\text{CaCO}_3$ , 30.79 and 8.44 mg/L) are higher than those reported for inland waters of South America. The ammonium (61.44  $\mu\text{g/L}$ ) and soluble reactive phosphorus (7.6  $\mu\text{g/L}$ ) are the main sources of nutrients available to the biota. The analysis of total nitrogen and phosphorus during the periods of maximum biological activity indicate that the reservoir is oligotrophic tending to mesotrophic. The Orituco river does not create a well defined longitudinal gradient in order to differentiate subsystems into the reservoir. However, it was possible to determine a significant difference among stations for some variables.

**KEY WORDS:** Nutrients, trophic state, seasonal variation, spatial variation, physico-chemical variables

## INTRODUCCION

En los últimos años se ha notado un incremento en el número de investigaciones realizadas en ecosistemas acuáticos tropicales con el fin de obtener información básica que permita su caracterización físico-química y biológica. No obstante, la información existente es todavía muy limitada lo que dificulta entender la estructura y funcionamiento de estos cuerpos de agua.

Los lagos y embalses de Venezuela no escapan a esta generalización aún cuando la mayoría han sido muestreados por lo menos una vez. Consecuentemente, son muy pocos los cuerpos de agua de los cuales existe información producto de investigaciones sistemáticas que abarquen los dos períodos climáticos (lluvia y sequía). Entre estos estudios pueden mencionarse los del embalse de Lagartijo (Martínez 1970, Ferraz 1971, Segnini 1975, Infante 1976), embalse de Agua Fría (Calvo 1984, Maroto 1984), embalse de Cumaripa (Alvarez 1986), embalse del Socuy (Prieto 1984). Una excepción a esta generalización son los estudios realizados en el Lago de Valencia, siendo una muestra de la diversidad e intensidad de las investigaciones realizadas las presentemente citadas (Infante 1978, Lewis 1981, 1983a, 1984, Lewis y Weibezahn 1976, 1982, 1983).

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a ampliar el conocimiento existente sobre embalses tropicales, mediante la presentación de información sobre las variaciones estacionales de las características físico-químicas del agua del embalse de Guanapito.

## AREA DE ESTUDIO

El embalse de Guanapito está situado al Noroeste del estado Guárico entre las coordenadas  $66^{\circ}23'$  -  $66^{\circ}25'$  O y  $9^{\circ}53'$  -  $9^{\circ}55'$  N (Fig. 1). Su cuenca de captación drena elevaciones que van desde la superficie del embalse a 420 m hasta las cabeceras de su afluente principal, río Orituco, a 1200 m. El embalse se asienta sobre arcilla y calizas asociadas con areniscas y conglomerados asociados con lutitas, pizarras o filitas (Colmenares 1973).

Los parámetros morfométricos más relevantes se presentan en la Tabla 1. Debido a que el almacenamiento de agua se encuentra en una garganta montañosa, el embalse tiene forma dendrítica distinguiéndose 3 brazos principales (Fig. 1). El río Orituco es el afluente principal desembocando en el cuerpo principal del embalse y, las quebradas El Banco y La Culebra (Fig. 1) constituyen los aportes secundarios, que se hacen presentes solo durante la época de lluvia.

Las cabeceras del río Orituco, se encuentran situadas en el Parque Nacional Guatopo, lo cual le imprime cierta protección a la cuenca de drenaje. El área por debajo del Parque está intensamente cultivada tanto en zonas de gran pendiente como en las zonas planas adyacentes a las márgenes del río. Estas prácticas de cultivo han dado como resultado que el río transporte una alta carga de sedimentos con la consecuente formación de islas en el sitio de entrada al embalse. Una descripción de la cuenca de drenaje del río Orituco así como de la composición química de sus aguas es presentada por Cressa y Senior (1987).

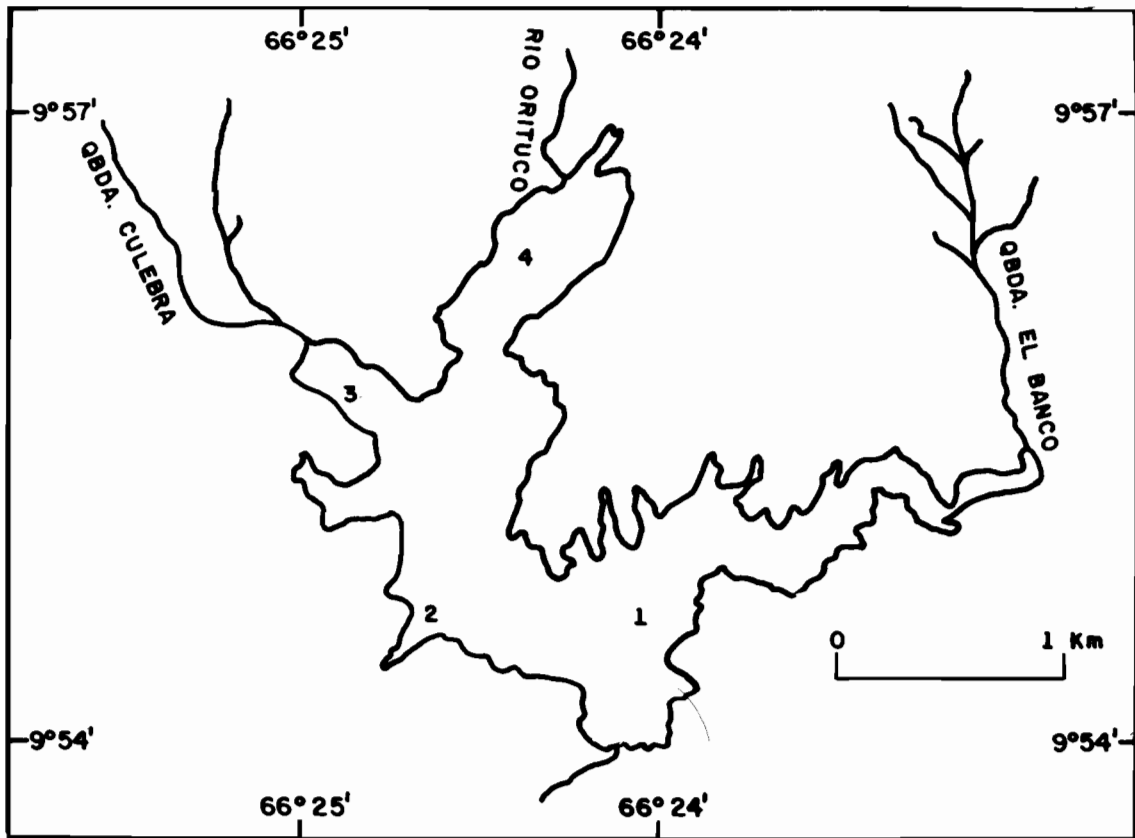


FIGURA 1. Mapa del embalse de Guanapito indicandose las diferentes estaciones de muestreo.

Tabla 1. Morfometría del Embalse de Guanapito

|                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Altitud                        | 420 m                             |
| Area superficial (A)           | 330 ha                            |
| Longitud máxima (l)            | 2,25 km                           |
| Ancho máximo (b)               | 1,95 km                           |
| Profundidad máxima ( $Z_m$ )   | 41 m                              |
| Profundidad media ( $Z$ )      | 17 m                              |
| Profundidad relativa ( $Z_r$ ) | 2 %                               |
| Longitud de línea de costa (L) | 18 Km                             |
| Desarrollo de Costa ( $D_l$ )  | 2,28                              |
| Volumen a nivel máximo (V)     | $56 \times 10^3 \text{ m}^3$      |
| Volumen a nivel normal         | $46 \times 10^3 \text{ m}^3$      |
| Gasto regulado por la toma     | $12 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ |

Rangel (1973) describe el régimen climático de la zona, reportando una temperatura anual promedio de  $26,7^\circ \text{C}$  y una precipitación anual de 1900 mm. Sin embargo, la precipitación registrada, a orillas del embalse, desde enero 1983 hasta enero 1984 fue de 805,70 mm repartidos en dos períodos estacionales claramente delimitados: (a) una época seca que va desde enero hasta mediados de mayo con una precipitación total de 162,1 mm y una temperatura media mensual de  $27,2^\circ \text{C}$  y, (b) una época de lluvia comprendida entre junio y mediados de diciembre en donde se registró una precipitación total de 627,3 mm y una temperatura media mensual de  $26,4^\circ \text{C}$  (Fig. 2).

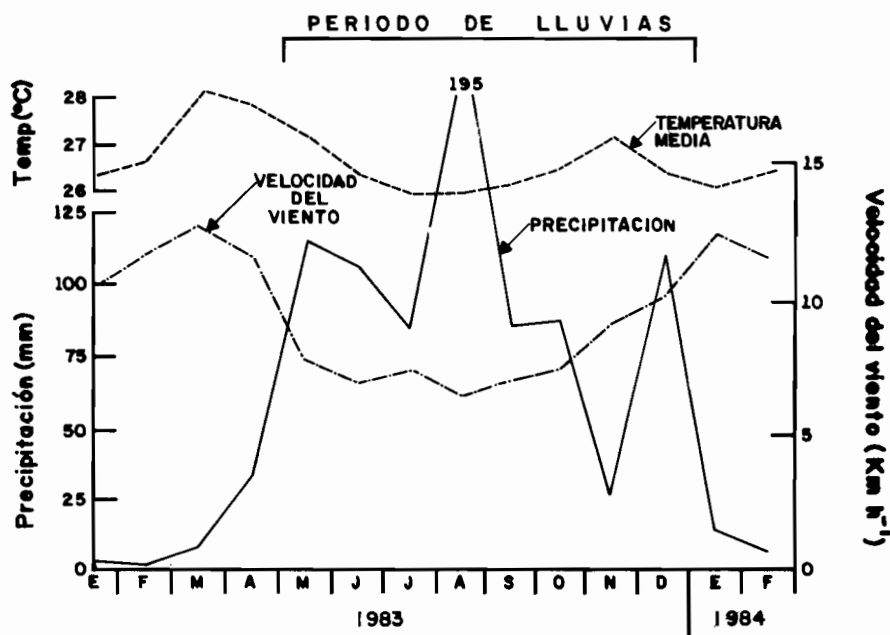


FIGURA 2. Variación estacional de la precipitación en el embalse de Guanapito.

## METODOS

A fin de caracterizar la composición química de las aguas de este embalse se realizó un programa de muestreo quincenal entre Junio 1983 y Febrero 1984. Se establecieron 4 estaciones cuyas ubicaciones respectivas pueden observarse en la Figura 1. La estación 1, por estar ubicada en la parte más profunda del embalse, cercana al aliviadero, fue objeto de un estudio más detallado.

En cada estación de muestreo se determinó la temperatura metro a metro con un teletermómetro (Yellow-Spring, Mod. 46 TUC). La recolección de las muestras de agua se efectuó con un captador integrador de una columna de 5 m descrito por Lewis y Saunders (1979). En el caso de la estación 1 toda la columna de agua fue muestreada, mientras que en

las restantes estaciones se recolectaba una sola muestra en el punto donde la columna de agua no sobrepasara los 7 m de altura. Las muestras fueron refrigeradas en botellas de polietileno y, trasladadas inmediatamente al laboratorio en donde se procedió a la separación de las fracciones particuladas y disueltas mediante filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/C, tamaño de poro 1,2  $\mu$ m).

El nitrógeno orgánico disuelto y particulado se determinó por digestión de la materia orgánica utilizando el método de Kjeldahl (Strickland y Parsons 1972) y posterior nesslerización. Los nitritos se determinaron por el método de diazotización (Bendschneider y Robinson 1952). Los nitratos fueron determinados utilizando el mismo procedimiento, previa reducción de los nitratos a nitritos mediante el uso de columnas reductoras de

cobre - cadmio (Wood et al. 1967). Para la determinación del amonio se utilizó el método del fenol-hipoclorito (Solórzano 1969). Los ortofosfatos libres se determinaron por el método del ácido ascórbico (Murphy y Riley 1962) previa extracción con butil acetato (Wetzel y Likens 1979). Tanto el fósforo particulado como el disuelto fueron determinados por el método de Solorzano y Sharp (1980). La alcalinidad total fue determinada mediante titulación con HCl (0.01 N) utilizando indicador mixto (verde de bromocresol-rojo de metilo). La dureza total y el Calcio fueron determinados volumétricamente con EDTA (APHA 1976).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Estación Principal

En la Fig. 3 se presentan los perfiles de temperatura obtenidos durante el período de estudio. Se observa que el embalse permanece estratificado durante la mayor parte de éste, habiéndose registrado la mayor diferencia de temperatura (2,6 °C) entre la superficie y el fondo durante Septiembre.

En Diciembre, la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo es significativamente menor (0,33 °C), lo que hace presumir que se produce una mezcla total de la masa de agua durante un período muy corto. Esta mezcla es el

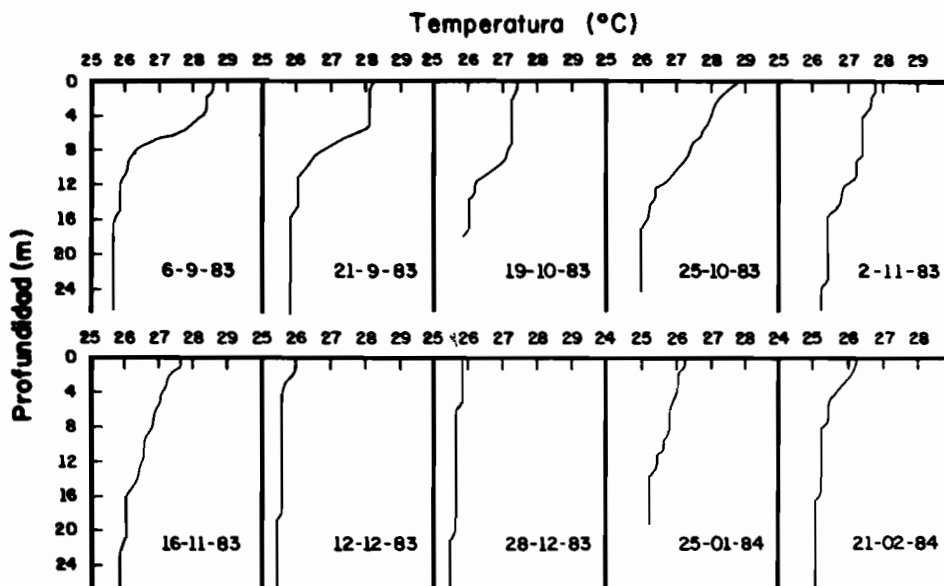


FIGURA 3. Perfiles de Temperatura (°C) determinados en el embalse de Guanapito durante el período 1983-1984.

resultado de un descenso pronunciado en la temperatura del aire (Fig. 2) que se traduce en una disminución de la temperatura en las capas superficiales. De esta manera se reducen las diferencias de densidad entre los estratos de agua y puede

lograrse una homogeneización térmica con la ayuda del viento, cuya intensidad coincidentemente aumenta durante este período. El embalse por lo tanto, podría clasificarse como caliente monomítico (Hutchinson y Löffler 1956). Por otra

parte, los valores de concentración de oxígeno disuelto en el agua corroboran esta aseveración ya que la diferencia de concentración de oxígeno disuelto entre las capas superiores e inferiores es de 1,2 mg/L mientras que cuando el cuerpo de agua está estratificado la diferencia es mayor de 6,0 mg/L (Soriano y Cressa 1990).

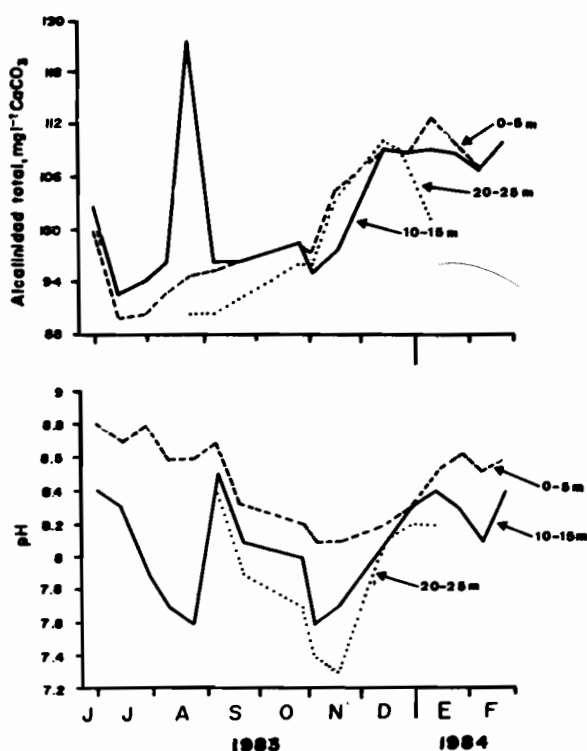
En la Fig. 3 también se observa la presencia de dos o más termoclinas producto de eventos climatológicos no periódicos que producen mezclas superficiales de la masa de agua y, los cuales son considerados como característicos de lagos tropicales (Lewis 1983a, 1983b).

El valor promedio de pH fue de 8,17 (Tabla 2) indicando que las aguas del embalse son alcalinas. En general, el estrato superficial, como era de esperarse, es más alcalino que el estrato profundo con una diferencia promedio anual de 0,61 unidades. La Fig. 4 presenta la variación estacional de pH para el estrato superficial (0-5 m), intermedio (10-15 m) y profundo (20-25 m).

**Tabla 2.** Valores de pH, magnesio (mg/L), calcio (mg/L) y alcalinidad total (mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) para diferentes profundidades en la estación principal.

| Profundidad del estrato (m) | pH   | Alcalinidad Total | Ca    | Mg   |
|-----------------------------|------|-------------------|-------|------|
| 0-5                         | 8,47 | 100,53            | 30,01 | 9,06 |
| 5-10                        | 8,33 | 101,0             | 30,76 | 8,57 |
| 10-15                       | 8,09 | 102,28            | 31,72 | 8,16 |
| 15-20                       | 7,98 | 101,22            | 30,69 | 8,27 |
| 20-25                       | 7,87 | 98,11             | 30,82 | 7,94 |
| Media                       | 8,17 | 100,87            | 30,79 | 8,44 |

La variación estacional en los valores de pH en el estrato superficial fue menor que en el estrato profundo como lo indican los coeficientes de variación (2,8 % y 4,9 %, respectivamente). La mayor divergencia en los valores de pH entre los diferentes estratos se obtuvo en Agosto y Noviembre mientras que los menores se observaron durante los meses de Septiembre y Diciembre (Fig. 4). Finalmente, los valores más elevados de pH fueron determinados al final del período de muestreo (Diciembre hasta Febrero). Es posible suponer que este aumento sea producto de la mayor actividad fotosintética



**FIGURA 4.** Variaciones estacionales en pH y alcalinidad total en el embalse de Guanapito.

del fitoplancton porque Soriano y Cressa (1990) reportan los valores máximos de producción bruta para los meses de Septiembre y Febrero (347 y 480 mgC m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup>).

El valor de alcalinidad total promedio fue 100,87 mg/L CaCO<sub>3</sub>, valor muy superior al reportado como promedio para lagos de Suramérica (30,49 mg/L CaCO<sub>3</sub>, Livingstone 1963). La variación estacional en la alcalinidad total de las aguas del embalse de Guanapito es muy marcada (Fig. 4), observándose una relación evidente con el patrón de precipitación (Fig. 2). La alcalinidad aumentó en forma progresiva a partir de Julio hasta alcanzar el valor máximo en Diciembre. No obstante, también se pudo detectar un valor muy elevado durante agosto, producto posiblemente de la descomposición de macrofitas que afloran al bajar el nivel del embalse. Posteriormente, al caer las primeras lluvias este material es lavado con el consecuente incremento de carbonatos al sistema.

Los valores promedio de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> obtenidos durante el período de estudio fueron 30,79 y 8,44 mg/L respectivamente (Tabla 2), valores estos muy superiores a los reportados por Livingstone (1963) para Suramérica (7,2 y 1,5 mg/L). Las variaciones estacionales en Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup>, en líneas generales siguen el mismo patrón mencionado anteriormente para la alcalinidad total (Fig. 4). Por otra parte, no existe una diferencia significativa (ANOVA,  $p > 0,05$ ) entre los diferentes estratos a lo largo del año, lo cual no es sorprendente por ser Guanapito un cuerpo de aguas blandas. No obstante, es interesante hacer resaltar la gran diferencia que existe en las concentraciones de los

estratos superior y medio al inicio del periodo de precipitación (Fig. 5).

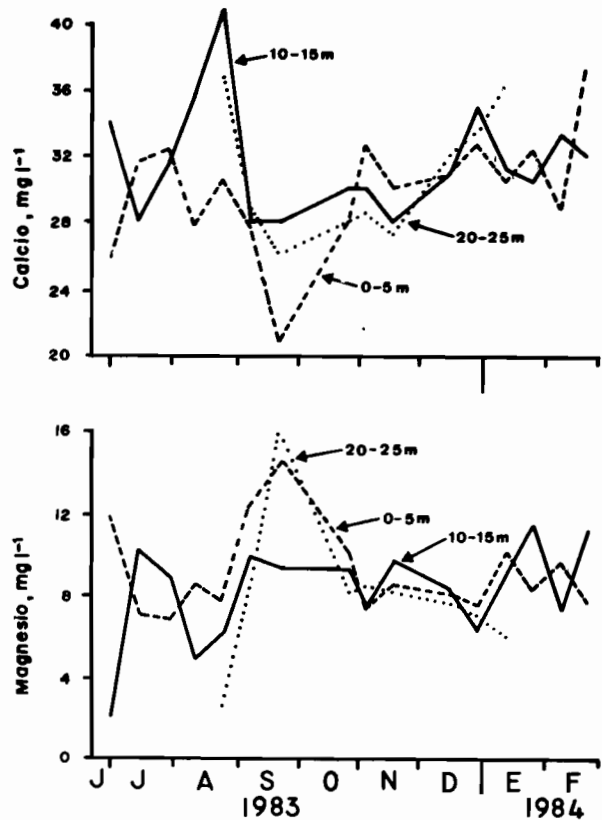


FIGURA 5. Variaciones estacionales en Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> en el embalse de Guanapito.

La Tabla 3 resume la información correspondiente a las diferentes fracciones de nitrógeno para la estación principal. La mayor parte del nitrógeno se encuentra en forma de amonio (62 % del nitrógeno total), seguido por el nitrato (25,98 %) mientras que los nitritos representan solo el 4,58 %.

Dado que la fracción de amonio es la principal fuente de nitrógeno para el fitoplancton en este embalse, es de

## FISICO-QUIMICO DEL EMBALSE DE GUANAPITO

**Tabla 3.** Promedio de las fracciones de Nitrógeno ( $\mu\text{g/L}$ ) para diferentes profundidades en la estación principal

| Profundidad del estrato (m) | $\text{NO}_2\text{-N}$ | $\text{NO}_3\text{-N}$ | $\text{NH}_4\text{-N}$ | Nitrógeno Orgánico soluble | Nitrógeno Total soluble | Nitrógeno Orgánico particulado | Nitrógeno Total |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 0- 5                        | 2,49                   | 5,14                   | 37,69                  | 2,42                       | 47,74                   | 0,07                           | 47,82           |
| 5-10                        | 2,65                   | 6,38                   | 63,76                  | 9,46                       | 82,24                   | 0,07                           | 82,30           |
| 10-15                       | 3,48                   | 23,87                  | 81,96                  | 2,74                       | 111,88                  | 0,13                           | 112,02          |
| 15-20                       | 5,21                   | 30,37                  | 61,56                  | 1,03                       | 98,11                   | 0,25                           | 98,18           |
| 20-25                       | 7,19                   | 56,53                  | 75,24                  | 2,28                       | 141,24                  | 0,23                           | 141,47          |
| Media                       | 4,11                   | 23,33                  | 55,68                  | 2,12                       | 89,70                   | 0,15                           | 89,80           |
| Media %                     | 4,58                   | 25,98                  | 62,00                  | 2,83                       | 99,89                   | 0,17                           | 100,00          |

esperarse que las variaciones estacionales en la concentración de amonio deben estar asociadas a la dinámica del fitoplancton. Bajo este contexto se tratará de explicar las fluctuaciones observadas en la Fig 6.

El inicio del período de muestreo coincide con el comienzo de las lluvias observándose que la máxima concentración de  $\text{NH}_4\text{-N}$  se encuentra en el estrato de 10-15 m y no en el estrato más profundo, concluyéndose que la alta concentración de este elemento es producto del transporte por el río Orituco. Esta suposición se basa en las prácticas de cultivo de la zona, en donde el uso de fertilizantes (principalmente N-P-K en proporciones 15 % : 15 % : 15 %) se intensifica durante los meses previos al período de lluvias.

Las otras fuentes posibles de  $\text{NH}_4^+$ : descomposición de materia orgánica y precipitación, representan un aporte menor cuando se las compara con el aporte del río. El proceso de amonificación no fué cuantificado porque se escapa de los

objetivos de este proyecto. No obstante, si el proceso de descomposición de materia orgánica es el principal aporte de  $\text{NH}_4^+$ , a lo largo de todo el período de muestreo debería encontrarse una concentración mayor de  $\text{NH}_4^+$  en las capas inferiores del cuerpo de agua, lo cual no es el caso (ver más adelante).

La concentración de  $\text{NH}_4^+$  en el agua de lluvia no fué determinada durante este período de estudio pero, para el período comprendido entre Febrero 1985 y Mayo 1986 el aporte promedio fué de  $0,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Este valor es de una importancia menor cuando se le compara con el aporte del río, durante el mismo período, lo cual comparado con el aporte del río ( $803,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , Cressa no publicado). Por último, la concentración de  $\text{NH}_4^+$  transportada por el río, también debe incluir los productos de desecho humano de la zona. Sin embargo, la densidad población en el área de estudio es muy baja ( $< 1 \text{ ha/km}^2$ ) y por ende

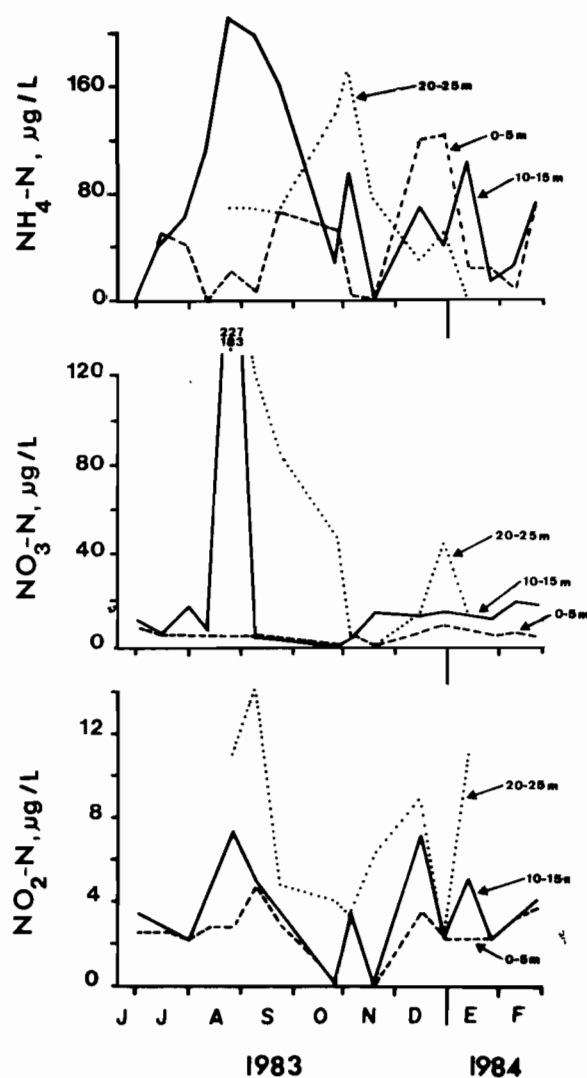


FIGURA 6. Variaciones estacionales en las fracciones de amonio, nitratos y nitritos en el embalse de Guanapito.

su contribución a la concentración de  $\text{NH}_4^+$  del río es pequeña.

La disminución paulatina del  $\text{NH}_4\text{-N}$ , hasta el mes de diciembre, coincide con un descenso en la producción y abundancia del fitoplancton (Soriano y Cressa 1990). Durante el período de Septiembre-

Noviembre, el 30,3 % del  $\text{NH}_4\text{-N}$  se encontraba en el estrato de 20-25 m y por ende no accesible al fitoplancton. Posteriormente, entre Diciembre y Enero se observa un aumento considerable de amonio en las capas superficiales producto de la mezcla de la columna de agua, el cual servirá para abastecer las demandas de fitoplancton.

Las variaciones estacionales en la concentración de nitratos y nitritos (Fig. 6) sustentan lo anteriormente expuesto para el amonio. Observense las altas concentraciones de estos iones durante Agosto, como resultado de una alta tasa de nitrificación.

El nitrógeno orgánico disuelto constituye el 2,36 % del nitrógeno total disuelto, valor que se desvía notablemente del 50% esperado. Sin embargo, es interesante hacer notar que la relación NOD:NOP (14:1) se mantiene dentro de los valores esperados para cuerpos de agua no eutróficos (Wetzel 1983). Una de las posibles fuentes de NOD al sistema lo debe constituir la densa franja de macrofitas que se encuentra en la zona litoral del embalse.

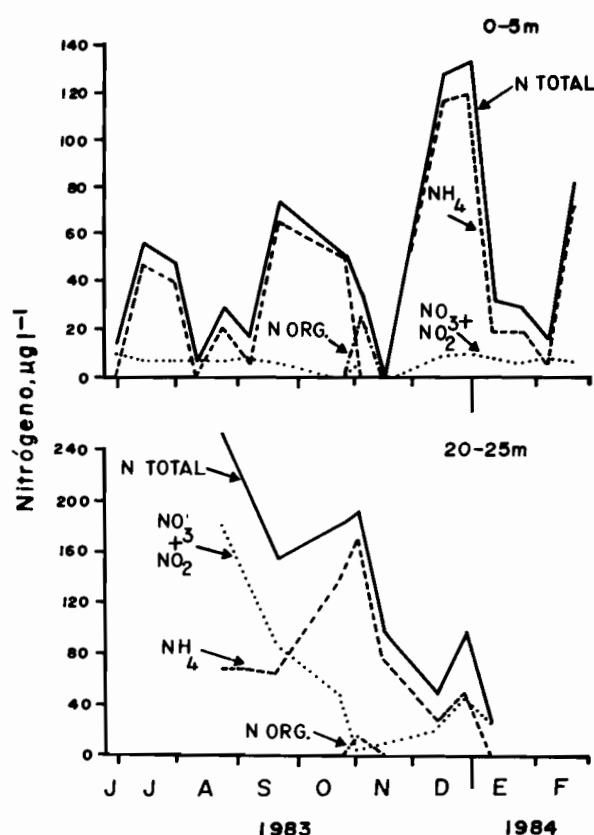
La Fig. 7 muestra los cambios estacionales en las concentraciones de las diferentes fracciones de nitrógeno en las capas superficiales y profundas, en donde puede evidenciarse nuevamente la importancia del  $\text{NH}_4\text{-N}$  en el ciclaje de nutrientes de este cuerpo de agua.

En la Tabla 4 se presentan los valores de las concentraciones promedios de las fracciones de fósforo. El fósforo soluble reactivo (SRP) constituye la mitad del fósforo presente (51,4 %) mientras que el fósforo orgánico y particulado contribuyen en partes casi iguales al fósforo total presente en el sistema (25,6 y 23 %,

## FISICO-QUIMICO DEL EMBALSE DE GUANAPITO

**Tabla 4.** Promedio de las fracciones de Fósforo ( $\mu\text{g/L}$ ) para diferentes profundidades en la estación principal

| Profundidad del estrato (m) | Fósforo soluble Reactivo | Fósforo Orgánico Soluble | Fósforo Particulado | Fósforo Total |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------|
| 0-5                         | 1,55                     | 3,07                     | 3,35                | 7,97          |
| 5-10                        | 1,11                     | 3,03                     | 3,53                | 5,53          |
| 10-15                       | 5,13                     | 3,46                     | 3,8                 | 13,52         |
| 15-20                       | 12,23                    | 4,94                     | 3,54                | 20,40         |
| 20-25                       | 25,90                    | 6,07                     | 3,96                | 37,93         |
| Media                       | 7,62                     | 3,80                     | 3,57                | 14,82         |
| Media %                     | 51,40                    | 25,64                    | 23,00               | 100           |

**FIGURA 7.** Variaciones estacionales en las diferentes fracciones de nitrógeno para el estrato superficial (0 - 5 m) y profundo (20 - 25 m).

respectivamente). La concentración media del SRP del embalse de Guanapito es baja en relación a otros cuerpos de agua tanto de Venezuela como de otros sistemas tropicales (Tabla 5). Es evidente, que las diferencias geomorfológicas de cada sistema en particular así como las actividades a las cuales están sometidas las respectivas cuencas de drenajes, son una de las razones que explican esta diversidad de valores.

Es interesante hacer notar la pequeña diferencia entre los valores reportados por Lewis y Weibezahn (1976) y los obtenidos en el presente trabajo (Tabla 5). A pesar de haber incrementado la actividad de explotación de gran parte de la cuenca de drenaje, esto no se ve reflejado en los valores de fósforo total. No obstante, es necesario indicar que el valor reportado por Lewis y Weibezahn posiblemente no reflejaba la disponibilidad real de fósforo en el sistema porque el muestreo fue puntual y, en un período que biológicamente no es determinante de la dinámica del sistema.

**Tabla 5.** Valores de Fósforo Soluble Reactivo (SRP) y Fósforo Total (TP), representativos de diferentes niveles tróficos en cuerpos de agua tropicales. Los valores se expresan en (mg/L)

| País              | Lago              | SRP   | TP     | Autor                         |
|-------------------|-------------------|-------|--------|-------------------------------|
| Venezuela         | Lagartijo         | -     | 10,0   | Lewis y Weibezahn (1976)      |
|                   | Cumaripa          | 37,08 | -      | Alvarez (1986)                |
|                   | Agua Fría         | 0,1   | -      | Maroto (1984)                 |
|                   | Socuy             | 8,71  | -      | Prieto (1984)                 |
|                   | Guri              | -     | 6,00   | Lewis y Weibezahn (1976)      |
|                   | Valencia          | -     | 38,00  | Lewis y Weibezahn (1976)      |
|                   | Guanapito         | -     | 20,00  | Lewis y Weibezahn (1976)      |
|                   | Guanapito         | 7,62  | 14,82  | Este trabajo                  |
| Sri Lanka         | Parakrama-Samudra | 38    | 78     | Gunatilaka y Senaratna (1981) |
| Brasil            | Jaguari           | 2,6   | 7,03   | Arcifa et al (1981)           |
|                   | Cachoeira         | 15,61 | 28,30  | Arcifa et al (1981)           |
|                   | Santa Branca      | 3,15  | 8,12   | Arcifa et al (1981)           |
|                   | Atibainha         | 8,55  | 15,20  | Arcifa et al (1981)           |
|                   | Tupé              | 11,6  | -      | Rai y Hill (1981)             |
| Filipinas         | Lanao             | 29    | -      | Lewis (1974)                  |
| Kenya             | Naivasha          | 3,0   | -      | Peters y MacIntyre (1976)     |
|                   | Nakuru            | 23,0  | -      |                               |
| Rodesia           | McIlwaine         | 181,3 | -      | Marshall y Falconer (1973)    |
| Africa Occidental | Opi               | 32,5  | -      | Hare y Carter (1984)          |
| Fiji              | Tagimaucia        | 90,0  | 500,00 | Southern et al (1986)         |

La variación estacional del SRP (Fig. 8) muestra ciertas tendencias que pueden ser explicadas tomando en consideración los eventos periódicos que se suceden en el embalse. Las capas superficiales (0-15 m) se caracterizan por tener una baja concentración de SRP a todo lo largo del período de muestreo con valores menores de 10  $\mu\text{g/L}$  y, en la mayoría de las veces con concentraciones inferiores a 1  $\mu\text{g/L}$ .

Sin embargo, se observa una excepción a esta generalización durante el período comprendido entre mediados de Agosto y principios de Diciembre. Un análisis de estos valores indican que están relacionados tanto con el período de máxima descarga del río como con la homogeneización de la columna de agua. Estas concentraciones de SRP son rápidamente utilizadas. Debido a que la densidad de fitoplancton en el

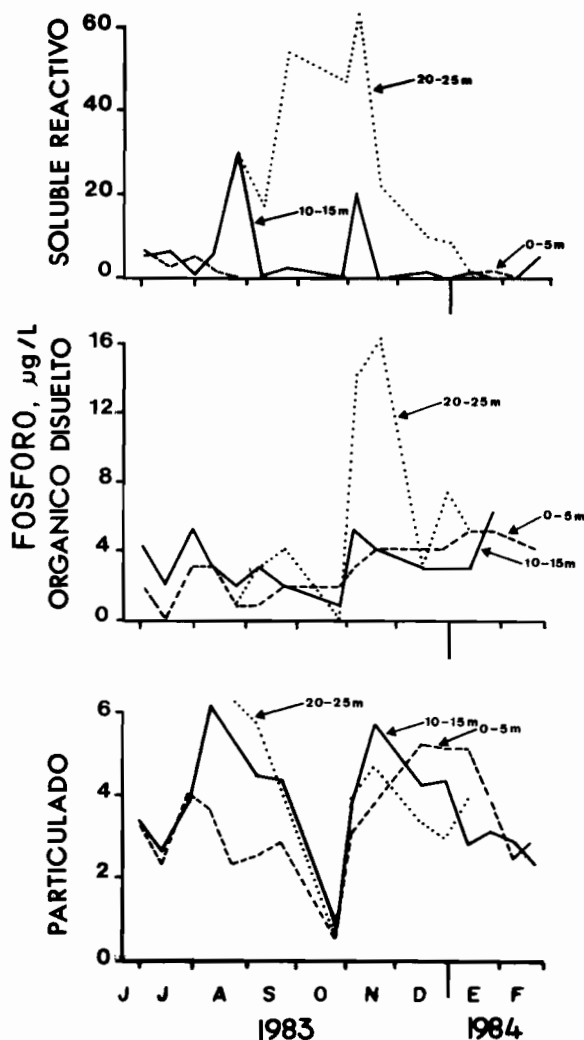


FIGURA 8. Variaciones estacionales en las fracciones de fósforo reactivo soluble, fósforo orgánico disuelto y fósforo particulado.

embalse es baja (Soriano y Cressa 1990) se presume que este SRP es utilizado por las macrofitas, principalmente *Chara spp.*

Las concentraciones más elevadas de SRP, como era de esperarse, se encuentran en los estratos profundos debido tanto a los procesos de sedimentación y

mineralización de material orgánico como a la adsorción de esta fracción al sedimento (Frevert 1980). Así desde Junio hasta mediados de Noviembre el 56,07% de SRP se encuentra en el estrato de 15-25 m, con valores que oscilan entre 2,1 - 63,4 µg/L.

El régimen de extracción de agua al cual esta sometido el embalse puede ser la razón por la cual se obtuvieron concentraciones indetectables en los estratos más profundos durante un período considerable de muestreo. Cuando el embalse alcanza su nivel máximo la extracción de agua es a través del aliviadero mientras que durante el período de Diciembre a Mayo la extracción es a través de la torre toma.

Por otra parte, no debe descartarse que la presencia de oxígeno a estas profundidades en esta época del año puede dar como resultado que el fósforo no permanezca en solución sino que precipite como fosfato férrico (Mortimer 1942). Desafortunadamente, no se determinó la concentración de hierro pero basados en las características geológicas del sistema podemos decir que no debe de ser elevada y por ende podría descartarse una precipitación de férrico-fosfatos.

Por último, es interesante mencionar el incremento pronunciado en la concentración de fósforo particulado (PP) durante el período de homogeneización de la masa de agua. Una aplicación de los resultados del presente trabajo es la utilización de la información para determinar el estado trófico del sistema, lo cual a su vez podría ser utilizado en el manejo y uso de este embalse.

Para la determinación del estado trófico de un cuerpo de agua se ha utilizado una serie de parámetros, siendo el fósforo uno de los más utilizados. En este sentido, la

concentración de fósforo total es la variable más utilizada y los intervalos que definen el estado trófico de un cuerpo de agua han sufrido diferentes modificaciones a partir de la descripción inicial dada por Vollenweider (1968). Sin embargo, una de las limitaciones en la utilización de este esquema es la no existencia de un consenso en la escogencia de la variable a utilizarse. No obstante, recientemente se ha generalizado el uso de la relación N:P porque se considera que este parámetro define la disponibilidad y utilización de dichos elementos por la biota.

A fin de que los resultados del presente trabajo puedan ser comparados con otros previos, en la Tabla 6 se presentan los valores de Fósforo, Nitrógeno y de la relación N:P calculados para diferentes condiciones que definen la dinámica del sistema. La ubicación del estado trófico del sistema se realizó siguiendo la clasificación conservadora de Welch (1980). Dependiendo de cuál es la variable que se considera como indicador del sistema podemos ver que el embalse de Guanapito puede clasificarse como oligotrófico o mesotrófico.

**Tabla 6.** Indicadores tróficos para el Embalse de Guanapito durante el período de estudio

| Indicador                              |          |                   |
|----------------------------------------|----------|-------------------|
| FOSFORO TOTAL ( $\mu\text{g/L}$ )      | Magnitud | Indicador Trófico |
| Promedio de toda la columna            | 14,82    | Mesotrófico       |
| Promedio anual del estrato superficial | 7,97     | Oligotrófico      |
| Promedio anual del estrato profundo    | 37,93    | Mesotrófico       |
| Valor máximo anual                     | 81,6     | Mesotrófico       |
| Valor máximo superficial               | 6,37     | Oligotrófico      |
| NITROGENO TOTAL ( $\mu\text{g/L}$ )    |          |                   |
| Promedio de toda la columna            | 89,88    | Ultraoligotrófico |
| Promedio anual del estrato superficial | 47,82    | Oligotrófico      |
| Promedio anual del estrato profundo    | 141,47   | Oligotrófico      |
| Valor máximo anual                     | 254,4    | Oligotrófico      |
| Valor máximo superficial               | 134,2    | Oligotrófico      |
| RELACION DE NUTRIENTES                 |          |                   |
| Total N ( $\mu\text{mol/L}$ )          | 6,41     |                   |
| Total P ( $\mu\text{mol/L}$ )          | 0,48     |                   |
| Relación N:P                           | 13,42    |                   |

Un ejemplo que ilustra la necesidad de conocer la dinámica del sistema para decidir el indicador adecuado del estado trófico de un cuerpo de agua, es el que a continuación se presenta. Si consideramos que la forma más importante de fósforo para la nutrición vegetal es SRP, la distribución estacional, vertical y horizontal de este elemento es importante en el momento de utilizar la información para catalogar el estado trófico del sistema o productividad del mismo.

En este sentido el promedio de SRP presentado en la Tabla 4 conlleva a conclusiones erróneas en cuanto a la disponibilidad de este elemento. La concentración promedio de SRP de la columna de agua es  $7,62 \mu\text{g/L}$ , lo que define al sistema como oligotrófico. No obstante, si se observan las variaciones de SRP en los diferentes estratos (Fig. 8) es evidente que la concentración de SRP presente en la zona trofógena nunca es mayor de  $2 \mu\text{g/L}$ . De esto puede concluirse que la disponibilidad de este elemento es mucho menor que la que actualmente indicaría el estudio integral de la columna de agua. No obstante, la utilización de solo una de las fracciones de fósforo como variable indicadora del estado trófico de un cuerpo de agua no lo más adecuado, debido a la existencia de mecanismos de reciclaje y conversión de las diferentes formas de fósforo. De esto se desprende que solo la concentración de fósforo total puede indicar el fósforo potencial disponible.

Por lo tanto, la determinación de la concentración promedio de fósforo total en la columna de agua, nos indica la concentración potencial presente en el sistema. Puede ser considerada como

concentración potencial porque la alta concentración de las diferentes fracciones de fósforo en las capas profundas da como resultado un valor promedio elevado que no se corresponde con la concentración realmente accesible a la biota. Esta concentración de fósforo total es producto tanto de los aportes externos al sistema como de la actividad biológica que en éste se realiza. Por ende, su determinación es necesaria en programas de monitoreo por ser indicativa de la evolución del sistema. Durante el período de homogeneización de la masa de agua la concentración promedio de fósforo total en la columna de agua será menor que durante el período de estratificación y por ende, más cercanos a la concentración disponible para la biota.

Por otra parte, la determinación de fósforo total presente en el estrato trofógeno es una medida de la disponibilidad potencial mediata de éste nutriente para la biota y, puede utilizarse para predecir futuros cambios en la biomasa del fitoplancton.

Por último, la variación espacial y estacional en la disponibilidad del fósforo nos llevan a concluir que la biota es altamente dependiente de los aportes alóctonos de fósforo (afluentes) así como de los procesos de resuspensión del material de las capas profundas.

La relación N:P (Tabla 6), indica que el estado trófico del embalse de Guanapito se encuentra dentro del intervalo considerado característico de aguas servidas (6-14) y no de aguas continentales (15-40) como era de esperarse. Debido a que la relación de N:P para el fitoplancton se encuentra entre el intervalo 10-17 (Lewis et al. 1984) y la relación existente en el embalse se encuentra en este intervalo

(Tabla 6), en este momento puede decirse que en el embalse no existe limitación de nutrientes. No obstante, las diferencias verticales, espaciales y temporales así como la disponibilidad de las diferentes fracciones de estos nutrientes son las que determinarán si esto es cierto, particularmente en vista de lo expresado para el caso del SRP.

En resumen, los valores de nutrientes obtenidos en el presente estudio, parecen indicar que el embalse de Guanapito, en este momento, puede ser considerado como oligotrófico, debido principalmente a la baja concentración de nitrógeno total. Por último, el valor promedio anual de la producción neta primaria ( $0,71 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , Soriano y Cressa 1990), que es otra de las variables utilizadas para la determinación del estado trófico, también apoya esta afirmación.

### Estaciones Secundarias

En la mayoría de los estudios de embalses con fines de monitoreo se requiere tener una estación de muestreo que refleje las características del cuerpo de agua como un todo. En este sentido, se decidió determinar si la estación principal puede ser considerada como prototipo de las condiciones del embalse. Por otra parte, debido a que la batimetría y el aporte de los afluentes producen gradientes físico-químicos a lo largo del eje longitudinal de los embalses (Lewis 1978, Thornton 1982, Well y Gordon 1982, Threlkeld 1983, Lewis et al. 1984), se consideró importante determinar la influencia de los afluentes en las características generales del embalse.

Considerando que las muestras de agua recolectadas en las estaciones secundarias

corresponden a una muestra de una columna de 5 metros sin distinción entre las capas superficiales y profundas, el análisis comparativo se realizó utilizando los valores de diferentes estratos de la estación principal: (i) datos del estrato superior, (ii) del estrato más profundo y (iii) promedio de toda la columna de agua. Además, también se realizaron comparaciones entre las estaciones secundarias.

La Tabla 7 presenta los valores promedio de los parámetros químicos determinados en las estaciones secundarias. Un análisis de las Tablas 3, 4 y 7, nos indica que la estación 2 y la estación 3 (Fig. 1) son muy similares entre sí. Mientras que la estación 1 y la 4, presentan valores similares en cuanto a concentración total de nutrientes. No obstante, en estas estaciones la representación de las diferentes fracciones es diferente. Estos resultados reflejan los regímenes de utilización a lo cual esta sometida una parte de la cuenca de drenaje del río Orituco en donde, el uso de fertilizantes es el principal responsable de la representación cualitativa de nitrógeno. En particular, nótese la elevada concentración de amonio para la estación 4 (Tabla 7).

A pesar de las diferencias de profundidad entre las estaciones, estas presentan una gran similitud cuando se comparan los valores de concentración de diferentes variables del estrato de 0-5 m de la estación principal con las restantes estaciones. En particular, se esperaba que dada la cercanía del fondo en las muestras de agua recolectadas en las estaciones secundarias, las concentraciones promedios de los nutrientes deberían ser más elevadas que en la estación principal. Los resultados

**Tabla 7.** Valores promedio para diferentes parámetros químicos en las estaciones secundarias del Embalse de Guanapito. Todos los valores vienen dados en  $\mu\text{g/L}$  a menos que se especifique de otra manera

| Variable                                | Estaciones |        |        |
|-----------------------------------------|------------|--------|--------|
|                                         | 1          | 2      | 3      |
| pH                                      | 8,43       | 8,39   | 8,37   |
| Alcalinidad<br>( $\text{mg/L CaCO}_3$ ) | 99,65      | 100,59 | 101,06 |
| Ca                                      | 30,99      | 31,09  | 31,06  |
| Mg                                      | 8,59       | 8,7    | 8,75   |
| $\text{NO}_2\text{-N}$                  | 2,94       | 2,95   | 2,97   |
| $\text{NO}_3\text{-N}$                  | 6,18       | 5,59   | 7,40   |
| $\text{NH}_4\text{-N}$                  | 35,66      | 32,21  | 78,43  |
| NOD                                     | 1,74       | 1,47   | 1,17   |
| NTS                                     | 46,53      | 42,23  | 85,24  |
| NP                                      | 0,075      | 0,072  | 0,076  |
| NT                                      | 46,60      | 42,30  | 90,05  |
| SRP                                     | 1,93       | 2,77   | 2,13   |
| POD                                     | 3,64       | 3,95   | 3,27   |
| PP                                      | 3,6        | 3,94   | 4,75   |
| PT                                      | 9,18       | 10,66  | 10,16  |

del análisis (ANOVA-Una Vía) indican que existe una diferencia significativa entre las estaciones para las variables PP,  $\text{NH}_4\text{-N}$  y NT. El test *a posteriori* (MSD, Sokal y Rohlf 1981) indica que las estaciones 1, 2 y 3 son estadísticamente diferentes

de la estación 4 para todas las variables mencionadas.

Como era de esperarse, las concentraciones promedios de nutrientes es mayor en el estrato inferior de la estación principal que en el resto de las estaciones, producto obviamente de la existencia de una mayor actividad biológica y físico-química debido al mayor volumen de agua en esa zona. El análisis de los datos en forma similar a lo mencionado anteriormente, pero utilizando en este caso el test STP para el análisis *a posteriori* (Sokal y Rohlf 1981), indica que la estación principal es estadísticamente diferente del resto de las estaciones, en las concentraciones de SRP, fósforo total, fósforo total disuelto y  $\text{NO}_3\text{-N}$ .

El análisis de los datos utilizando los valores promedios de toda la columna de agua de la estación principal indica que los resultados son similares a lo expresado anteriormente para el caso de SRP y  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Mientras que para NT las estaciones 4 y 1 no son estadísticamente diferentes. En este resultado se refleja la importancia de la fracción de  $\text{NH}_4\text{-N}$ , que en el caso de la estación 4 su concentración es un producto de la actividad agrícola de la zona y en la estación 1 es producto de una acumulación de materia orgánica como resultado de la actividad biológica de la zona trofógena.

En relación a las estaciones secundarias se tiene que la estación 4 es estadísticamente diferente de las estaciones 2 y 3 para las variables PP,  $\text{NH}_4\text{-N}$  y NT, lo cual nuevamente refleja la diferencia cualitativa del material acarreado por el río.

Como se mencionó anteriormente, tanto la concentración de NT como la de FT

en diferentes puntos del embalse de Guanapito son bajas (Tablas 3, 4 y 7). No obstante, al comparar los valores en el punto de muestreo denominado Uverito del río Orituco reportadas por Cressa y Senior (1987) con los del presente trabajo, se observa que las concentraciones de nutrientes son significativamente más altas en el río.

Desafortunadamente, no se tienen valores de  $\text{NH}_4\text{-N}$  para la estación del río durante este período, pero si para el período Febrero 1985-Agosto 1986 obteniéndose un promedio de  $88,2 \mu\text{g/L}$  (Cressa, no publicado). Este valor resalta un aspecto muy importante en cuanto al transporte de material por el río Orituco, ya que es evidente que el río presenta una carga de nutrientes mucho mayor que la presentada en el punto de entrada al embalse. Es más, la concentración de nutrientes debe ser aún más elevada por estar situada la estación Uverito aproximadamente a 8 Km de la entrada del río al embalse y, en este trayecto el río atraviesa una zona intensamente cultivada que debe contribuir a aumentar su contenido de nutrientes. La disminución en la velocidad del río al entrar este en el embalse implica que gran parte del material en suspensión debe sedimentar. Las islas de sedimentos que se forman a la entrada del embalse constituyen de esta manera un filtro de nutrientes. Proceso este que explicaría las diferencias de concentración de nutrientes entre las aguas del río propiamente dicho y las del embalse. No obstante, este proceso de sedimentación tiene repercusión sobre la vida media útil del embalse y su efecto es ya evidente en la disminución de la profundidad máxima en aproximadamente 13 m en solo 15 años.

En resumen, los resultados de este análisis indican que el río no establece un gradiente lo suficientemente localizado como para diferenciar a la zona de entrada del río del resto del embalse. Sin embargo, la mayor actividad biológica que se realiza en la estación 1, diferencia a este punto del resto de las estaciones muestreadas. Por lo tanto, una muestra integral de la columna de agua de esta zona puede llegar a sobreestimar las concentraciones de nutrientes del embalse como un todo hasta en un 35%.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el CONICIT y, el procesamiento de los datos fue posible gracias al equipo donado por PDVSA-Lagoven. Le agradecemos al FONAIAP y al MARNR por el apoyo logístico prestado durante la realización de este estudio así como también a los Licenciados S. Cosme, V. Park y M. Soriano por su invaluable colaboración en el muestreo de campo.

### LITERATURA CITADA

- Alvarez, H. 1986. Estudio de algunos aspectos de la Ecología del fitoplancton del Embalse de Cumaripa (Edo. Yaracuy). Trabajo de Ascenso, Universidad Simón Bolívar.
- Arcifa, M.S., M.A.J. Carvalho, S.M.F. Gíanesella-Galvão, G.Y. Shimizu, C.G. Froehlich, y R.M.C. Castro. 1981. Limnology of ten reservoirs in Southern Brazil. Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen 21: 1048-1053.
- American Public Health Association. 1976. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, D.C., American Public Health Association.
- Bendschneider, K., y R.J. Robinson. 1952. A new spectrophotometric method for the

- determination of nitrate in sea water. *Journal of Marine Research* 11: 87-96.
- Calvo, A. 1984. Estudio de la dinámica poblacional de los cladóceros (*Daphnia laevis* y *Simocephalus vetulus*) en el Embalse de Agua Fría (Estado Miranda). Tesis de Licenciatura, Universidad Central de Venezuela.
- Colmenares, E. 1973. Estudio agrológico preliminar detallado del Valle del Río Orituco, Sector Lezama, Carretera Chaguaramas-El Sombrero, Estado Guárico. Ministerio de Obras Públicas, Ms. 105 pp., .
- Cressa, C., y C.T. Senior. 1987. Aspects of the chemistry and hydrology of the Orituco River, Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 38: 99-105.
- Frevert, T. 1980. Dissolved oxygen dependent phosphorus release from profundal sediments in Lake Constance (Obersee). *Hydrobiologia* 74: 17-28.
- Ferraz, E. 1971. Estudio Limnológico del Embalse de Lagartijo, Estado Miranda. III. Observaciones sobre el fitoplancton del Embalse de Lagartijo, Estado Miranda. Informe Técnico INOS-UCV, Ms. 70 pp.
- Gunatilaka, A., y C. Senaratna. 1981. Parakrama Samudra (Sri Lanka) Project, a study of a tropical lake ecosystem. III. Chemical environment with special reference to nutrients. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 21: 994-1000.
- Hare, L., y J. Carter. 1984. Diel and seasonal physico-chemical fluctuations in a small natural West African lake. *Freshwater Biology* 14: 597-610.
- Hutchinson, G.E., y H. Löffler. 1956. The thermal classification of lakes. *Proceedings of the National Academy of Science* 42: 84-86.
- Infante, A. 1976. Estudio Limnológico del Embalse de Lagartijo, Estado Miranda. IV. Composición y variaciones estacionales del zooplancton del Embalse de Lagartijo. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela.
- Infante, A. 1978. The zooplancton of Lake Valencia (Venezuela). I. Species composition and abundance. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 21: 1180-1190.
- Lewis, W.M., Jr. 1974. Primary production in the plankton community of a tropical lake. *Ecological Monographs* 44: 377-409.
- Lewis, W.M., Jr. 1978. Comparison of temporal and spatial variation in the zooplankton of a lake by means of a variance components. *Ecology* 59: 666-671.
- Lewis, W.M., Jr. 1981. Precipitation chemistry and nutrient loading by precipitation in a tropical watershed. *Water Resources Research* 17: 169-181.
- Lewis, W.M., Jr. 1983a. Temperature, heat and mixing in Lake Valencia. *Limnology and Oceanography* 28: 273-286.
- Lewis, W.M., Jr. 1983b. A revised classification of lakes based on mixing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 40: 1779-1787.
- Lewis, W.M., Jr. 1984. A five-year record of the thermal and mixing properties for a tropical lake (Lake Valencia, Venezuela). *Archiv für Hydrobiologie* 99: 340-344.
- Lewis, W.M., Jr., y F.H. Weibezahn. 1976. Chemistry, energy flow and community structure in some Venezuelan fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 50: 145-20.
- Lewis, W.M., Jr., y F.H. Weibezahn. 1982. Acid rain and major seasonal variation of hydrogen ion loading in a tropical watershed. *Acta Científica Venezolana* 32: 236-238.
- Lewis, W.M., Jr., y F.H. Weibezahn. 1983. Phosphorus and Nitrogen loading of Lake Valencia, Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 34: 345-349.
- Lewis, W.M., Jr., y J. Saunders, III. 1979. Two new integrating samplers for zooplankton, phytoplankton and water chemistry. *Archiv für Hydrobiologie* 85: 245-249.
- Lewis, W.M., Jr., J.F. Saunders, III, D.W. Crumpacker, Sr., y C. Bredecke. 1984. Eutrophication and land use. Lake Dillon, Colorado. Springer-Verlag, Berlin.
- Livingstone, D.A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes. U.S. Geological Survey Prof. Paper 440-G.
- Maroto, R. 1984. Consideraciones físico-químicas del Embalse de Agua Fría (Edo. Miranda). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela.
- Martínez, M. 1970. Producción primaria del fitoplancton del Embalse de Lagartijo (Edo. Miranda) y su variación estacional. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela.

- Marshall, B.R., y A.C. Falconer. 1973. Physico-Chemical aspects of Lake McIlwaine (Rhodesia), a eutrophic tropical impoundment. *Hydrobiologia* 42: 45-62.
- Mortimer, C.H. 1942. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *Journal of Ecology* 29: 280-329.
- Murphy, J., y J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Annals Chemical Acta* 27: 31-36.
- Peters, R.H. y S. MacIntyre. 1976. Orthophosphate turnover in East african lakes. *Oecologia* 25: 313-319.
- Prieto, J.M. 1984. Estudio de la productividad primaria del fitoplancton en el Embalse Socuy (Río Socuy, Estado Zulia). Tesis de Licenciatura. Universidad del Zulia.
- Rai, H., y G. Hill. 1981. Physical and chemical studies of Lago Tupé, a central Amazonian black water "Ria Lake". *International Revue der Gesamten Hydrobiologie* 66: 37-82.
- Rangel, O. 1973. Determinación de planicies de inundación: caso de la zona baja del Río Orituco. Ministerio de Obras Públicas.
- Segnini, S. 1975. Distribución espacial y variación estacional de las bacterias heterotrofas del Embalse de Lagartijo. Tesis de Licenciado. Universidad Central de Venezuela.
- Sokal, R.R., y F.J. Rohlf. 1981. *Biometry*. Freeman, San Francisco.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnology and Oceanography* 14: 799-801.
- Solórzano, L., y J.H. Sharp. 1980. Determination of total dissolved phosphorus and particulate phosphorus in natural waters. *Limnology and Oceanography* 25: 754-758.
- Soriano, M., y C. Cressa. 1990. Producción primaria del fitoplancton en el embalse de Guanapito, Venezuela. *Acta Científica Venezolana* 40: 372-380.
- Southern, W., J. Ash, J. Brodie, y P. Ryan. 1986. The flora, fauna and water chemistry of Tagimaucia crater, a tropical highland lake and swamp in Fiji. *Freshwater Biology* 16: 509-520.
- Strickland, J.D.H., y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada* 167, 310 pgs.
- Thornton, K.W., R.H. Kennedy, A.D. Magooun, y G.E. Saul. 1982. Reservoir water quality sampling design. *Water Research Bulletin* 18: 471-480.
- Threlkeld, S.T. 1983. Spatial and temporal variation in the summer zooplankton community of a riverine reservoir. *Hydrobiologia* 107: 249-254.
- Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for Economic Cooperation and Development Report. DAS/CSI/68.27,
- Welch, E.B. 1980. *Ecological effects of Wastewater*. Cambridge University Press, New York.
- Well, S.A., y J.A. Gordon. 1982. Geometric variation in reservoir water quality. *Water Research Bulletin* 18: 661-670.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. Saunders Coll. Pub., Philadelphia.
- Wetzel, R.G., y G.E. Likens. 1979. *Limnological Analyses*. W.B. Saunders, Philadelphia.
- Wood, E.D., F.A.J. Armstrong, y F.A. Richards. 1967. Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. *Journal Marine Biological Association U.K.* 47: 23-31.